

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

VINÍCIUS BODANESE DEMARCH

SUPERFÍCIES GEOMÓRFICAS E ANÁLISE MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO NA DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

PONTA GROSSA
2014

VINÍCIUS BODANESE DEMARCH

SUPERFÍCIES GEOMÓRFICAS E ANÁLISE MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO NA DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

Dissertação apresentada para a obtenção do
título de Mestre em Agronomia na
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área
de concentração Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich
Neto

PONTA GROSSA
2014

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

Demarch, Vinícius Bodanese
D372 Superfícies geomórficas e análise
multivariada de atributos químicos do solo
na definição de zonas de manejo/ Vinícius
Bodanese Demarch. Ponta Grossa, 2014.
81f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia -
Área de Concentração: Agricultura),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique
Weirich Neto.

1.Variabilidade espacial. 2.Modelo de
paisagem. 3.Análise multivariada.
I.Weirich Neto, Pedro Henrique. II.
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Mestrado em Agronomia. III. T.

CDD: 631



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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Superfícies geomórficas e análise multivariada de atributos químicos do solo na definição de zonas de manejo”.**

Nome: Vinícius Bodanese Demarch

Orientador: Pedro Henrique Weirich Neto

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto

Profa. Dra. Néyde Fabíola Balarezo Giarola

Profa. Dra. Maria do Carmo Lana

Data da Realização: 30 de maio de 2014.

“A minha família e amigos, meus bens mais preciosos”

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A propulsora entidade chamada Família, por sempre acolher desesperos e anseios e transformá-los em perseverança. Aos pais Odair José Demarch e Valkíria Bodanese Demarch, e irmãos Guilherme Bodanese Demarch e Lucas Bodanese Demarch, .

Ao orientador e grande amigo, Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto, disponibilizando intelecto, tempo e sufrágios todas as vezes que se fazem necessários.

Aos grandes e bons amigos que a vida caprichosamente selecionou para mim, a Eng. Agrônoma Nátili Maidl de Souza e futuro agrônomo Thiago Martin Christenson, os quais em vários momentos assumiram como seus esse trabalho e contribuíram muito para torná-lo realidade.

Ao grande amigo Manuel Delafoullhouse, das montanhas da França ao Brasil. Muitas vezes trabalhando por dois em nossas linhas de trabalho no Lama, quando em minhas constantes ausências para conclusão desse trabalho.

Ao grande amigo e parceiro Dr. Hevandro Colanhese Delalibera, pelas valiosas horas a frente do computador ensinando-me sobre estatística multivariada.

A Prof. Dra. Maria do Carmo Lana, e Prof. Dra. Neyde Fabíola Giarola por desprender valioso tempo de suas atividades, a fim de enriquecer esse trabalho sob óticas construídas por anos de dedicação, trabalho e estudo.

Aos ilustres amigos e colegas do Lama, pelo convívio diário. Muito obrigado Prof. Dr. Carlos Hugo Rocha, aos engenheiros agrônomos Raquel Modena Wutzki, Guilherme Pedrolo Mazzer, Joélcio Eurich, Eduardo Lebarbenchon Miranda, Romário Martins, Diógenes Raphael Ribeiro, Alice Vriesmann. Ao Zootecnista Ivan César Moura e ao geógrafo Átila Cristian. Ao futuro Eng. Mecânico Acaz Sais, pela parceira e otimismo.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), pela estrutura de trabalho. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, pela a qual concretizou a oportunidade de aperfeiçoar meus conhecimentos, e seguir em frente.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram.

“Parece até brincadeira que um País com essa potência,
Viva em tamanha indigência frente a tanta bandalheira,
A impunidade é a bandeira, e cada qual é mais vivo,
O processo punitivo é instalado e difundido,
E depois de concluído vai direto pro arquivo.”
(**Jayme Caetano Braun** – Brasil Doente)

DEMARCH, V. B. **Superfícies geomórficas e análise multivariada de atributos químicos do solo na definição de zonas de manejo** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

RESUMO

Com contínuo aumento populacional, escassez alimentar e declínio qualitativo e quantitativo dos recursos naturais, as atuais práticas agrícolas devem ser reconsideradas. O melhor entendimento da variabilidade espacial de atributos do solo e componentes climatológicos, bem como, suas inúmeras interações sobre o rendimento das culturas agrícolas é abordagem atual da chamada Agricultura de Precisão. Assim, delimitar zonas de manejo, segmentando áreas que apresentem relativa homogeneidade quanto a amplo conjunto de variáveis, pode ser aproximação para manejo da variabilidade espacial. Realizaram-se coletas georeferenciadas de solo estratificadas em três camadas, P5 (0 - 0,05 m), P10 (0,05 - 0,01 m) e P20 (0,10 - 0,20 m). A primeira análise realizada trata-se de modelo de paisagem, onde se considerou a angulação da superfície geomórfica para delimitação dos segmentos. A lavoura foi segmentada em quatro segmentos geomórficos, superfície de topo, superfície convexa, superfície côncava e planície. A segunda análise foi denominada como técnica matemática, valendo-se de análise estatística multivariada, realizando-se análise hierárquica de agrupamentos (HCA) considerando similaridade entre amostras, e análise de componentes principais (PCA), descrevendo características nas variâncias dos atributos do solo. Para cada camada de solo avaliada, segmentaram-se as amostras através da HCA, em quatro zonas de manejo conforme similaridade aproximada de 60 % em distância euclidiana. Para verificar a significância das segmentações, valeu-se de teste de comparação de média por contrastes ortogonais a 5 %, considerando cada segmento de paisagem ou zona de manejo matemática como um tratamento na análise. No caso dos segmentos de paisagem considerados, não houve diferenças significativas entre as médias dos atributos de solo e componentes de rendimento da cultura da soja considerados. Os contrastes aplicados para as zonas de manejo matemáticas diferiram significativamente entre si para a maioria dos atributos do solo e componentes de rendimento em análise. Sendo assim, a utilização de análise multivariada pode ser interessante no sentido de fornecer diferenciações quanto ao manejo de áreas agrícolas.

Palavras-chave: Variabilidade espacial; modelo de paisagem; análise multivariada.

DEMARCH, V. B. **Geomorphic surfaces and multivariate analysis of soil chemical properties in the definition of management zones.** Dissertation (MSc in Agronomy) - State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

ABSTRACT

With continued population growth, food scarcity and declining quality and quantity from natural resources, current agricultural practices should be reconsidered. A better understanding of the spatial variability of soil and climatic components, as well as their numerous interactions on the yield of agricultural crops is the current approach called Precision Agriculture. Thus, identify management zones, targeting areas with relative homogeneity as a broad set of variables, can be approximate to management of spatial variability. There were georeferenced soil samples divided into three layers, P5 (0 - 0.05m), P10 (0.05 to 0.01 m) and P20 (0.10 - 0.20 m). The first analysis it is the landscape model, which was considered the angle of the geomorphic surface for management class delineation. The crop was segmented into four geomorphic segments, top surface, convex surface, the concave surface and plain. The second analysis was designed as mathematical technique, making use of multivariate statistical analysis, performing hierarchical cluster analysis (HCA) considering similarity between samples, and principal component analysis (PCA), the variances describing characteristics of soil attributes. For each measured layer of the soil, the samples are segmented by means of HCA into four zones management as approximate 60% similarity at Euclidean distance. To verify the significance of the segmentations, drew on comparison of average 5% by orthogonal contrasts test, considering each segment or mathematical landscape management zone as a treatment in the analysis. In the case of landscape segments considered, there were no significant differences between the means of soil attributes and yield components of soybean considered. The contrasts applied to the areas of mathematical systems differed significantly from each other for most soil properties and yield components under analysis. Thus, the use of multivariate analysis can be a tool in order to provide differentiation with regard to handling of agricultural areas.

Keywords: Spatial variability; landscape model; multivariate analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formações geológicas predominantes dos Campos Gerais no estado do Paraná ...	18
Figura 2 – Localização da obtenção da fotografia e aspectos da paisagem, em agroecossistema típico regional, evidenciando formas de remanescentes de vegetação nativa, município de Palmeira - PR.....	20
Figura 3 – Aspectos naturais da paisagem e localização do Parque Nacional do <i>Canyon</i> Guartelá, município de Tibagi - PR.....	21
Figura 4 – Localização de obtenção da fotografia e aspectos da paisagem de agroecossistema típico de produção agrícola nos Campos Gerais. Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON), da Universidade Estadual de Ponta Grossa, município de Ponta Grossa - PR.....	22
Figura 5 – Perfis de solo em pedosequência típica de áreas agrícolas da região, variando de Latossolo a Cambissolo respectivamente na imagem, e cota altimétrica entre parênteses. Fotografias adquiridas na FESCON pelo autor	23
Figura 6 – Precipitação no período de desenvolvimento da cultura da soja, safra 2012/2013.	31
Figura 7 – Croqui da área em estudo e distribuição espacial dos pontos de amostragem.....	33
Figura 8 – Diferentes ângulos de visão do posicionamento dos segmentos na área de estudo. S1, S2, S3 e S4 correspondem respectivamente às cores preto, vermelho, amarelo e azul	35
Figura 9 – Distribuição espacial dos atributos químicos do solo na Profundidade 5 na área em estudo.....	40
Figura 10 – Distribuição espacial dos atributos químicos do solo na Profundidade 10 na área em estudo.....	44
Figura 11 – Distribuição espacial dos atributos químicos do solo na Profundidade 20 na área em estudo.....	47
Figura 12 – Amplitude dos conteúdos (eixo Y) de atributos químicos (eixo X) presentes nas amostras (linhas).....	53
Figura 13 – Amplitude corrigida dos conteúdos (eixo Y) de atributos químicos (eixo X) presentes nas amostras (linha)	54
Figura 14 - Dendograma resultante da análise de agrupamentos das variáveis na Profundidade 5, em quatro grupos de pontos amostrais (cores) de acordo com similaridade de 60% entre as variâncias.....	55
Figura 15 – Distribuição espacial das zonas de manejo na área de trabalho.....	56

Figura 16 – Diagrama da análise PCA, à esquerda <i>scores</i> e a direita <i>loadings</i> distribuídos nos dois primeiros componentes. As cores no gráfico das amostragens identificam os grupos que cada uma pertence conforme HCA.....	57
Figura 17 – Dendograma resultante da análise de agrupamentos das variáveis na Profundidade 10, e quatro grupos de pontos amostrais (cores) de acordo com similaridade de 58,5 % entre as variâncias, em distância euclidiana	60
Figura 18 – Posicionamento das zonas de manejo para Profundidade 10.....	61
Figura 19– Diagrama da análise PCA, à esquerda <i>scores</i> e a direita <i>loadings</i> distribuídos nos dois primeiros componentes. As cores no gráfico das amostragens identificam os grupos que cada uma pertence	62
Figura 20– Dendograma resultante da análise de agrupamentos das variáveis na Profundidade 10, e quatro grupos de pontos amostrais (cores) de acordo com similaridade de 58,5 % entre as variâncias, em distância euclidiana	65
Figura 21– Posicionamento das zonas de manejo para Profundidade 20.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número do contraste e identificação dos pares de médias contrastadas	35
Tabela 2– Número do contraste e identificação dos pares de médias contrastadas	Erro!
Indicador não definido.	
Tabela 3 – Análise estatística descritiva e teste de normalidade de Anderson-Darling dos conteúdos dos atributos químicos e granulométricos do solo na Profundidade 5	37
Tabela 4 – Análise estatística descritiva e teste de normalidade de Anderson-Darling dos conteúdos de atributos químicos do solo na Profundidade 10	41
Tabela 5 – Análise estatística descritiva e coeficiente de normalidade Anderson-Darling dos conteúdos dos atributos químicos do solo na Profundidade 20	44
Tabela 6 – Média e coeficiente de variação para os atributos químicos do solo por segmento de paisagem na Profundidade 5	47
Tabela 7 – Valor de P do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais com 5% de significância, para variáveis de solo na Profundidade 5	48
Tabela 8 – Média e coeficiente de variação para os atributos químicos do solo por segmento de paisagem na Profundidade 10	49
Tabela 9 – Valor de P do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais com 5% de significância, para variáveis de solo na Profundidade 10	50
Tabela 10 – Média e coeficiente de variação para os atributos químicos do solo por segmento de paisagem na Profundidade 20	51
Tabela 11 – Valor de P do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais com 5% de significância, para variáveis de solo na Profundidade 20	52
Tabela 12 – Número dos pontos amostrais, em ordem conforme HCA na Profundidade 5, e a cor relativa as observações de cada grupo	55
Tabela 13 – Médias e coeficientes de variação (%) de atributos químicos do solo na Profundidade 5, considerando agrupamento de pontos amostrais por zona de manejo	58
Tabela 14 – Valor de P do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais com 5% de significância, para variáveis de solo na Profundidade 5	59
Tabela 15 – Número dos pontos amostrais, conforme HCA na Profundidade 10, e sua respectiva cor	61
Tabela 16 – Média e coeficiente de variação de atributos químicos na Profundidade 10, conforme amostras pertencentes a cada zona de manejo	63

Tabela 17 – Teste de comparação de médias por contrastes ortogonais em nível de significância de 5%.....	64
Tabela 18 – Número dos pontos amostrais, conforme HCA na Profundidade 20, e sua respectiva cor no dendograma	65
Tabela 19 – Média e coeficiente de variação de atributos químicos na Profundidade 20, conforme amostras pertencentes a cada zona de manejo	67
Tabela 20 – Teste de comparação de médias por contrastes ortogonais em nível de significância de 5%.....	68
Tabela 21 – Média e coeficiente de variação dos componentes de rendimento da cultura da soja avaliados conforme segmentos de paisagem.....	69
Tabela 22 – Análise de comparação de médias por contrastes ortogonais entre os componentes de rendimento da cultura da soja e segmentos da paisagem.....	69
Tabela 23 – Média e coeficiente de variação de componentes de rendimento da cultura da soja conforme divisão de zonas de manejo na Profundidade 5.....	70
Tabela 24 – Análise de comparação de médias por contrastes ortogonais de componentes de rendimento da cultura da soja e zonas de manejo para Profundidade 5	70
Tabela 25 – Média e coeficiente de variação de componentes de rendimento da cultura da soja conforme divisão de zonas de manejo na Profundidade 10.....	71
Tabela 26 – Análise de comparação de médias por contrastes ortogonais de componentes de rendimento da cultura da soja e zonas de manejo para Profundidade 10	71
Tabela 27 – Média e coeficiente de variação de componentes de rendimento da cultura da soja conforme divisão de zonas de manejo na Profundidade 20.....	71
Tabela 28 – Análise de comparação de médias por contrastes ortogonais de componentes de rendimento da cultura da soja e zonas de manejo para Profundidade 20	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVO GERAL.....	16
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 CULTURA DA SOJA (<i>Glycine max</i>)	17
3.2 AGROECOSSISTEMAS DOS CAMPOS GERAIS NO PARANÁ	17
3.2.1 GEOLOGIA	17
3.2.2 FORMAÇÃO FLORÍSTICA	19
3.2.3 FEIÇÕES GEOMÓRFICAS	20
3.2.4 PEDOLOGIA DAS ÁREAS AGRÍCOLAS	22
3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	23
3.4 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO	24
3.4.1 METODOLOGIAS DE EXTRAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO PARA CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL	24
3.4.2 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	25
3.4.3 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	27
3.4.4 VARIABILIDADE ESPACIAL DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS).....	28
3.5 SEGMENTOS DE PAISAGEM	28
3.5 ZONAS DE MANEJO	29
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1 LOCALIZAÇÃO E CLIMA	31
4.2 PRECIPITAÇÃO NO PERÍODO DE CULTIVO.....	31
4.3 IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA DA SOJA	32
4.4 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E VARIÁVEIS DEPENDENTES.....	32
4.5 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CONSIDERADOS.....	33

4.6 COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA.....	34
4.7ANÁLISES ESTATÍSTICAS E MODELOS ESPACIAIS UTILIZADOS	34
4.7.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E ESPACIAL	34
4.7.2 MODELO DE PAISAGEM	35
4.7.3 MODELO MATEMÁTICO	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 ANÁLISE DESCRITIVA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	37
5.2 MODELO DE PAISAGEM (TROEH, 1965)	47
5.2.1 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 5 (0 – 0,05 m).....	47
5.2.2 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 10 (0,05 – 0,10 m).....	49
5.2.3 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 20 (0,1 – 0,2 m).....	51
5.3MODELO MATEMÁTICO (DELALIBERA et al., 2012)	53
5.3.1ANÁLISE DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 5(0 – 0,05 m).....	53
5.3.2ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 10 (0,05 -0,1 m)	60
5.3.3 ANÁLISE DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 20 (0,1 – 0,2 m).....	64
5.4 ANÁLISE DOS COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA, POR SEGMENTO DE PAISAGEM E POR ZONADE MANEJO.....	68
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
7 CONCLUSÕES	74
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

Em uma das primeiras discussões documentadas sobre o estado dos recursos naturais, Malthus e Ricardo questionaram a capacidade do planeta sustentar o bem estar face ao eminente crescimento populacional (LICHTENBERG et al., 2009). Malthus fez previsões negativistas enquanto Ricardo inferiu que mediante ao desenvolvimento de técnicas adequadas era possível contornar o problema da escassez de recursos.

Entretanto, a visão ricardista não considerava o desenvolvimento industrial e agrícola econo-tecnocrático, e o maltusianismo se confirmou de forma intensa em eventos como o *Dust Bowl*, escassez de recursos e alimentos durante e após segunda grande guerra, e no desenvolvimento de tecnologia agrícola dúbia, como o DDT, retratada por Rachel Carson's em sua conhecida obra *Primavera Silenciosa*.

Entender as interações entre componentes do ambiente e de manejo que influem sobre o rendimento das culturas agrícolas é a atual abordagem acadêmica em estudos de Agricultura de Precisão. O esclarecimento dessas interações para fundamentar propostas de manejo da variabilidade espacial é hoje considerado por alguns autores como caso de segurança alimentar (GEBBERS e ADAMCHUCK, 2011; CHEN et al., 2011; LATERRA et al., 2012).

Porém como existe uma infinidade de variáveis que podem gerar variabilidade no rendimento das culturas, incluindo o erro antrópico, as técnicas mais utilizadas para recomendação de manejo localizado são os modelos geo-matemáticos. Esta recomendação por si só, não consegue explicar as variações causadas no rendimento, por não permitirem a análise simultânea de um conjunto de variáveis (SONG et al., 2009).

A definição de zonas de manejo, onde se segmenta áreas de relativa homogeneidade de acordo com a influência de grupo de variáveis sobre o rendimento das culturas pode servir de aproximação para entendimento do sistema solo-planta-atmosfera, considerando a existência de algumas interações para convivência com a variabilidade espacial (COLET et al., 2007).

Existe uma infinidade de métodos para segmentação de áreas homogêneas, as quais podem valer-se de algoritmos complexos para definição dos segmentos, ou métodos que utilizem abordagem holística do para segmentação de áreas agrícolas, os quais são chamadas de modelos de paisagem.

2 OBJETIVO GERAL

Delinear zonas de manejo considerando interações de variáveis físico-químicas de área agrícola comercial, em unidade rural dos Campos Gerais do Paraná.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar distribuição espacial de atributos químicos do solo;

Caracterizar a distribuição espacial de componentes de rendimento da cultura da soja;

Correlacionar espacialmente a variabilidade de atributos químicos do solo e componentes de rendimento da cultura da soja com segmentos de paisagem e estatística multivariada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CULTURA DA SOJA (*Glycine max*)

Dentre os países produtores de soja, O Brasil lidera a produção mundial respondendo por 31,1 % do total produzido. Em segundo lugar está os Estados Unidos, sendo responsável por aproximadamente 31 % (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/USDA, 2013). Com relação ao impacto do complexo produtivo da soja na economia brasileira, de acordo com dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior/MDIC (2011) este é responsável por aproximadamente 9,8% das exportações brasileiras em valor monetário. Dentre os produtos exportados, pode-se citar soja em grão, farelo, soja triturada, óleo bruto e óleo refinado.

Ao observar o cenário nacional de produção de soja, a região Centro-Oeste é a maior produtora, sendo responsável por 45% da produção do país, seguida da região Sul, a qual responde por cerca de 38%. Dentre os estados produtores, cabe relatar a contribuição dos estados do Mato Grosso e do Paraná, sendo estes os maiores produtores, respondendo por aproximadamente 27 e 20%, respectivamente, da produção brasileira (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO/CONAB, 2012).

Dentro do panorama agrícola paranaense, merece a destaque a região dos Campos Gerais, a qual tem como sede do polo produtivo regional a cidade de Ponta Grossa. De acordo com dados da Secretária de Estado da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural (SEAB/DERAL, 2012), esta região responde por 12% da produção de soja do estado. Tendo em vista que porção significativa das áreas da região é cultivada sob o Sistema Plantio Direto (SPD), a cultura da soja é uma das principais opções para os cultivos de verão a figurar nos esquemas de rotação, ao lado do milho e do feijão.

3.2 AGROECOSSISTEMAS DOS CAMPOS GERAIS NO PARANÁ

3.2.1 GEOLOGIA

A região dos Campos Gerais situa-se na bacia sedimentar do Paraná, em zona de transições de estratos geológicos, e a gênese desses estratos corresponde a diferentes períodos. Cronologicamente observam-se as Formações Furnas e Ponta Grossa correspondendo ao período Devoniano, a aproximadamente 400 milhões de anos, e posteriormente a partir de sedimentos do Carbonífero-Permiano, a aproximadamente 300 milhões de anos, em litoestratigrafias do Grupo Itararé, nas formações Taciba, Campo Mourão e Lagoa Azul

(MINEROPAR, 2006). Os estratos oriundos dos sedimentos do Carbonífero-Permiano sobrepõem-se aos estratos do período Devoniano, respeitando o relevo. Algumas intrusões de diques de Diabásio são frequentemente observadas nos Campos Gerais, em grande parte das vezes orientando-se SE-NW (Figura 1).

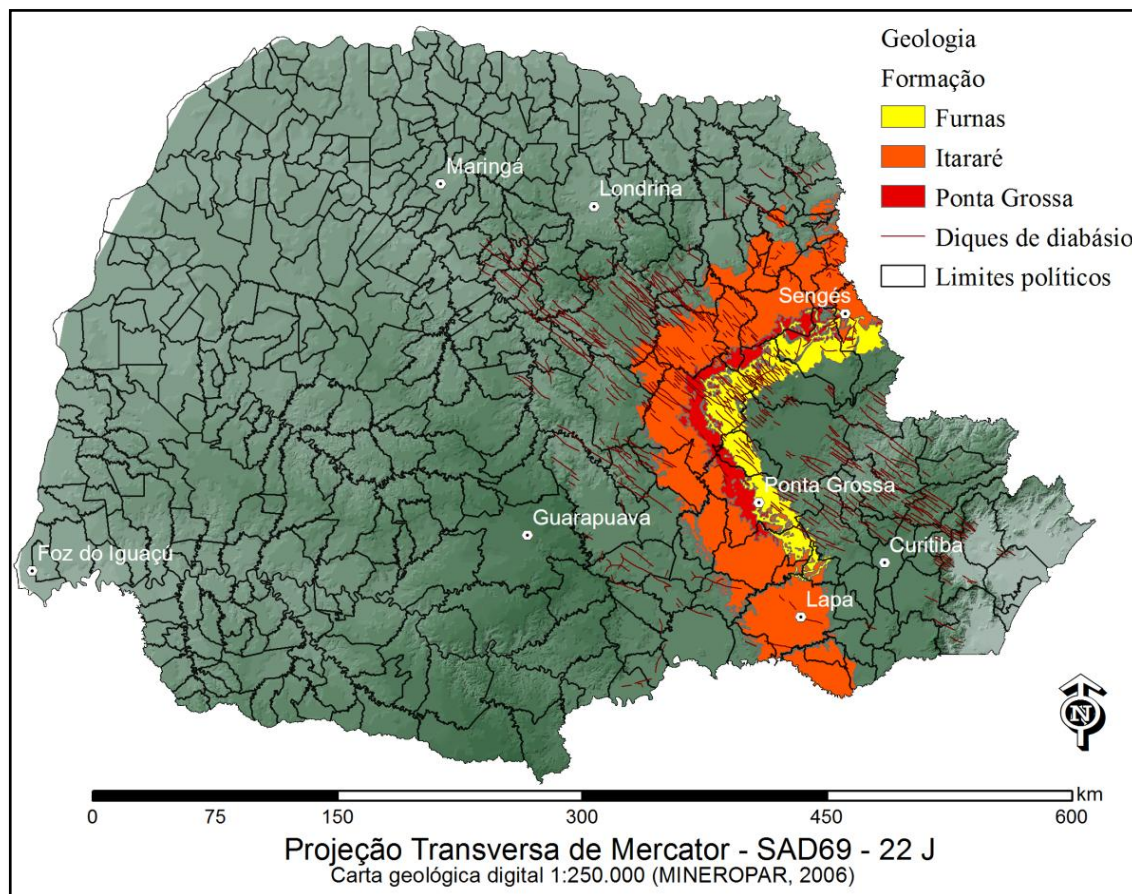


Figura 1 – Formações geológicas predominantes dos Campos Gerais no estado do Paraná

A granulometria das formações mais antigas, Furnas e Ponta Grossa são distintas, sendo os materiais oriundos da formação Furnas mais grosseiros, observando-se predominantemente a presença de arenitos. Contrapondo, observa-se predominância de folhelhos e siltitos ricos em caulinita e óxidos de ferro, alumínio e manganês, quando associados à formação Ponta Grossa (MINEROPAR, 2007).

A formação Itararé é constituída por sedimentos grosseiros e quartzosos como areias grossas até seixos, originando arenitos, vide formação Furnas, entretanto, como no caso da formação Ponta Grossa são agregados por maior quantidade de materiais muito leves e providos de carga elétrica, os óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês (SÁ, 2007). Associado ao subgrupo Campo Mourão, o qual aflora no Parque Estadual de Vila Velha, há a presença de folhelhos e diamictitos, em diferentes tonalidades as quais indicam qual elemento

(ferro, alumínio ou manganês) predominantemente agregam o material quartzoso (MINEROPAR, 2007).

Essa variabilidade de materiais de origem é comumente observada em nível de talhão pela presença de retrabalhos geológicos ocorridos também a partir do Devoniano, fato que origina perfis bastante variados em termos de aptidão agrícolas aos solos da região (CARRILHO e ROCHA, 1993).

3.2.2 FORMAÇÃO FLORÍSTICA

Os materiais de origem ácidos, pobres em macronutrientes, micronutrientes, e com altos conteúdos de alumínio dos Campos Gerais, juntamente ao atual (últimos 12.000 anos) clima frio e úmido local, forneceram substrato, umidade e temperatura ideais para o predomínio de campos limpos, da estepe gramíneo lenhosa. A região em sua totalidade está contida nos limites do bioma Mata Atlântica, na Floresta Ombrófila Mista ou mata de araucária (CARMO et al., 2007).

Nos Campos Gerais é observada a ocorrência da mata de araucária em áreas férteis, próximas às linhas de drenagem e em Áreas de Preservação Permanente de corpos hídricos, recebendo a denominação matas de galeria. A mata de araucária ocorrem na região em formas de capões, na presença de manchas de solos com fertilidade mais elevada (CARMO et al., 2007), devido deposições de matéria orgânica ou por intrusões de material ígneo, no caso dos diques e soleiras de diabásio (Figura 2).

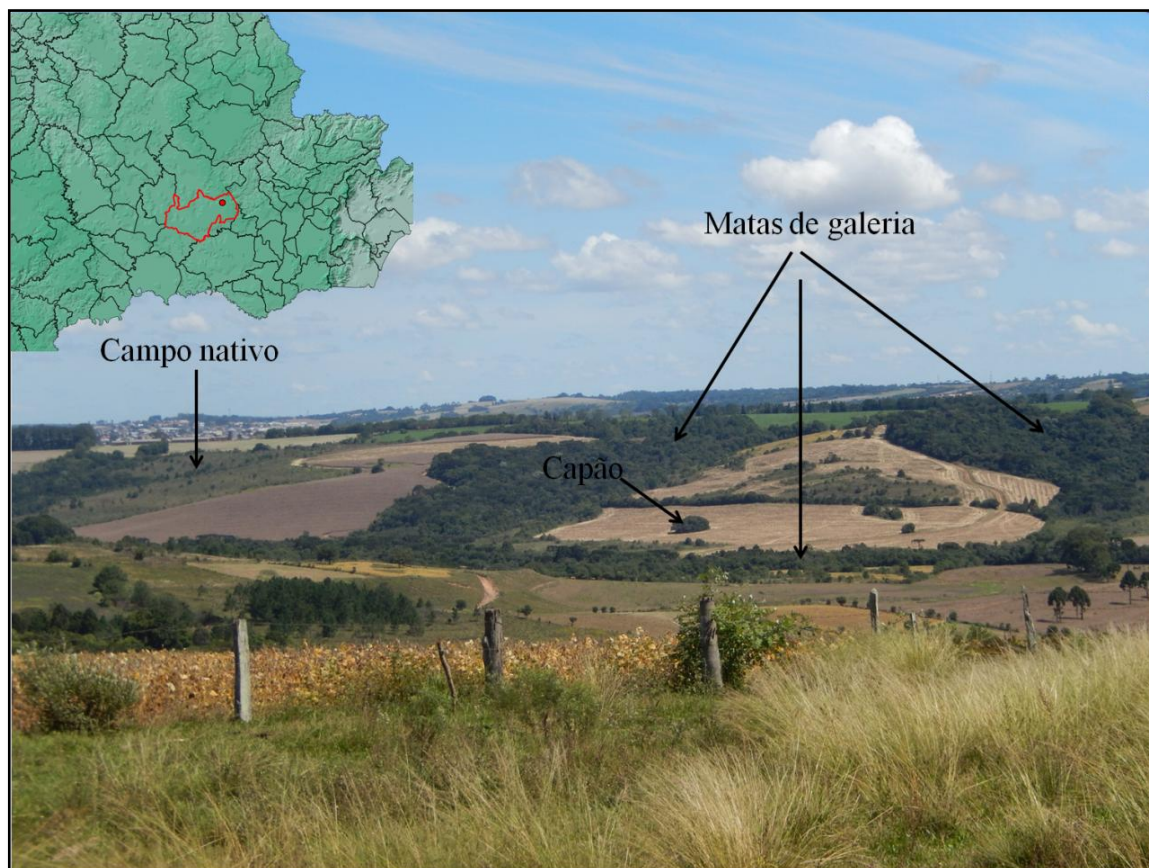


Figura 2 – Localização da obtenção da fotografia e aspectos da paisagem, em agroecossistema típico regional, evidenciando formas de remanescentes de vegetação nativa, município de Palmeira - PR

De maneira geral, a ocupação de uso das terras pela agricultura ocorreu a partir de campos nativos em micro bacias hidrográficas de rios de menores vazões em relação aos rios Iapó e Tibagi. Nesses ambientes é comum a presença de solos ácidos e arenosos, com baixa espessura de Horizonte A e argila de baixa atividade (ROCHA e WEIRICH NETO, 2007).

3.2.3 FEIÇÕES GEOMÓRFICAS

Nos Campos Gerais, os estratos geológicos predominantemente formados por materiais sedimentares e quartzosos, quando em presença de fraturas e falhas geológicas, observam-se a formação de vales encaixados em forma de “U”. Nesses, rampas e vertentes de altos valores de gradiente topográfico, com encostas escarpadas, as quais apresentam feições de rara beleza, típicas de *Canyons*, são encontradas em bacias hidrográficas de grande vazão, como por exemplo nos rios Iapó (Figura 3) e Tibagi (GUIMARÃES et al., 2007).

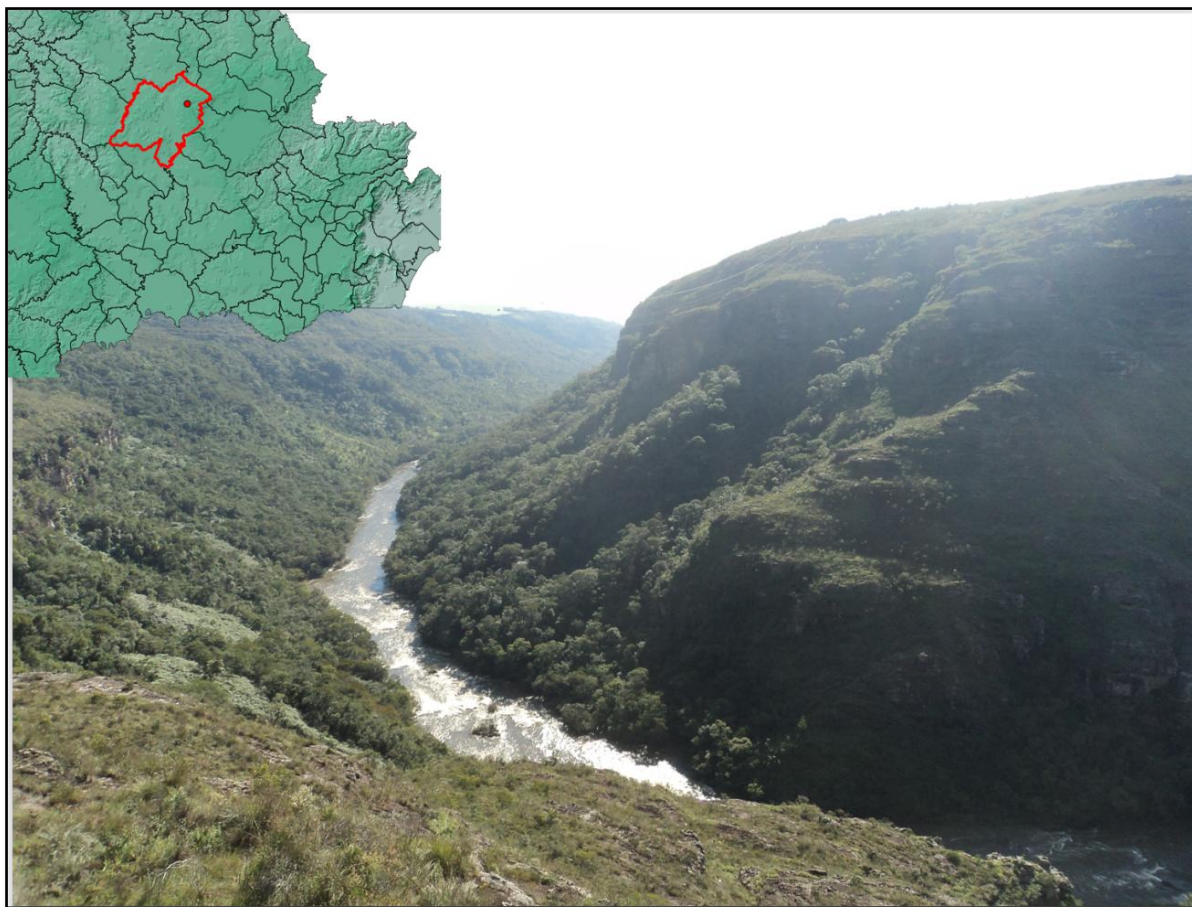


Figura 3 – Aspectos naturais da paisagem e localização do Parque Nacional do *Canyon* Guartelá, município de Tibagi - PR

Em bacias hidrográficas de afluentes desses grandes rios, a dessecação da paisagem foi menos intensa e esculpiu áreas nos interflúvios com rampas e vertentes de menores gradientes topográficos. Assim, formaram-se vales em “V” na paisagem (Figura 4), e essa composição de paisagem distinguiu o uso dos solos, e nesses locais são observadas extensas áreas agrícolas, as quais impulsionaram o destaque dos Campos Gerais na produção de cereais, em particular de soja (ROCHA e WEIRICH NETO, 2007).



Figura 4 – Localização de obtenção da fotografia e aspectos da paisagem de agroecossistema típico de produção agrícola nos Campos Gerais. Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON), da Universidade Estadual de Ponta Grossa, município de Ponta Grossa - PR

3.2.4 PEDOLOGIA DAS ÁREAS AGRÍCOLAS

Em geral as áreas agrícolas dos Campos Gerais, apresentam predomínio de solos com baixa espessura de Horizonte A e *solum* (Horizonte A + B) quando em meias encostas, em geral CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos típicos (Figura 5), associados a valores elevados de gradiente topográfico. Em proximidade aos divisores de água, em áreas mais planas situadas nos topos de interflúvios ocorrem à presença de solos mais evoluídos e espessos, como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Tb Distrófico típico (Figura 5) e ARGISSOLOS VERMELHOS Tb Distrófico típico (SÁ, 2007). Ambas as classes de solo apresentam argila de baixa atividade (Tb), evidenciando baixa capacidade de estruturação (formação de agregados) e de adsorção catiônica, além de maior erodibilidade do solo (EMBRAPA, 2013).



Figura 5 – Perfis de solo em pedosequência típica de áreas agrícolas da região, variando de Latossolo a Cambissolo respectivamente na imagem, e cota altimétrica entre parênteses. Fotografias adquiridas na FESCON pelo autor

Em menores expressões no contexto regional, observam-se a presença de LATOSSOLO BRUNO Tb Distrófico típico em planícies aluviais, nas porções mais baixas da paisagem, oriundo do acúmulo de frações minerais leves (fração argila) e matéria orgânica, e de NEOSSOLOS LITÓLICOS e ORGANOSSOLOS, quando menores isocotas altimétricas da rampa da vertente coincidem com o material de origem (SÁ, 2007).

3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Os Sistemas de Informações Geográficas ou Georeferenciadas (SIG) denotam a utilização de técnicas aplicadas de geoprocessamento de informações em um ambiente computacional. Em geral, um programa computacional do tipo SIG é um sistema composto de quatro grandes componentes: componente de captura de dados (sistemas de posicionamento), componente de armazenamento (banco de dados geográficos), componente de análise (interpolações, validações, etc) e o componente de apresentação dos dados, os mapas (LANDIN, 2006).

O compartimento de captura de dados consiste basicamente em atribuir posicionamento a informação ou evento observado na superfície terrestre. Atualmente,

receptores mais precisos e acurados contemplam a captação de ambos os sinais, chamados de receptores GNSS. Esses operam na recepção dos sinais de satélites GLONASS e do mais conhecido, o sistema GPS. Quando o europeu *Galileo* se tornar operacional somando-se ao GLONASS e GPS, serão cerca de 80 satélites em órbita dedicados exclusivamente a tomada de coordenadas (JI et al, 2010).

Se tratando de agricultura, a aplicação das ferramentas mais avançadas de posicionamento é na utilização de pilotos automáticos em tratores (BAIO E MANTOVANI et al., 2011), contando com satélites privados, geoestacionários, para processar a tomada de coordenadas em tempo real, com alta precisão e acurácia.

Essas informações capturadas pelas constelações de posicionamento são modeladas em ambiente SIG, por meio da estruturação de banco de dados geográficos. Os bancos de dados podem gerir grande quantidade de informações sobre uma única entidade ou fenômeno em estudo, possibilitando análise múltipla e simultânea dessas informações, enriquecendo a caracterização da entidade ou fenômeno (BUSCH et al., 2012; CHRYSOCHOOU et al., 2012; POGGIO E VRŠČAJ, 2009).

O controle de qualidade das informações contidas no banco de dados é o responsável direto por estabelecer a confiabilidade para utilização das análises realizadas no ambiente SIG (SILVA, 1999). Assim, possibilita-se a realização de predições espaciais (TAYLOR e WHELAN, 2012), álgebras de mapas, correlações espaciais entre os atributos da entidade, estatística multivariada, e abordagens espaços-temporais (HOLLAND, 2011).

O produto final das análises realizadas a partir do banco de dados em SIG são os mapas temáticos, os quais apresentam através de simbologias os atributos das diferentes entidades observadas, devidamente referenciadas espacialmente e em escala. Esses produtos podem ser confeccionados em diversas escalas para um mesmo fenômeno (LIN et al., 2005; NORNG et al., 2005; ZHOU et al., 2012).

3.4 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO

3.4.1 METODOLOGIAS DE EXTRAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO PARA CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL

Quando se trata de coleta de amostras em “Agricultura de Precisão”, a metodologia mais utilizada comercialmente e academicamente é a grade regular com pontos de observação equidistante em malha, conhecida como *grid* (AMARO FILHO et al., 2007; MALLARINO e WITTRY, 2005). Essa metodologia é o padrão utilizado comercialmente para amostragem,

entretanto nesse caso, a definição quantitativa de observações ou pontos de amostragens a serem realizadas depende do prévio acordo financeiro das partes, e não da necessidade e viabilidade técnica das mesmas.

Estudos acadêmicos também se valem de *grids*, entretanto a densidade e o número de amostras realizadas são altos (DELALIBERA et al., 2012; ZANÃO JÚNIOR et al., 2009), portanto tendem apresentar bons resultados por favorecer a posterior retirada de pontos discrepantes ou agrupar observações, permanecendo conjunto de dados suficientes para analisá-los conforme pressupostos.

Buscando qualificação das informações obtidas através de coletas de amostras de solos para estudo da variabilidade espacial, Thompson et al., (2004) elaboraram diferentes densidades de amostragens em *grid*, a fim de comparar os valores obtidos com amostragens de solos baseadas em critérios agronômicos. Selecionaram-se grupos de pontos amostrados em *grid* de acordo com mapa de classificação de solos, conforme a variabilidade espacial do rendimento de grãos pelo mapa de colheita do milho na safra anterior, e por fim, conforme sensoriamento remoto idealizando mapas de índices de vegetação em modelagem SIG.

Os autores observaram que os dados coletados a partir dos critérios agronômicos representaram melhor os fenômenos em estudo. Assim, conjuntos de dados oriundos de *grids* podem em alguns casos não levar em conta a natureza da variabilidade espacial de modo mais amplo nas áreas agrícolas, apenas se estabelece um padrão de amostragem ou de variabilidade espacial a partir desses.

A variabilidade dos fenômenos ecológicos são díspares em relação às diferentes regiões edafoclimáticas, e as metodologias de amostragem deveriam ser testadas e validadas localmente. Metodologias que contemplem de modo mais amplo as informações, como modelos de paisagem podem se mostrar eficientes para predizer a variabilidade de fenômenos. Assim, a densidade amostral pode ser alterada conforme melhor entendimento da ocorrência do fenômeno, mantendo-se boa qualidade da informação (KHEIR, 2012).

3.4.2 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

O uso comercial ou em larga escala da denominada “Agricultura de Precisão” passa hoje pelo manejo da variabilidade da fertilidade química do solo ou taxa variável de aplicação. O manejo das condições físicas do solo a muito vem sendo negligenciadas por não ser possível modificá-las através de um “saco” comercialmente disponível (LAL, 2000).

Uma característica física de extrema importância em solos tropicais quando do uso agrícola é a granulometria. Por gênese, a hidrólise dos silicatos, condiciona o conteúdo e a presença de diferentes argilominerais secundários conforme o material de origem e o grau de intemperismo dos mesmos (MELFI et al., 1979). Assim, a partir de diferentes climas, geologias e demais processos de intemperismo, a proporção entre argilominerais presentes poderá ser muito variável.

Em geral os argilominerais predominantes nos solos brasileiros são as argilas 1:1 (ilita, caulinita, motmorilonita), e óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e magnésio, os quais apresentam de maneira geral baixa CTC, e consequentemente baixos potenciais de adsorção de cátions (SOUZA JÚNIOR, 2007) e formação de dupla camada iônica. A relação desses diferentes minerais de argila com a fertilidade dos solos agrícolas é primeiramente relacionado à propriedade coloidal no sentido da cinética das bases pela solução do solo, e formação de agregados (SENGIK e ALBUQUERQUE, 2003).

Tratando da formação de agregados, o manejo do solo quando baseado em tráfego intenso e implementos pesados, apresentam significativa influência sob a estrutura do solo. A variabilidade espacial horizontal e vertical dessa característica é periodicamente alterada via compactação e rompimento do solo, as quais ocorrem na utilização de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras entre outros implementos agrícolas, desagregando o solo na linha de cultivo e adensando nas linhas de tráfego (WEIRICH NETO et al., 2006). Assim, distintas porosidades (PIRES et al., 2008), de solo são originadas possivelmente modificando as capacidades de retenção de água, movimentação de espacial horizontal e vertical das bases, além de limitações ao crescimento de raízes.

A estrutura e textura do solo também influem sobre processos biológicos. Buscando identificar fatores que afetam de maneira geral variações no metabolismo da biota por meio de leituras de fluxo de gases, em diferentes solos e ambientes, Balogh et al., (2011) retratam que entre as variáveis analisadas existe significativa correlação entre o aumento nos fluxos de gases nas medidas respirométricas do solo, com o conteúdo de argila em uma camada de 0 – 0,2 m. Isso porque os autores observaram nas áreas mais argilosas conteúdos de água próximos à capacidade de campo. Sendo assim, concluíram que o conteúdo de argila também contribuiu para o aumento atividade da microbiota, influenciando entre outros os processos de mineralização e imobilização na ciclagem de nutrientes na decomposição da matéria orgânica do solo (MOS).

Além da CTC, movimentação e conteúdos de íons adsorvidos em argilas coloidais, compactação do solo, respiração do solo, e estoque de água, outras variáveis que apresentam

grande interesse agronômico e ambiental apresentam correlação com características físicas do solo, como susceptibilidade a erosão (GIRMAY et al., 2009), a cinética de metais pesados (HASSELLÖV e VON DER KAMMER, 2008) e cinética de moléculas de agrotóxicos nos agroecossistemas (THENG e YUAN, 2008), adsorção específica e indisponibilidade do ânion fosfato, limitações à drenagem e percolação de água no perfil do solo (KELLER et al., 2011; BAGARELLO e LOVINO, 2012), e o rendimento de grãos (COLET et al., 2007; KITAMURA, 2007; KHOSLA et al., 2008).

3.4.3 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Em solos agrícolas os atributos químicos de fertilidade, mensurados em análises laboratoriais comumente realizadas, submetidos a intenso manejo, apresentam grande variabilidade tanto no espaço quanto no tempo. A denotação “rotina” para a análise comumente realizada pode remeter a necessidade de monitoramento constante desses parâmetros devido à dinâmica e cinética desses elementos em sistemas agrícolas de produção (CORÁ et al., 2004; CASA e CASTRIGNANÒ, 2008).

Um elemento de grande importância para nutrição das culturas agrícolas é o fósforo, que diferentemente dos macronutrientes catiônicos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+}) não apresenta padrões lógicos em sua distribuição espacial (BAI et al., 2010; TESFAHUNE et al., 2011). Esse fato é atribuído à variabilidade de distribuição de fertilizantes, e principalmente sua baixa mobilidade horizontal e vertical, cinética a qual apresenta relação íntima com a granulometria do solo. Em trabalho investigando a variabilidade espacial de elementos químicos e características físicas do solo, os coeficientes de variação obtidos em relação ao fósforo geralmente são altos (GEYPENS et al., 1999).

Essa elevada variação é observada em camadas superficiais do solo (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010) muito constantemente alterada pelo manejo antrópico do solo e culturas. Os autores destacam que como esperado as maiores quantidades de macro nutrientes foram encontradas na camada de 0 – 0,10 m, e a partir de testes de modelos de krigagem, que maior dependência espacial dos valores de macronutrientes em análise de rotina foi constatada em um solo de textura média em relação a um solo de textura argilosa, além de menores valores de C.V (%). O maior conteúdo de argilas coloidais em solos argilosos, e maior formação de agregados, podem manter a distribuição espacial de íons catiônicos variando mais intensamente com o movimento da solução do solo (fato que é influenciado por distintos

potenciais hídricos no solo), resultando em maiores valores de C.V (%) e maiores erros amostrais nas análises de krigagem.

3.4.4 VARIABILIDADE ESPACIAL DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

A matéria orgânica é considerada o principal indicador de qualidade do solo (FRANZLEUBBERS, 2002). Esta é reconhecida como o principal elo “*bio-organo-mineral*” dos agroecossistemas por estar fortemente correlacionado com a biota do solo e desenvolvimento das plantas, armazenamento de água e ciclagem de nutrientes (MANLAY et al., 2007; HOROWITZ e MEURER, 2007).

Verificando a eficiência de seis fertilizantes orgânicos como forma de suprimento de nitrogenado, iniciou-se estudo de longo prazo no ano de 1956, e os autores destacam como resultado de maior interesse obtido ao longo de 50 anos, que para o estoque de carbono no solo, o conteúdo de carbono derivado de tecidos de raízes foi 2,3 vezes maior em relação a resíduos oriundos de tecidos aéreos de plantas, ambos marcados com radioisótopos, considerando todos os tratamentos em análise (KÄTTERER et al., 2011). Portanto deficiências no crescimento radicular em diferentes solos da paisagem, devido restrições físicas e químicas ao longo do tempo, tendem a afetar a distribuição espacial do conteúdo de carbono mais intensamente que a produção de biomassa aérea.

No mesmo sentido, na região do planalto chinês de Loess, Liu et al., (2011) demonstram, através de geoestatística multivariada a partir de 382 amostragens da densidade de carbono orgânico do solo (SOC_D), que o acúmulo de carbono, em profundidades distintas do solo (estratificadas de 0 – 2 metros) é fortemente dependente de atividades humanas no sentido de manejo de solo e culturas e de características ambientais. Em relação às características ambientais constataram variações dos conteúdos de SOC_D conforme mudanças de temperatura e precipitação, em escala regional, e também características locais de solo e paisagem, como argila + silte e altimetria. Resultados semelhantes são apresentados por (SPELVOGEL et al., 2011; KHEIR et al., 2012; FLORES-DELAGADILLO et al., 2011).

3.5 SEGMENTOS DE PAISAGEM

A técnica referida como “modelos de paisagem”, é utilizada para auxiliar levantamentos de solos, constituindo uma evolução no entendimento das relações solo-geomorfologia no sentido de mapear áreas mais homogêneas (CAMPOS et al, 2010). Há uma

diversidade de modelos baseados na orientação e curvatura do relevo e são potencialmente úteis na predição da ocorrência de solos na paisagem (CAMPOS et al, 2006).

Um dos modelos de paisagem mais difundidos na literatura é o modelo de Troeh (1965). Esse modelo baseia-se na angulação da superfície geomórfica (côncava, convexa, plana), as quais potencialmente influem sobre fluxo e movimentação de água pelo terreno. Dada a importância desse modelo, o USDA-NRCS (2002) remenda a observação da angulação do compartimento geomórfico para coleta de solo no campo (CAMPOS, 2012).

Em geral, o modo e magnitude dos fatores associados ao relevo e a drenagem, dependem de onde o solo está alocado na paisagem e os fatores ou propriedades específicas do solo (LIN et al., 2005). Camargo et al., (2010) obtiveram correlações entre compartimentos geomórficos e as variáveis bases trocáveis, pH e MOS, além de atributos físicos do solo como porosidade e textura.

Em duas classes distintas de solos como Argissolos e Latossolos, e mediante emprego de estatística multivariada e coleta georeferenciada de solo, Silva Júnior et al., (2012) citam que a partir do detalhamento do modelo numérico de elevação do terreno foi possível constatar que para ambos os solos a forma da rampa (côncava e convexa) condicionam os padrões da distribuição espacial de atributos do solo, sugerindo o emprego desses no delineamento de esquemas amostrais.

Mesmo quando se tratam de pequenas variações do terreno, ou micro relevos, Artur et al., (2014) correlacionaram positivamente a variabilidade espacial de atributos químicos do solo com os compartimentos geomórficos da área em estudo.

3.5 ZONAS DE MANEJO

O estudo de algoritmos para identificar padrões semelhantes em áreas agrícolas, o mais comum são trabalhos tentando correlacionar atributos químicos do solo e o rendimento das culturas, normalmente resultando em baixos coeficientes de correlação, pois não consideram as interações existentes com os demais fatores de produção (GREGO et al., 2008; VILELA et al., 2008).

Porém como existe uma infinidade de variáveis que podem gerar variabilidade no rendimento das culturas, incluindo o erro antrópico, as técnicas mais utilizadas para recomendação de manejo localizado são os modelos geo-matemáticos. Esta recomendação por si só, não consegue explicar as variações causadas no rendimento, por não permitirem a análise simultânea de um conjunto de variáveis (SONG et al., 2009).

A fim de considerar as interações existentes no sistema solo-planta-atmosfera, o uso das chamadas “tecnologias da informação” na agricultura, ou agricultura de precisão, podem, desde que com critérios, aperfeiçoar esse processo de tomada de decisão (ORTEGA & SANTIBÁÑEZ, 2007; JARADAT, 2009; RAMPIM et al., 2012).

Nesse contexto, a utilização de técnicas de estatística multivariada parece ser um caminho promissor pelo fato de ser possível descrever simultaneamente as características de variáveis de diferentes origens em banco de dados, e determinar a influência das mesmas sobre fenômenos de interesse agrícola (GUASTAFERRO et al., 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado pelo grupo de trabalho do Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama), da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

4.1 LOCALIZAÇÃO E CLIMA

A área experimental é gleba de formato irregular, em unidade rural de exploração agrícola comercial típica dos Campos Gerais. Está localizada no segundo planalto paranaense, no município de Palmeira, coordenadas centrais aproximadas X – 602615 m e Y – 7196075 m, projeção transversa de Mercator (UTM), Datum SAD69, zona 22 J. A área é manejada em Sistema Plantio Direto (SPD) desde o final da década de 70. As cotas altimétricas na área experimental variam em intervalo de 795 m a 860 m.

O clima conforme classificação de Koeppen é subtropical úmido (Cfb), mesotérmico, com verões frescos e invernos com geadas severas e frequentes, sem estação seca definida (Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR, 1978). A formação florística original da área é baseada em campos limpos e mata de galeria da Floresta Ombrófila Mista, quando associado às redes de drenagem e corpos hídricos, evidenciando de modo geral baixa fertilidade natural e espessura dos solos.

4.2 PRECIPITAÇÃO NO PERÍODO DE CULTIVO

Foram acompanhados e registrados os valores de precipitação no período de cultivo, em área próxima a gleba em estudo, através da leitura em pluviômetro portátil, durante todo o período de desenvolvimento da cultura da soja (Figura 6).

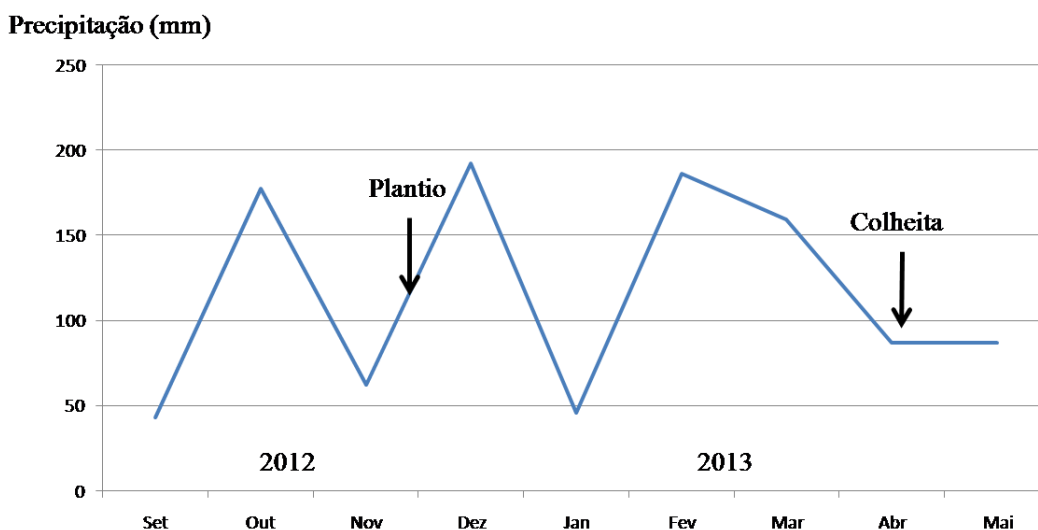


Figura 6 – Precipitação no período de desenvolvimento da cultura da soja, safra 2012/2013

4.3 IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA DA SOJA

A semeadura da soja ocorreu em 30 de novembro de 2012, após a colheita da cultura do trigo. A cultivar utilizada foi a Nidera[®] NA 5909[®], a qual é recomendada pela empresa, para plantios no período de 15 de setembro a 15 de dezembro e apresenta hábito de crescimento indeterminado. Apresenta porte alto, ultrapassando 1,30 m de altura, em condições normais de cultivo, sendo que o florescimento ocorre em média entre 70 e 100 dias após a semeadura, atingindo o ponto de colheita entre 115 e 130 dias. No processo de semeadura, buscou-se obter a densidade de 30 plântulas viáveis m⁻², com espaçamento entre linhas de 0,45 m. A adubação de base constituiu-se de 250 kg ha⁻¹ da formulação 00-20-20 (nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente), tendo ocorrido inoculação das sementes com organismos específicos no dia do plantio, direto na caixa da semeadora.

4.4 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E VARIÁVEIS DEPENDENTES

Confeccionou-se a base de dados geográficos contendo informações matriciais e vetoriais da área em estudo. A base matricial é constituída por cartas topográficas rasterizadas e imagens de satélites de diferentes sensores, sendo a SPOT-5 e GeoEye, ambas em escala 1:50.000. Procedeu-se o georeferenciamento das imagens de satélite, homogeneizando-as em projeção transversa de Mercator (UTM) e Datum SAD 69, zona 22 J.

A partir das informações matriciais compôs-se o mapeamento da propriedade, gerando vetores como os limites geográficos, estradas, áreas de remanescentes florestais, isocotas (espaçamento vertical de 20 m), e pontos para observações a campo em grade regular de amostragem (*grid*). A organização da base de dados, georeferenciamento das imagens, vetores, determinação dos locais de amostragens e demais análises em SIG, foram realizadas valendo-se do software *Environmental Systems Research Institute*, ArcGIS[®] 10 (ESRI, 2010).

O croqui do *grid* de amostragem contendo 60 pontos, para determinação de valores de atributos de solo e componentes de rendimento da cultura da soja é exposto na Figura 7.

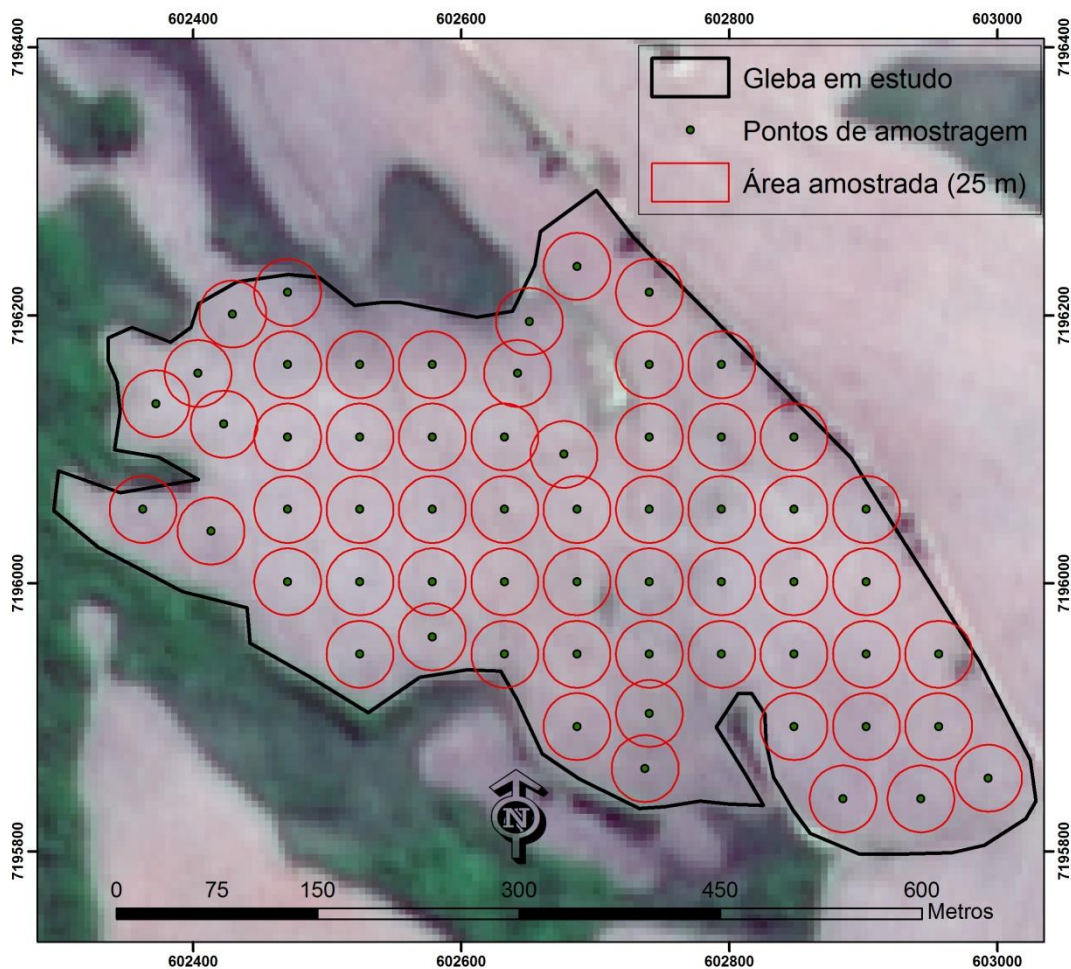


Figura 7 – Croqui da área em estudo e distribuição espacial dos pontos de amostragem

4.5 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CONSIDERADOS

Realizou-se a coleta de solo no dia 02 de abril de 2013, um dia após a colheita mecânica da soja. Valeu-se dos níveis estabelecidos por Raij et al., (1996), para interpretação de atributos químicos de solos oriundos de coleta realizada em período posterior a colheita.

Para formação da amostra composta do ponto, coletaram-se seis subamostras aleatorizadas, em área formada por buffer de 25 metros de raio, totalizando uma área de 0,3 hectares representada por cada ponto de amostragem. Estratificaram-se as amostras em cinco profundidades, considerando o total de 0,6 m avaliados. Definiu-se a divisão dos estratos de solo nas camadas de 0 – 0,05 m; 0,05 – 0,1 m; 0,1 – 0,2 m (Profundidade 5, 10, 20 respectivamente), utilizando-se de trado estratificador (calador).

Homogeneizou-se o volume de solo e as amostras foram encaminhadas para análise de rotina no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual de Ponta Grossa. A partir do laudo laboratorial, obtiveram-se os valores de Carbono (C), pH, acidez potencial ($H^+ + Al^{+3}$), alumínio (Al^{+3}), Fósforo (P), Potássio (K^+), Magnésio (Mg^{+2}), Cálcio (Ca^{+2}), Soma

de bases (Sb), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) efetiva e a pH 7,0, e relações de balanço entre nutrientes.

4.6 COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA

Realizaram-se as amostragens de parâmetros fitotécnicos e componentes de rendimento em dois momentos distintos. Em um primeiro momento na maturação fisiológica da cultura, nos dias 15, 17 e 20 de março de 2013, mensuraram-se os parâmetros fitotécnicos, número de vagens na haste principal e vagens na haste lateral, e população de plantas. Avaliaram-se esses parâmetros em seis plantas aleatórias em cada ponto de amostragem, e no caso da população de plantas, fora quantificada pela média de seis repetições do número de plantas presentes em três metros de linha.

Em um segundo momento, realizou-se a colheita também em cinco repetições por ponto de amostragem, escolhidos aleatoriamente. Essa etapa foi realizada nos dias 10 e 12 de abril de 2013. Em cada repetição, coletou-se a totalidade de plantas presentes em 6 metros de três linhas de cultivo.

Debulharam-se as sub amostras de cada ponto separadamente em trilhadora mecânica estacionária acoplada a tomada de potência de trator. Obteve-se a correção dos valores de rendimento de grãos e massa de mil grãos com auxílio de balança digital Shimadzu® de acurácia (0,1 g), e determinador do conteúdo de água Agrologic®.

4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS E MODELOS ESPACIAIS UTILIZADOS

4.7.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E ESPACIAL

A fim de verificar a variabilidade e magnitude do conjunto de dados, realizou-se análise das medidas estatísticas: média, mediana, desvio padrão, variância, valor mínimo e máximo, a amplitude de valores, e coeficiente de variação (CV), para cada camada de solo.

Realizou-se análise prévia de CV nas seis leituras de sub amostragem, e valeu-se do valor médio para integrar uma nova análise descritiva dos dados por ponto de amostragem. A normalidade foi testada pelo teste de normalidade de Anderson-Darling.

Após análises estatísticas descritivas, foi realizada graficamente a análise espacial dos valores através do interpolador espacial mínima curvatura, de acordo com Weirich Neto et al., (2000), valendo-se do software SURFER® 8.0 (versão demonstrativa para Windows), caracterizando a distribuição espacial dos valores das variáveis consideradas na área em estudo.

4.7.2 MODELO DE PAISAGEM

Através do modelo digital de elevação (DEM), aplicou-se o modelo de paisagem proposto por Troech (1965), dividindo-se a área de trabalho em quatro segmentos (Figura 7). O primeiro segmento (S1 - preto) é a porção localizada no topo em proximidade ao divisor de águas, o segundo segmento (S2 - vermelho) localiza-se na encosta da vertente possuindo pedoforma côncava. O terceiro segmento (S3 - amarelo) possui pedoforma convexa e os maiores valores de gradiente topográfico observados na gleba, e, posicionada nos menores valores de isocota altimétrica da área em estudo encontra-se o S4 (azul) na planície aluvial ou sedimentar (Figura 8).

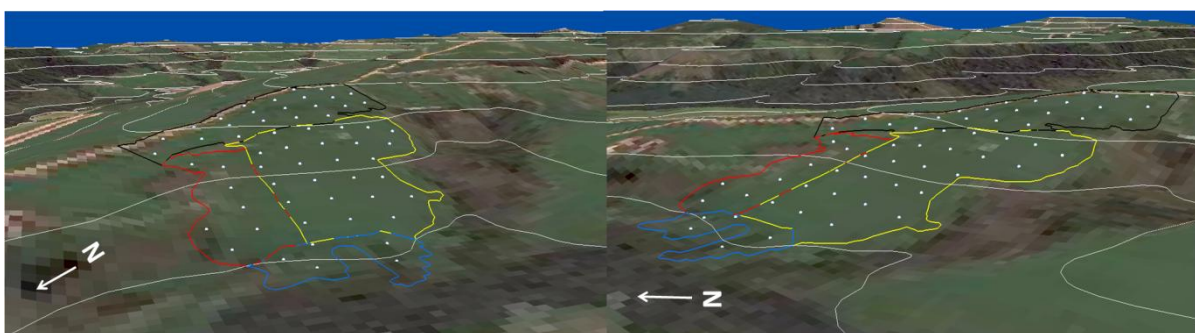


Figura 8 – Diferentes ângulos de visão do posicionamento dos segmentos na área de estudo. S1, S2, S3 e S4 correspondem respectivamente às cores preto, vermelho, amarelo e azul

Para conferência da significância do modelo de paisagem, realizou-se nova estatística descritiva por segmento da paisagem. Também, valeu-se do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais (Tabela 1) a 5 % de significância. Para comparação de médias considerou-se cada segmento como um tratamento nas análises.

Tabela 1 – Número do contraste e identificação dos pares de médias contrastadas

Número do contraste	Contraste
Contraste 1	Segmento1 x 2
Contraste 2	Segmento1 x 3
Contraste 3	Segmento1 x 4
Contraste 4	Segmento2 x 3
Contraste 5	Segmento2 x 4
Contraste 6	Segmento3 x 4

4.7.3 MODELO MATEMÁTICO

Orientou-se com base em procedimento metodológico valendo-se de estatística multivariada para segmentação das zonas de manejo (DELALIBERA et al., 2012).

Na aplicação do modelo, compensaram-se as magnitudes numéricas das variáveis e realizou-se pré-processamento dos dados, pelo método do auto escalamento, não permitindo que uma variável obtivesse uma maior importância na análise oriunda apenas da magnitude da mesma (MORRISON, 1976).

A fim de agrupar os pontos de amostragem conforme a variância total do conjunto de dados (HAIR JR et al., 2005) empregou-se duas técnicas de estatística multivariada. A primeira trata-se da Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA), onde se possibilitou identificar quais pontos possuem maior similaridade em relação à variância do conjunto total de dados, ou seja, quais variam em um mesmo sentido quanto à totalidade de variáveis em análise (HAIR JR et al., 2005).

Identificado os grupos de pontos, empregou-se a Análise de Componentes Principais (PCA), identificando qual variável explicaria a variância dentro de cada zona de manejo (grupo) sugerida. As análises multivariadas foram realizadas utilizando o software computacional Pirouette[®] 4.5 (INFOMETRIX, 2011).

Para conferência da significância das análises multivariadas, realizou-se nova análise descritiva cada grupo de pontos obtido, e ainda, teste de comparação de médias por contrastes ortogonais a 5 %, considerando cada zona de manejo como um tratamento na análise.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DESCRITIVA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A partir da análise estatística descritiva (Tabela 3) das variáveis na camada superficial de 0 – 0,05 m é possível verificar que com exceção do pH, os valores de coeficientes de variação (CV) estão classificados entre altos a muito altos de acordo com os valores sugeridos por PIMENTEL-GOMES (2009), evidenciando a heterogeneidade da área.

Esses valores de CV, para os atributos químicos, podem estar ligados a profundidade amostrada em áreas sob SPD, onde o aporte de corretivos e fertilizantes em muitas culturas é na linha de cultivo, e por ser ambiente de intensa atividade biótica na ciclagem de nutrientes e susceptibilidade ao efeito erosivo. Valores semelhantes de CV são obtidos na bibliografia em trabalhos que investigam a variabilidade espacial (ZANÃO JÚNIOR et al., 2009; TESFAHUGNEGN et al., 2011; DALCHIAVON et al., 2012).

Em relação à distribuição dos valores das variáveis analisadas, com exceção de potássio, saturação por alumínio (m %) e a relação cálcio/magnésio, as demais variáveis não apresentam normalidade de distribuição conforme o teste de Anderson-Darling.

Tabela 2 – Análise estatística descritiva e teste de normalidade de Anderson-Darling dos conteúdos dos atributos químicos e granulométricos do solo na Profundidade 5

Variável	Profundidade 5 (0 - 0,05 m)							
	Média	Mediana	Moda	Máximo	Mínimo	Amplitude	C.V (%)	p-value ⁴
pH ¹	4,51	4,50	4,30	5,30	4,00	1,30	6,85	< 0,005
H + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	7,18	6,69	9,01	14,07	3,69	10,38	29,30	0,036
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,63	0,50	0,00	3,10	0,00	3,10	85,50	< 0,005
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	2,05	1,95	1,90	4,70	1,00	3,70	37,21	0,014
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,07	1,00	0,80	2,50	0,50	2,00	32,30	< 0,005
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,43	0,42	0,37	0,65	0,19	0,46	22,07	0,797
P ² (mg dm ⁻³)	43,22	38,10	41,20	146,90	12,00	134,90	59,90	< 0,005
C (g kg ⁻¹) ³	22,43	20,00	19,00	38,00	13,00	25,00	26,34	< 0,005
Ca ⁺² + Mg ⁺²	3,12	2,95	4,30	7,20	1,70	5,50	34,64	0,010
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	10,73	9,93	9,86	18,34	7,31	11,03	21,93	< 0,005
CTCe(cmol _c dm ⁻³)	4,18	3,96	5,30	7,72	2,10	5,62	31,22	< 0,005
Sb (cmol _c dm ⁻³)	3,54	3,46	2,35	7,72	2,10	5,62	31,22	0,011
V %	33,59	31,57	28,05	60,88	18,93	41,53	28,13	0,011
m %	15,31	14,24	0,00	42,06	0,00	42,06	69,00	0,305
Ca ⁺² /Mg ⁺²	1,92	1,90	2,00	3,00	1,10	1,10	20,47	0,345
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	7,60	7,16	5,71	22,63	3,52	19,11	42,43	0,050

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; ⁴Normal ao teste de Anderson-Darling p-value> 0,15

Mesmo tratando-se de camada superficial do solo onde é feita a correção de acidez em SPD, em média os valores de pH são considerados muito ácidos (EMBRAPA, 2007) e em alguns pontos são considerados extremamente ácidos.

Essa acidificação do solo pode estar relacionada à alta carga de fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura para o manejo de gramíneas e, a alta relação C/N dos restos vegetais das leguminosas (AMARAL et al., 2000), e principalmente ao material de origem. A partir de baixos valores de pH observa-se aumento da disponibilidade de Al^{+3} , a qual é relacionada à toxicidade, geralmente ocasionando restrições ao desenvolvimento radicular

Os valores mensurados demonstram que o conteúdo do íon Al^{+3} em relação aos cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} , em média ocupa quase 15% da rede de cargas negativas associada a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe). O uso de corretivos de acidez e principalmente um aumento na diversidade de culturas, com diferentes relações C/N poderiam auxiliar no manejo da toxidez do íon Al^{+3} fornecendo diferentes radicais de matéria orgânica ao solo estimulando a formação de complexo Al^{+3} – matéria orgânica.

Também se observa alta variabilidade para Carbono, CTCe, CTC pH7,0, Sb, e V%, a priori demonstrando potenciais distintos de respostas a fertilizações, corretivos, armazenamento de água e produção de biomassa.

Os atributos Sb e V % são geralmente associados a “áreas férteis”, pois retratam a quantidade que determinado solo apresenta, em análise de rotina, de macro nutrientes essenciais Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} . Esses cátions básicos também são determinados em proporção ao conteúdo do fitotóxico Al^{+3} , pelo m %, que nesse caso possui valor considerado muito alto (RAIJ, 1996).

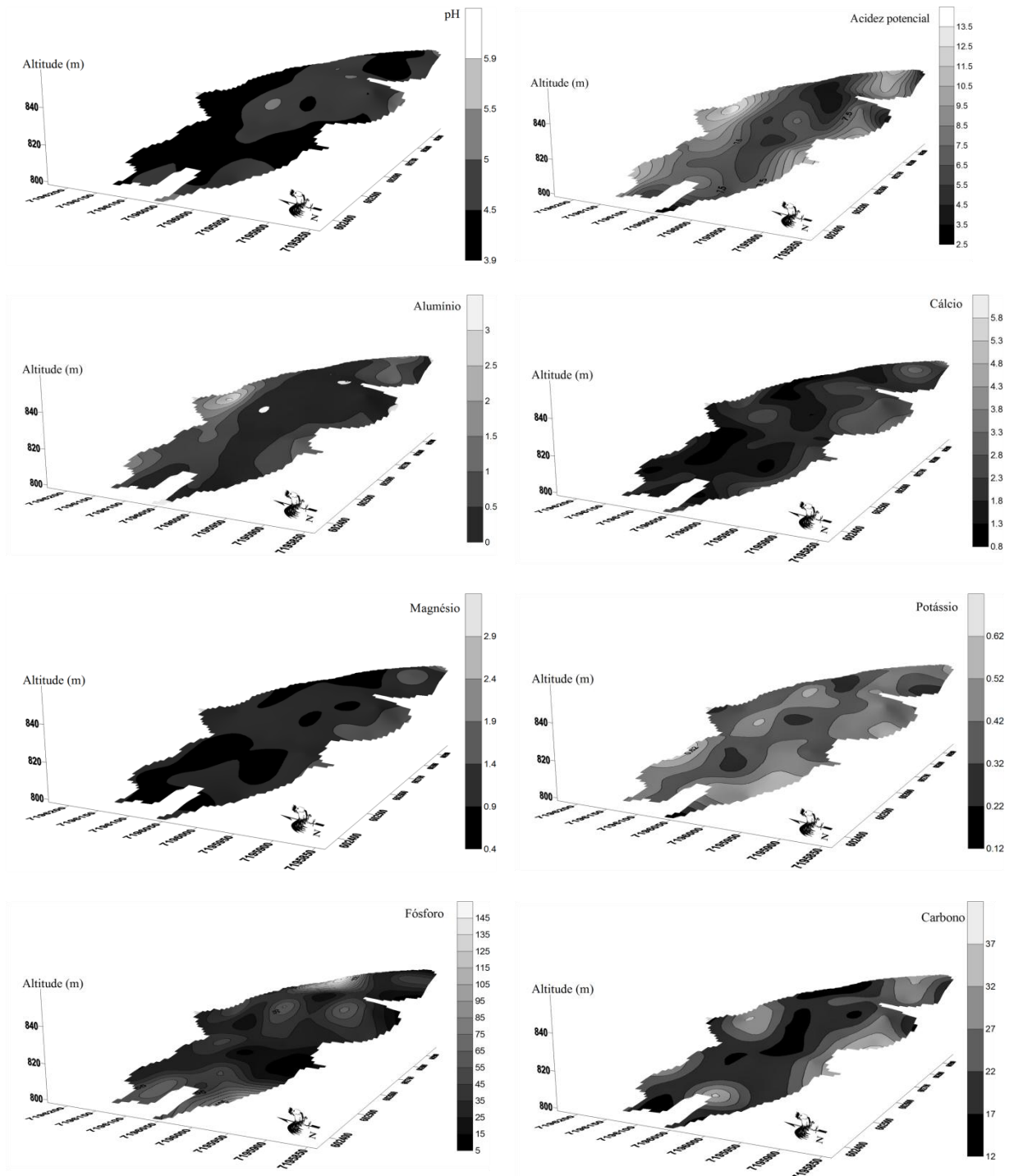
O estoque de carbono total do solo é considerado de baixo a alto para valores mensurados nas camadas superficiais de solos subtropicais em SPD (SÁ et al., 2009), variando de $13,00 \text{ g kg}^{-1}$ a $38,00 \text{ g kg}^{-1}$.

Tratando-se do conteúdo de fósforo, pode-se evidenciar a alta variabilidade espacial, fato comumente relatado para essa variável em camadas distintas do solo (VALLADARES et al., 2013). O conteúdo médio encontrado é considerado alto.

Sabe-se que altos conteúdos de argila favorecem maior adsorção específica com o ânion fosfato de forma irreversível (VALLADARES, 2003), então a alta disponibilidade de fósforo pode ser reflexo do baixo conteúdo dos constituintes dessa fração granulométrica em nível regional.

Na mesma região, objetivando caracterizar a variabilidade espacial de atributos de solo e planta, o conteúdo de argila foi identificado como importante fonte de variação na diferenciação de componentes de rendimento da cultura do trigo, quanto a respostas diferenciais ao suprimento nitrogenado (COLET et al., 2007).

Na análise da distribuição espacial (Figura 9) observa-se possível influência do gradiente topográfico diferenciando a distribuição espacial das magnitudes dos atributos químicos do solo na área agrícola.



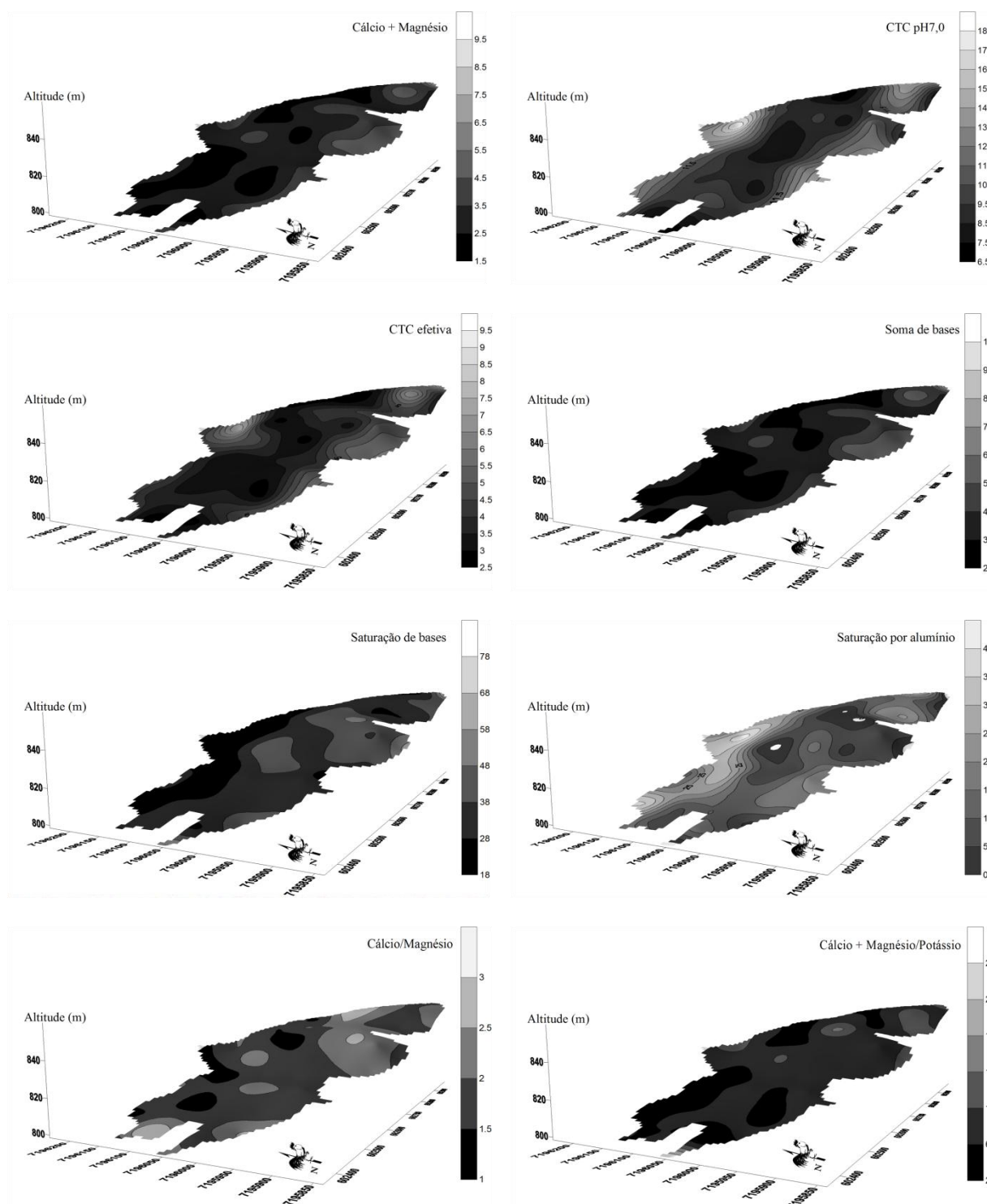


Figura 9 – Distribuição espacial dos atributos químicos do solo na Profundidade 5 na área em estudo

Nesse estudo de caso as áreas de topo, posicionadas a sudeste e nordeste da área em estudo, observam-se menores gradientes topográficos, favorecendo o acúmulo de bases, o aumento do conteúdo de carbono orgânico e por consequência o valor das CTC.

Visualizando a porção equatorial, é possível continuar reconhecendo padrões na relação entre as características físicas da área e os conteúdos dos atributos químicos. Nessa porção do terreno estão presentes gradientes topográficos superiores a 10°, predominando os menores valores para o conteúdo de carbono, e em consequência cátions trocáveis e CTC.

Visualizando a posição na paisagem dessa região equatorial, o gradiente topográfico pode estar influenciando o efeito erosivo no sentido de movimento de água e bases pela solução. Parece nítido que existe um “ralo” de fertilidade na camada superficial do solo devido altos valores de gradiente topográfico, podendo trazer consequências ambientais eminentes aos corpos hídricos adjacentes a oeste da área em estudo, no sentido de eutrofização do manancial.

Em relação à Profundidade 10 (Tabela 4) é possível verificar que o C.V da maioria dos atributos químicos do solo são considerados altos, com exceção do pH, que por sua vez apresenta valor de C.V baixo. Observa-se também um aumento considerável (57,8%) no conteúdo médio de Al^{+3} em relação à Profundidade 5.

A distribuição dos valores para variáveis químicas não apresentaram normalidade, com exceção da acidez potencial, e do conteúdo de alumínio, conforme teste de Anderson-Darling (Tabela 4).

Tabela 3 – Análise estatística descritiva e teste de normalidade de Anderson-Darling dos conteúdos de atributos químicos do solo na Profundidade 10

Variável	Profundidade 10 (0,05 – 0,1 m)							
	Média	Mediana	Moda	Máximo	Mínimo	Amplitude	C.V	p-value ⁴
pH ¹	4,23	4,10	4,00	5,20	3,90	1,30	6,91	< 0,005
H + Al^{+3} (cmol _c dm ⁻³)	7,78	7,34	6,70	13,07	3,69	9,38	29,41	0,210
Al^{+3} (cmol _c dm ⁻³)	1,09	1,05	1,10	3,40	0,00	3,40	64,51	0,331
Ca^{+2} (cmol _c dm ⁻³)	1,27	1,15	1,10	3,80	0,50	3,30	48,08	< 0,005
Mg^{+2} (cmol _c dm ⁻³)	0,52	0,50	0,50	1,20	0,30	0,90	37,21	< 0,005
K^{+} (cmol _c dm ⁻³)	0,27	0,26	0,25	0,54	0,08	0,46	29,35	0,049
P (mg dm ⁻³) ²	24,23	15,05	3,60	121,50	1,30	120,50	102,67	< 0,000
C (g kg ⁻¹) ³	15,91	15,50	17,00	44,00	8,00	36,00	34,16	< 0,005
$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ (cmol _c dm ⁻³)	1,98	1,75	1,80	12,00	0,80	11,20	79,04	< 0,005
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	9,84	9,61	-	15,54	6,17	9,37	23,52	0,036
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	3,15	2,74	2,48	5,87	1,99	3,88	29,67	< 0,005
Sb (cmol _c dm ⁻³)	2,05	1,90	2,06	5,14	0,99	4,15	39,51	< 0,005
V %	24,75	19,12	-	49,00	11,14	37,86	42,71	< 0,005
m %	34,06	38,67	0,00	58,60	0,00	58,60	50,36	0,060
$\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$	2,46	2,42	2,00	3,80	1,20	2,60	27,62	0,451
$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}/\text{K}^{+}$	7,03	6,28	5,00	30,00	2,62	27,38	58,27	< 0,005

¹Em solução de CaCl_2 ; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; ⁴Normal ao teste de Anderson-Darling p-value > 0,15

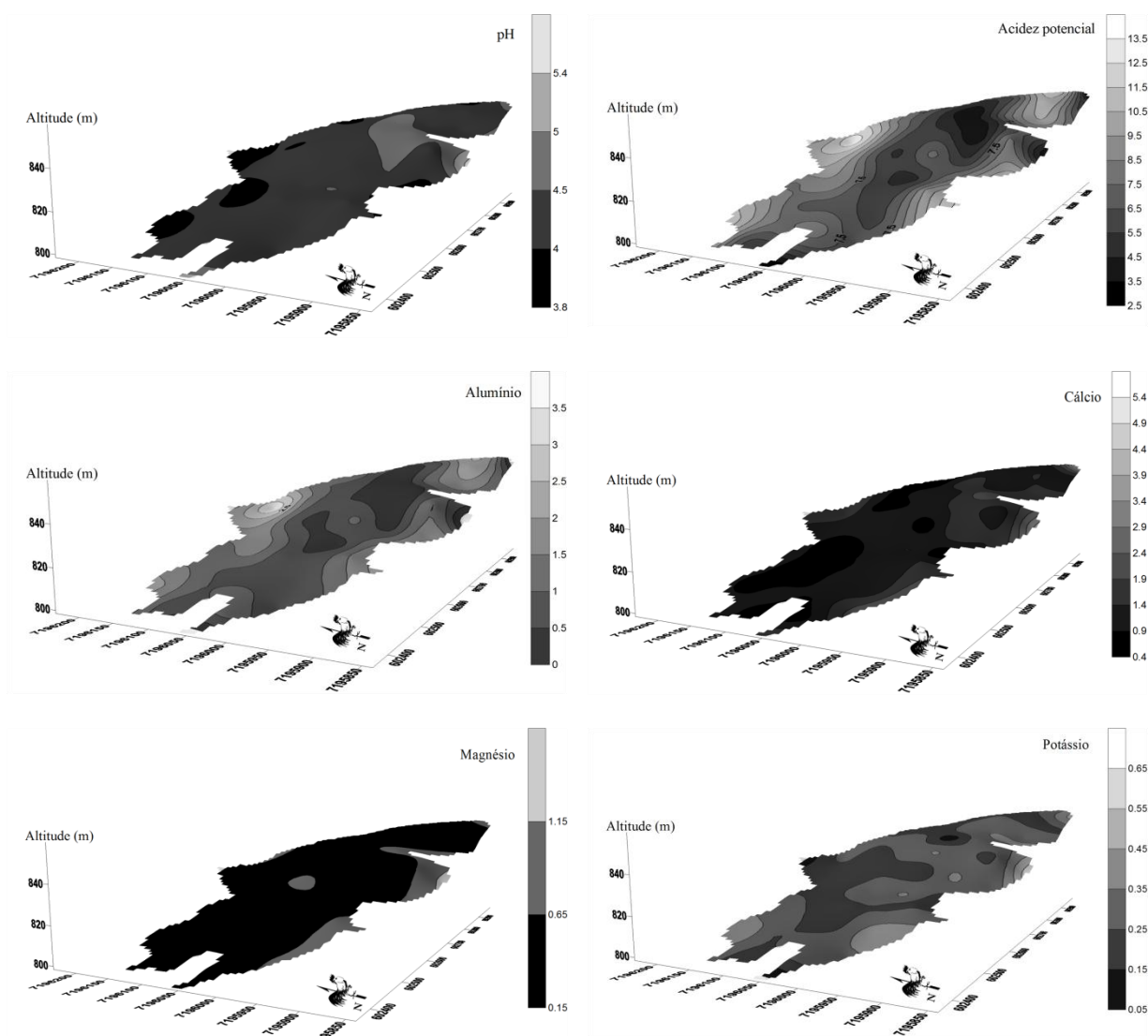
Ainda de acordo com a Tabela 4, houve aumento do conteúdo de Al^{+3} em relação aos conteúdos de cátions básicos, onde o percentual de preenchimento da CTCe por alumínio é de

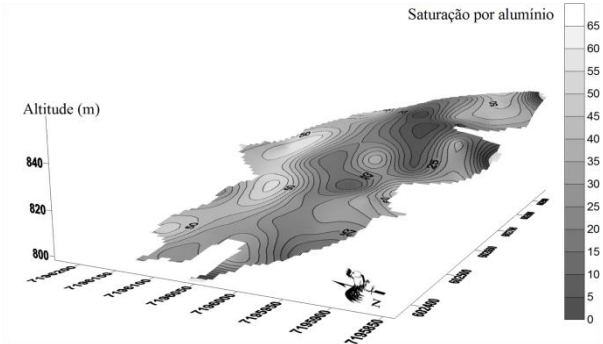
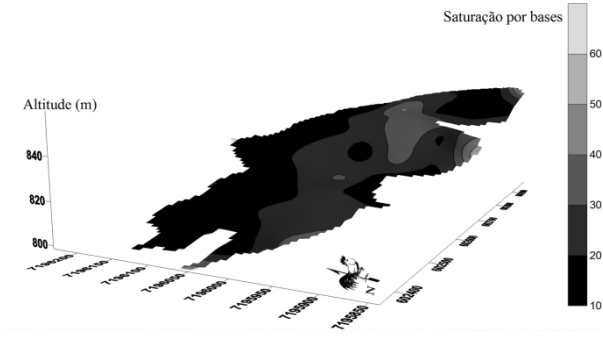
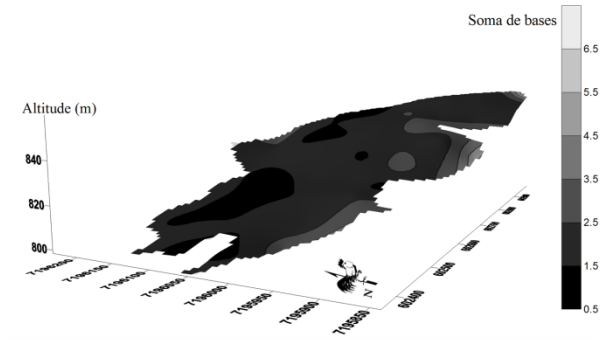
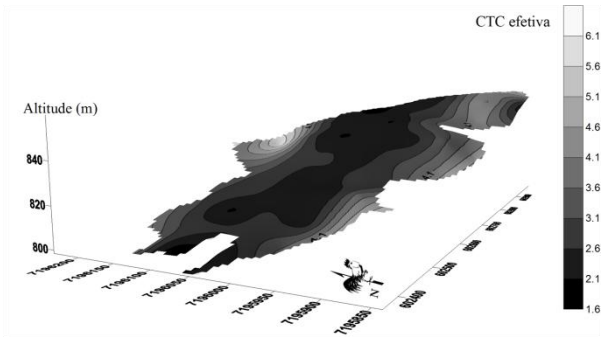
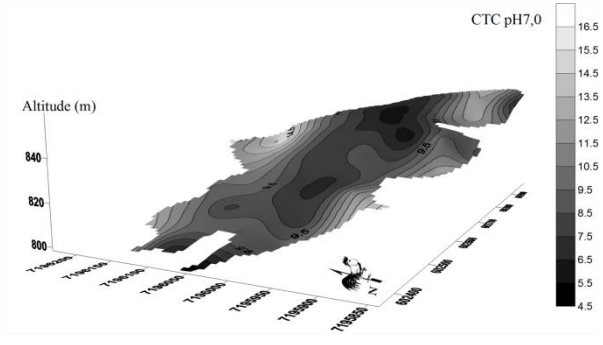
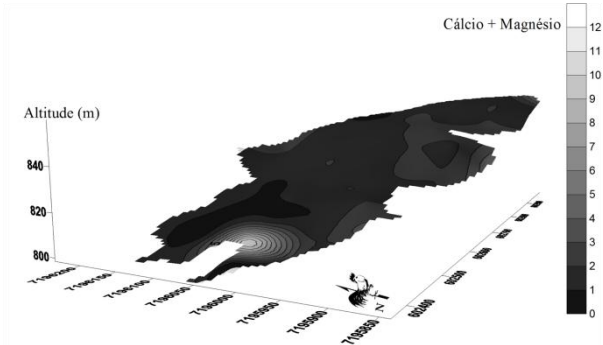
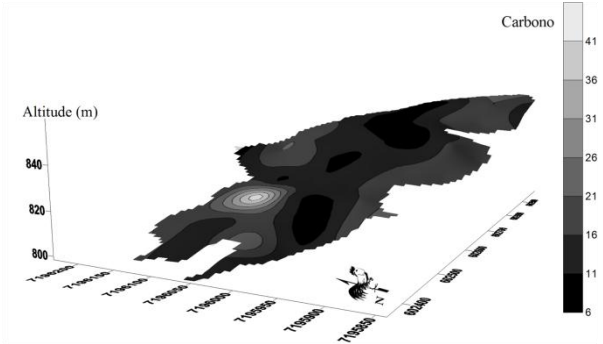
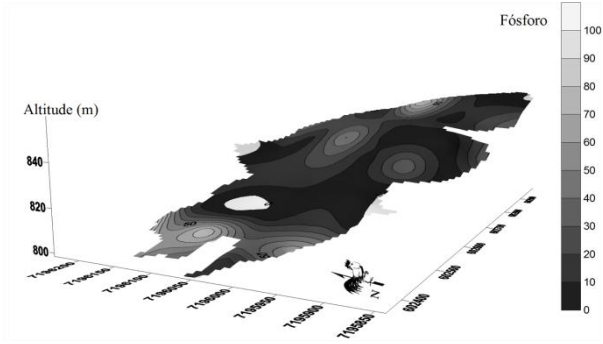
34%. É importante indicar que o conteúdo médio de alumínio nessa profundidade é superior ao conteúdo médio de Magnésio (Mg^{+2}).

Em relação às variáveis C, Sb, V%, CTCe, CTCpH7,0 pode-se replicar a discussão da Profundidade 5, onde os baixos valores de pH e de cátions básicos, contrapondo os altos valores de acidez potencial m%, promovem valores considerados baixos para esses atributos (RAIJ, 1996; ERNANI, 2007).

Os conteúdos de fósforo são considerados altos na Profundidade 10, e considera-se não haver restrições para o desenvolvimento de espécies agrícolas quanto à necessidade de fósforo.

A distribuição espacial dos atributos químicos do solo na Profundidade 10 (Figura 10) novamente demonstra o acúmulo de nutrientes em locais com menores valores de gradiente topográfico, enquanto a região equatorial mostra baixos valores para C, CTCe, CTC, Sb e V%.





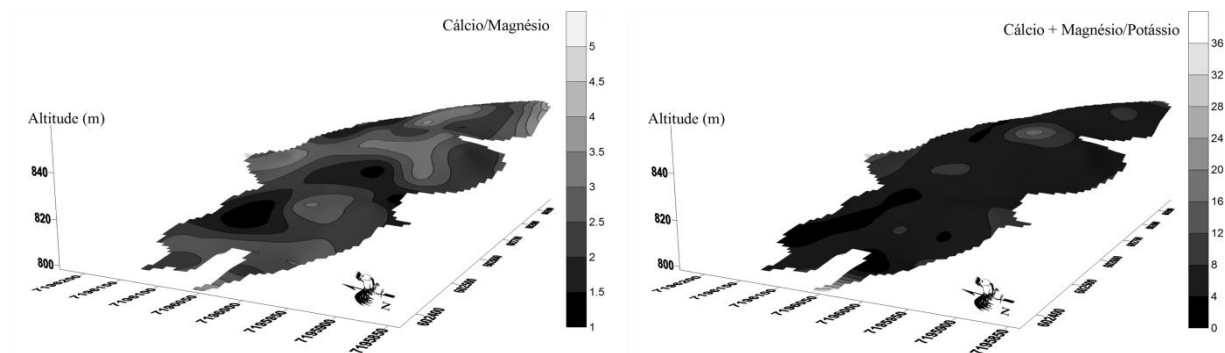


Figura 10 – Distribuição espacial dos atributos químicos do solo na Profundidade 10 na área em estudo

Já em relação à porção equatorial da área em estudo, continua sendo possível identificar parte da gleba onde os íons podem estar saindo do sistema agrícola devido à movimentação da solução do solo e susceptibilidade ao efeito erosivo, devido aos altos valores de gradiente topográfico. A sistematização de terraços (EMBRAPA, 2003) em curvas de nível, poderia ser considerada em primeiro momento para adequação do manejo de solo, água e nutrientes.

Observa-se alta variabilidade para os valores mensurados na Profundidade 20 (Tabela 5), e analisando os valores dos coeficientes de variação são altos, do pH. A acidez potencial, conteúdo de alumínio, CTC pH7,0 apresentaram distribuição normal.

Tabela 4 – Análise estatística descritiva e coeficiente de normalidade Anderson-Darling dos conteúdos dos atributos químicos do solo na Profundidade 20

Variável	Profundidade 20 (0,1 – 0,2 m)							
	Média	Mediana	Moda	Máximo	Min.	Amplitude	C.V	p-value ⁴
pH ¹	4,29	4,20	4,10	5,30	3,90	1,40	7,20	< 0,005
H + A ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	8,27	8,36	10,45	13,07	3,42	9,65	30,81	0,508
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	1,05	1,00	0,90	3,20	0,00	3,20	67,03	0,358
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,86	1,00	1,10	3,60	0,30	3,30	59,81	< 0,005
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,49	0,40	0,30	1,50	0,10	1,40	53,75	< 0,005
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,19	0,19	0,16	0,39	0,05	0,34	32,13	0,111
P (mg dm ⁻³) ²	4,83	3,00	2,10	47,20	0,60	46,60	137,81	< 0,005
C (g kg ⁻¹) ³	12,63	12,00	11,00	25,00	1,20	23,80	39,54	0,084
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,70	1,50	1,20	4,90	0,50	4,40	55,01	< 0,005
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	10,15	9,88	-	15,16	5,55	9,61	24,81	0,407
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	2,92	2,48	2,35	5,40	1,45	3,95	34,40	< 0,005
Sb (cmol _c dm ⁻³)	1,87	1,63	2,71	5,14	0,70	4,44	51,54	< 0,005
V %	19,34	16,06	-	54,47	6,28	48,19	54,68	< 0,005
m %	36,41	38,30	0,00	69,57	0,00	69,57	53,63	0,090
Ca ⁺² /Mg ⁺²	2,54	2,20	2,0	7,00	1,00	6,00	46,67	< 0,005
Ca ⁺² + Mg ⁺² /K ⁺	9,63	8,75	10,00	30,00	2,50	27,5	57,52	< 0,050

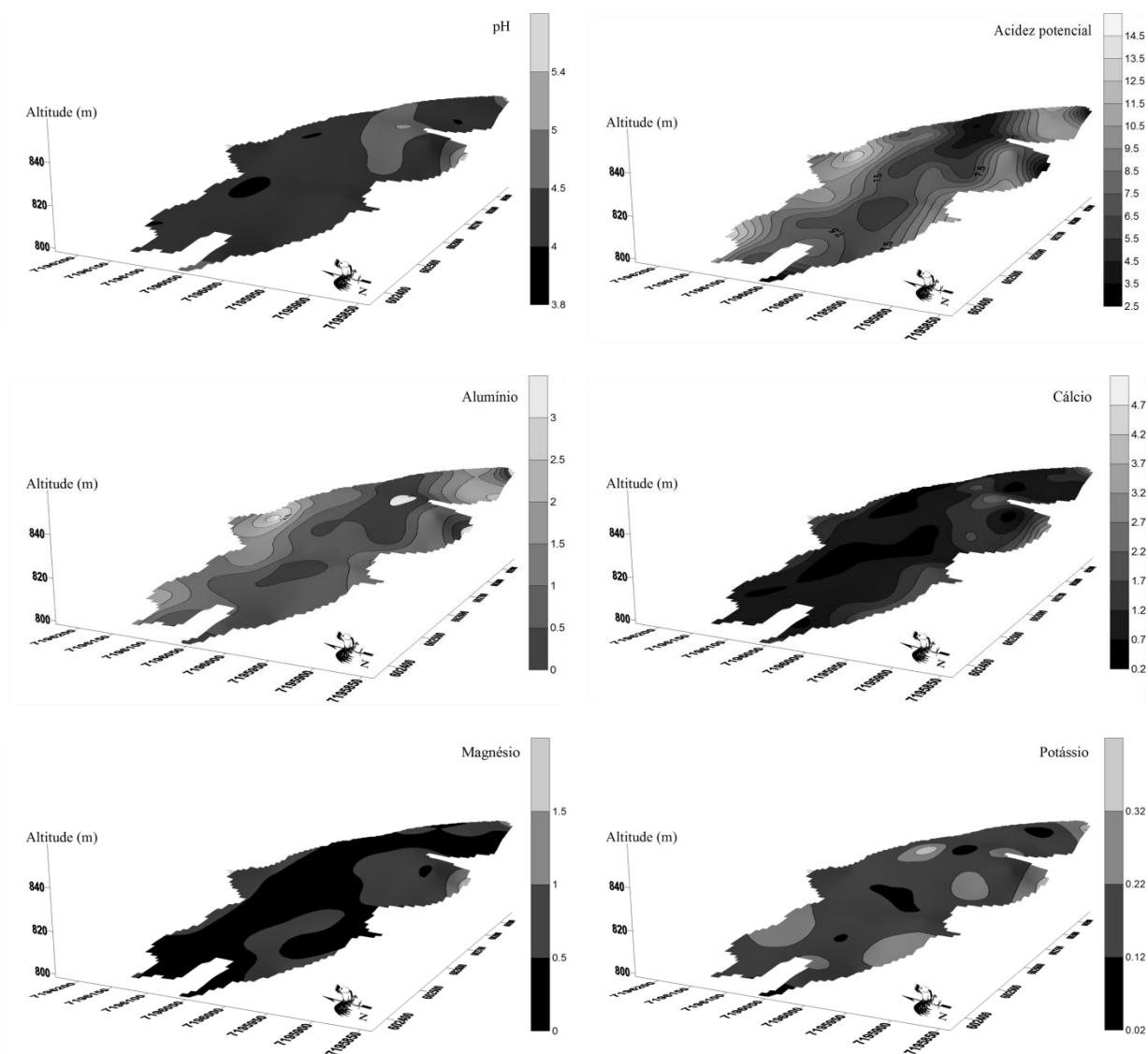
¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; ⁴Normal ao teste de Anderson-Darling, p-value > 0,15

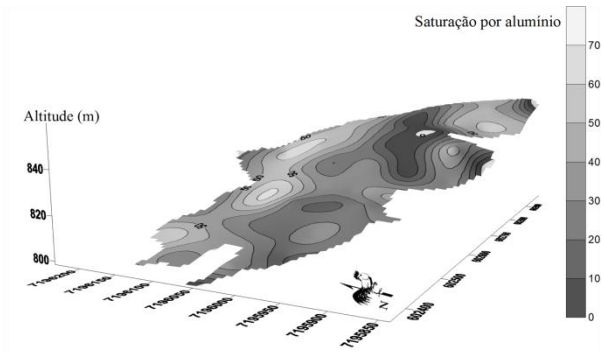
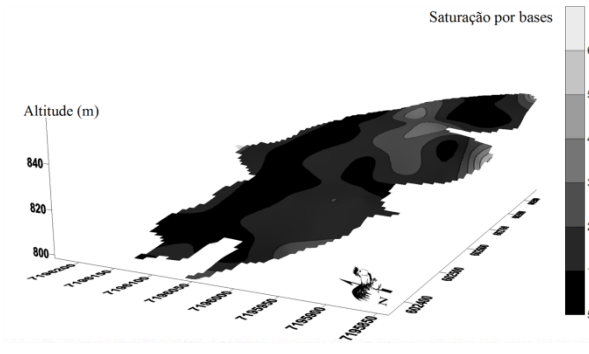
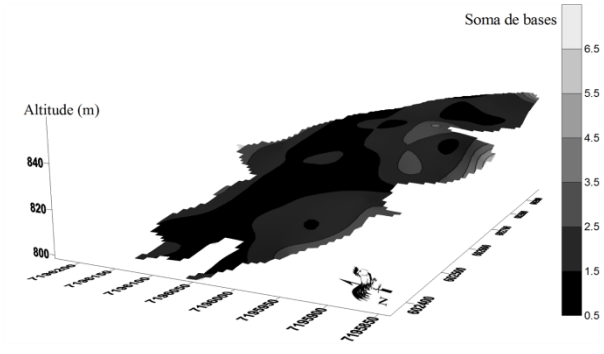
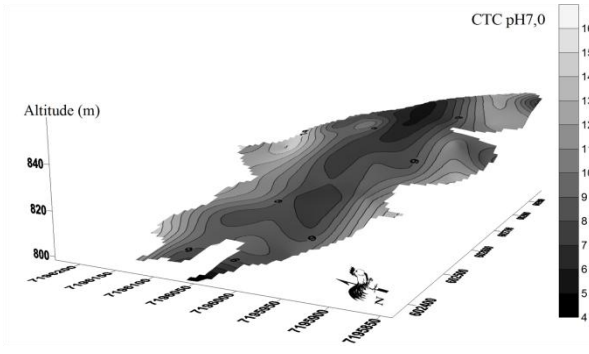
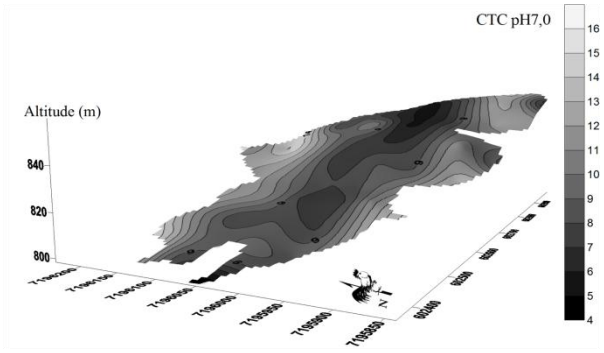
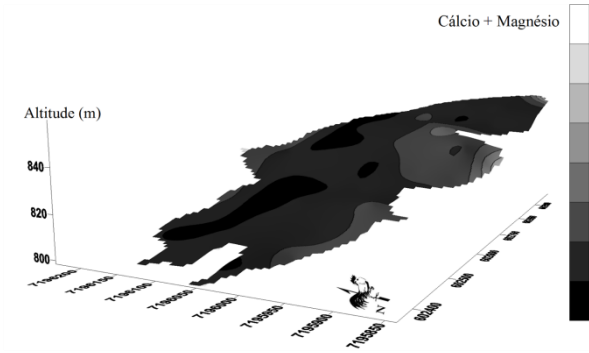
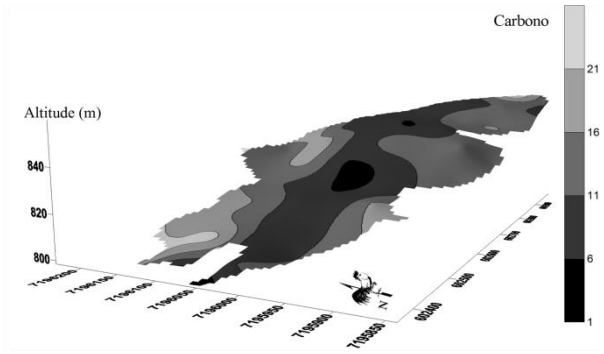
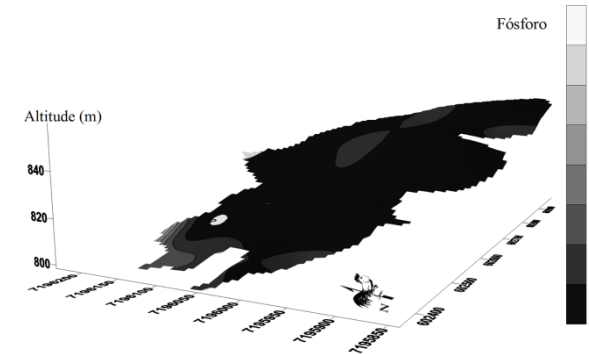
Na Profundidade 20 o conteúdo médio de alumínio continua ocupando aproximadamente 35% da CTCe, entretanto nesse caso o valor já é superior ao somatório dos conteúdos de magnésio e potássio. Também, continuam observando-se valores muito baixo

para V%, Sb, CTCe, CTC ph7,0, e carbono, fato esperado devido a profundidade da camada amostrada.

Para o conteúdo de fósforo houve redução em seu valor médio para essa profundidade, entretanto considerando a camada amostrada, o valor de fósforo permanece alto e não evidencia restrições para desenvolvimento das culturas praticadas. A restrição química nessa profundidade é em relação ao alto conteúdo de Al^{+3} , o qual poderia ser atenuado pelo aporte quantitativo e qualitativo de radicais orgânicos e arraste físico do íon para camadas mais profundas com o uso de gesso agrícola.

É possível constatar semelhanças na distribuição espacial dos atributos químicos do solo na Profundidade 20 (Figura 11), em relação às distribuições dos atributos nas camadas superficiais de solo. Observa-se acúmulo de cátions básicos e de carbono na porção plana a sul, enquanto na área de topo a norte, é possível visualizar maiores conteúdos do cátion Al^{+3} .





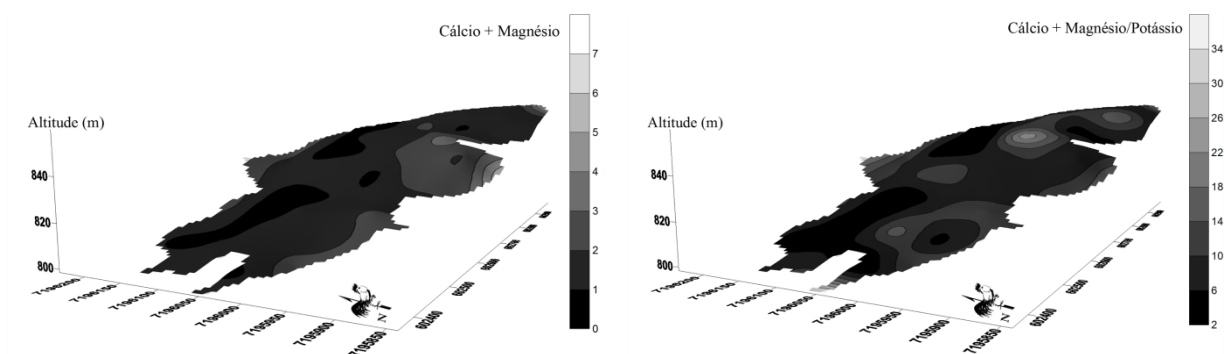


Figura 11 – Distribuição espacial dos atributos químicos do solo na Profundidade 20 na área em estudo

5.2 MODELO DE PAISAGEM (TROEH, 1965)

5.2.1 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 5 (0 – 0,05 m)

Os coeficientes de variação das leituras dos atributos químicos na Profundidade 5 (Tabela 6) são altos a muito altos para os segmentos sugeridos de paisagem S1, S2 e S4 (PIMENTEL-GOMES, 2009). No segmento S3, as variáveis apresentam valores considerados médios a baixos para CV (%), com exceção do Al^{+3} , m % e $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} / \text{K}^{+}$.

Tabela 5 – Média e coeficiente de variação para os atributos químicos do solo por segmento de paisagem na Profundidade 5

Variável	Segmentos de Paisagem							
	S1		S2		S3		S4	
	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V
pH ¹	4,50	7,40	4,50	5,930	4,24	2,69	4,58	9,44
$\text{H}^{+} + \text{Al}^{+3}$ (cmol _c dm ⁻³)	7,40	34,50	6,64	21,19	9,74	10,20	6,77	37,67
Al^{+3} (cmol _c dm ⁻³)	0,70	96,50	0,48	63,01	1,22	36,84	0,52	79,77
Ca^{+2} (cmol _c dm ⁻³)	2,17	38,27	2,05	36,11	1,66	22,78	1,90	42,43
Mg^{+2} (cmol _c dm ⁻³)	1,10	39,97	1,08	26,06	1,02	17,54	0,94	35,76
K^{+} (cmol _c dm ⁻³)	0,41	20,21	0,44	19,44	0,50	17,54	0,40	33,53
P^2 (mg dm ⁻³)	46,53	68,93	38,88	57,09	32,32	9,07	58,14	19,65
C^3 (g.kg ⁻¹)	23,00	25,15	22,33	28,61	23,60	17,11	19,40	28,37
$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ (cmol _c dm ⁻³)	3,28	37,87	3,13	31,77	2,68	18,82	2,84	38,70
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	11,09	25,74	10,21	16,84	12,92	5,91	10,02	27,15
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	4,41	33,03	4,01	23,77	4,40	10,83	3,76	29,49
Sb (cmol _c dm ⁻³)	3,68	34,52	3,57	29,06	3,18	17,94	3,24	32,62
V %	33,80	29,24	34,98	24,29	24,70	19,80	33,39	37,58
m %	15,92	11,32	12,73	67,74	27,81	37,32	14,22	66,60
$\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$	1,99	18,51	1,87	19,98	1,63	18,48	2,05	30,67
$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} / \text{K}^{+}$	8,20	35,73	7,20	27,71	5,52	25,15	8,81	88,30

¹Em solução de CaCl_2 ; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; S1, área de topo; S2, superfície convexa; S3, superfície côncava; S4, planície

Considerando a fertilidade do solo os segmentos S1, S2 e S4 se mostram muito semelhantes. Observa-se valores muito próximos entre esses para as variáveis pH, CTC pH 7,0, K^+ , m % e V %.

Analisando individualmente os segmentos de paisagem, observam-se valores considerados muito ácidos para S1. Regionalmente, são nessas áreas onde se observam a presença de classes mais desenvolvida de solos como Latossolos e Argissolos.

Aplicou-se teste comparativo de médias entre atributos químicos do solo, um segmento de paisagem em oposição a outro, através de contrastes ortogonais (Tabela 7).

Tabela 6 – Valor de P do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais com 5% de significância, para variáveis de solo na Profundidade 5

Variável	Contrastes (valor de P)					
	1	2	3	4	5	6
pH ¹	0,7630 ^{ns}	0,0790 ^{ns}	0,6365 ^{ns}	0,0411 ^{ns}	0,8639 ^{ns}	0,0275 ^{ns}
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,4355 ^{ns}	0,0216 ^{ns}	0,5200 ^{ns}	0,0057 ^{ns}	0,8907 ^{ns}	0,0039
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,3428 ^{ns}	0,0633 ^{ns}	0,4186 ^{ns}	0,0061 ^{ns}	0,8879 ^{ns}	0,0090
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,7519 ^{ns}	0,1814 ^{ns}	0,4769 ^{ns}	0,3047 ^{ns}	0,6918 ^{ns}	0,5264 ^{ns}
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,8842 ^{ns}	0,6260 ^{ns}	0,3439 ^{ns}	0,7323 ^{ns}	0,4223 ^{ns}	0,6439 ^{ns}
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,4737 ^{ns}	0,1437 ^{ns}	0,9208 ^{ns}	0,1845 ^{ns}	0,4150 ^{ns}	0,0348 ^{ns}
P ² (mg dm ⁻³)	0,5451 ^{ns}	0,2632 ^{ns}	0,3601 ^{ns}	0,6040 ^{ns}	0,1314 ^{ns}	0,0449 ^{ns}
C ³ (g.kg ⁻¹)	0,8202 ^{ns}	0,8379 ^{ns}	0,2229 ^{ns}	0,6661 ^{ns}	0,3195 ^{ns}	0,1561 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,7876 ^{ns}	0,2715 ^{ns}	0,4205 ^{ns}	0,4045 ^{ns}	0,5908 ^{ns}	0,7658 ^{ns}
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	0,4364 ^{ns}	0,1111 ^{ns}	0,3452 ^{ns}	0,0197 ^{ns}	0,8670 ^{ns}	0,0129 ^{ns}
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	0,5393 ^{ns}	0,9852 ^{ns}	0,2694 ^{ns}	0,5516 ^{ns}	0,6203 ^{ns}	0,2774 ^{ns}
Sb (cmol _c dm ⁻³)	0,8392 ^{ns}	0,3667 ^{ns}	0,4286 ^{ns}	0,4830 ^{ns}	0,5552 ^{ns}	0,9106 ^{ns}
V %	0,7964 ^{ns}	0,0510 ^{ns}	0,9297 ^{ns}	0,0282 ^{ns}	0,7293 ^{ns}	0,0618 ^{ns}
m %	0,5210 ^{ns}	0,0195 ^{ns}	0,7310 ^{ns}	0,0035	0,7650 ^{ns}	0,0081 ^{ns}
Ca ⁺² /Mg ⁺²	0,5227 ^{ns}	0,0649 ^{ns}	0,7713 ^{ns}	0,2143 ^{ns}	0,3616 ^{ns}	0,0339 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² /K ⁺	0,5246 ^{ns}	0,0914 ^{ns}	0,6992 ^{ns}	0,2857 ^{ns}	0,3082 ^{ns}	0,0398 ^{ns}

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias contrastadas; Contraste 1 - Segmento 1 x 2; Contraste 2 - Segmento 1 x 3; Contraste 3 - Segmento 1 x 4; Contraste 4 - Segmento 2 x 3; Contraste 5 - Segmento 2 x 4; Contraste 6 - Segmento 3 x 4

A semelhança entre as magnitudes de variáveis são expostas na Tabela 9, e observa-se efeito não significativo para a maioria dos contrastes. Em contraponto existem dois contrastes entre segmentos com efeito significativo a 5%.

O contraste entre as médias de acidez potencial entre os segmentos superfície côncava (S3) e planície (S4), onde se encontram valor de acidez considerado extremamente ácidos para S3 e ácido para S4.

O outro contraste onde fora encontrado efeito significativo a 5 % é a oposição dos Segmentos 2 e 3, para as médias de saturação por alumínio. Na superfície côncava é importante ressaltar que o valor desse atributo já é superior ao valor de saturação por bases.

Assim, para esse estudo de caso, os contrastes indicam não haver diferença entre médias suficiente para tratar manejos diferenciados dos atributos químicos do solo, quando considerados os segmentos da paisagem (TROECH, 1965).

5.2.2 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 10 (0,05 – 0,10 m)

Para a Profundidade 10 (0,05 – 0,10 m) os coeficientes de variação dos segmentos S1, S2 e S4 são altos a muito altos. Para o segmento S3 os valores são considerados médios a baixos exceto para Mg^{+2} , P, $Ca^{+2} + Mg^{+2}$, $Ca^{+2} + Mg^{+2} / K^{+}$ (Tabela 8).

Tabela 7 – Média e coeficiente de variação para os atributos químicos do solo por segmento de paisagem na Profundidade 10

Variável	Segmentos de Paisagem							
	S1		S2		S3		S4	
	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V
pH ¹	4,23	7,18	4,27	6,38	4,00	1,77	4,26	9,76
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	7,97	33,68	7,31	23,80	10,21	11,95	7,44	36,88
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	1,22	70,32	0,91	58,43	1,66	21,97	0,92	68,05
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,37	50,80	1,24	47,43	1,06	22,72	1,18	45,40
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,52	34,65	0,54	40,34	0,50	31,62	0,44	38,03
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,26	26,60	0,29	28,85	0,32	25,38	0,21	39,73
P ² (mg dm ⁻³)	24,33	112,57	19,79	113,86	45,24	102,77	43,54	53,00
C ³ (g.kg ⁻¹)	15,34	27,41	16,17	46,84	18,20	11,91	15,60	22,48
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,89	44,81	2,23	99,39	1,56	25,07	1,62	41,73
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	10,12	27,29	9,38	18,51	12,08	10,26	9,27	30,83
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	3,70	33,17	2,98	26,66	3,53	13,07	2,75	31,76
Sb (cmol _c dm ⁻³)	2,15	41,00	2,07	40,86	1,87	20,19	1,83	35,94
V %	22,26	44,47	22,49	40,20	15,63	21,05	21,18	51,42
m %	35,03	52,06	31,17	52,38	46,88	18,43	32,70	55,99
Ca ⁺² /Mg ⁺²	2,60	28,84	2,31	27,60	2,19	16,87	2,68	24,55
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	7,49	45,53	6,20	29,11	5,26	34,86	10,51	104,94

¹Em solução de CaCl₂ ; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; S1, área de topo; S2, superfície convexa; S3, superfície côncava; S4, planície

Visualiza-se pela Tabela 8, que para os quatro segmentos de paisagem, apresentam valores considerados extremamente ácidos para o manejo de culturas. Visto o efeito limitado de correção de pH em profundidade em SPD, o aumento da acidez em camadas mais profundas é esperado. Esse valor de pH proporcionou valores equivalentes entre segmentos em termos de manejo da fertilidade química do solo.

Assim, observa-se em relação a S1, S2, S3 e S4, que o valor de m % é superior ao valor de V %, ocasionando significativa disponibilidade de ocupação da CTCe pelo íon

Al^{+3} em relação aos cátions básicos. Proporcionalmente os valores de m% são aproximadamente 160% maiores que os valores de V % em todos os segmentos.

Aplicou-se teste comparativo de médias, um segmento de paisagem em oposição à outro, através de contrastes ortogonais (Tabela 9).

Tabela 8 – Valor de P do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais com 5% de significância, para variáveis de solo na Profundidade 10

Variável	Contrastes (valor de P)					
	1	2	3	4	5	6
pH ¹	0,8016 ^{ns}	0,1060 ^{ns}	0,6339 ^{ns}	0,0633 ^{ns}	0,9398 ^{ns}	0,0742 ^{ns}
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,5529 ^{ns}	0,0466 ^{ns}	0,6339 ^{ns}	0,0110 ^{ns}	0,9063 ^{ns}	0,0149 ^{ns}
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,3616 ^{ns}	0,1942 ^{ns}	0,3798 ^{ns}	0,0296 ^{ns}	0,9725 ^{ns}	0,0322 ^{ns}
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,6743 ^{ns}	0,3110 ^{ns}	0,5337 ^{ns}	0,5508 ^{ns}	0,8393 ^{ns}	0,6933 ^{ns}
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,8370 ^{ns}	0,8224 ^{ns}	0,4002 ^{ns}	0,6673 ^{ns}	0,2963 ^{ns}	0,5362 ^{ns}
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,5033 ^{ns}	0,1616 ^{ns}	0,2172 ^{ns}	0,4592 ^{ns}	0,5990 ^{ns}	0,0101 ^{ns}
P ² (mg dm ⁻³)	0,7350 ^{ns}	0,1234 ^{ns}	0,1563 ^{ns}	0,0210 ^{ns}	0,0811 ^{ns}	0,8992 ^{ns}
C ³ (g.kg ⁻¹)	0,7889 ^{ns}	0,3140 ^{ns}	0,9518 ^{ns}	0,4581 ^{ns}	0,8358 ^{ns}	0,3435 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,6612 ^{ns}	0,6711 ^{ns}	0,7280 ^{ns}	0,3894 ^{ns}	0,4328 ^{ns}	0,9387 ^{ns}
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	0,5138 ^{ns}	0,0866 ^{ns}	0,4552 ^{ns}	0,0198 ^{ns}	0,9246 ^{ns}	0,0156 ^{ns}
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	0,3957 ^{ns}	0,7201 ^{ns}	0,1842 ^{ns}	0,2299 ^{ns}	0,6253 ^{ns}	0,0939 ^{ns}
Sb (cmol _c dm ⁻³)	0,8401 ^{ns}	0,4974 ^{ns}	0,4349 ^{ns}	0,6328 ^{ns}	0,5616 ^{ns}	0,9179 ^{ns}
V %	0,9603 ^{ns}	0,1520 ^{ns}	0,8124 ^{ns}	0,1386 ^{ns}	0,7741 ^{ns}	0,2297 ^{ns}
m %	0,6453 ^{ns}	0,1617 ^{ns}	0,7805 ^{ns}	0,0653 ^{ns}	0,8556 ^{ns}	0,0951 ^{ns}
Ca ⁺² /Mg ⁺²	0,3891 ^{ns}	0,2252 ^{ns}	0,8403 ^{ns}	0,7213 ^{ns}	0,2891 ^{ns}	0,1587 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² /K ⁺	0,5077 ^{ns}	0,2561 ^{ns}	0,1259 ^{ns}	0,6525 ^{ns}	0,0306 ^{ns}	0,0092 ^{ns}

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias contrastadas; Contraste 1 - Segmento 1 x 2; Contraste 2 - Segmento 1 x 3; Contraste 3 - Segmento 1 x 4; Contraste 4 - Segmento 2 x 3; Contraste 5 - Segmento 2 x 4; Contraste 6 - Segmento 3 x 4

Nenhum dos contrastes testado apresentou efeito significativo a 5 % para diferença de médias dos atributos químicos conforme oposição de segmentos de paisagem. Esse fato denota a homogeneidade entre as médias, a aplicação do modelo de paisagem (TROECH, 1995) pode não ser a melhor alternativa para propor segmentos homogêneos quanto atributos químicos do solo.

Outra possibilidade é a subjetividade na escolha do local onde se encontram os limites dos segmentos de paisagem, pode não ter levado em conta características importantes da paisagem nesse estudo de caso.

5.2.3 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 20 (0,1 – 0,2 m)

Conforme análise do valor médio e C.V para variáveis na Profundidade 20 (Tabela 10) constata-se valores considerados muito altos para os coeficientes de variação em todos os segmentos de paisagem. Em exceção encontra-se coeficientes de variação considerados baixos para valores mensurados de pH (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Tabela 9 – Média e coeficiente de variação para os atributos químicos do solo por segmento de paisagem na Profundidade 20

Variável	Segmentos de Paisagem							
	S1		S2		S3		S4	
	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V
pH ¹	4,83	8,14	4,30	9,87	4,1	1,72	4,26	7,34
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	8,02	34,96	7,84	24,80	11,35	14,11	8,20	37,76
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,12	77,00	0,83	58,12	1,70	23,16	1,04	66,83
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,26	66,42	1,16	60,69	1,22	30,34	0,96	46,93
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,52	50,48	0,50	60,22	0,50	46,90	0,38	47,08
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,18	38,21	0,19	27,48	0,22	10,66	0,15	42,68
P ² (mg dm ⁻³)	3,44	51,58	3,20	61,24	13,28	144,85	9,34	58,36
C ³ (g.kg ⁻¹)	12,28	37,75	11,95	31,67	18,40	17,01	11,24	81,63
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,79	60,09	1,70	56,36	1,72	33,75	1,34	39,70
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	9,99	28,54	9,68	18,08	13,28	10,37	9,70	32,43
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	3,09	38,54	2,68	30,69	3,64	10,37	2,53	38,02
Sb (cmol _c dm ⁻³)	1,97	55,52	1,85	53,99	1,94	30,35	1,49	36,27
V %	20,76	56,35	19,55	58,87	14,77	32,66	17,04	57,55
m %	36,39	59,34	33,22	56,78	47,33	28,09	39,62	14,11
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	2,41	46,21	2,46	36,74	3,21	66,65	2,74	56,32
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ / K ⁺	10,49	58,21	8,74	44,79	7,98	32,80	11,60	90,10

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; S1, área de topo; S2, superfície convexa; S3, superfície côncava; S4, planície

Os valores permitem algumas discussões semelhantes às realizadas anteriormente para a Profundidade 10, onde os valores de atributos químicos se assemelham entre os segmentos. Ainda é possível observar grandes conteúdos de alumínio predominando em ambos os segmentos, refletindo em valor 170 % superior de m % em consideração a saturação por bases.

Nessa profundidade, os valores de pH para S2, S3 e S4 demonstram solo extremamente ácidos, enquanto é considerado muito ácidos no segmento S1(topo).

Os valores de K⁺ se encontram em níveis considerados médios (RAIJ, 1996) para todos os segmentos. Os conteúdos de carbono também são considerados médios para os segmentos de paisagem.

Os conteúdos de P apresentaram significativa diminuição em relação aos valores observados nas camadas mais superficiais de solo. Essa redução em profundidade desse

elemento é esperada conforme bibliografia específica, e é atribuída a maior quantidade de coloides em profundidade os quais podem favorecer a ocorrência da adsorção específica do ânion fosfato (VALLADARES, 2003).

Aplicou-se teste comparativo de médias, um segmento de paisagem em oposição à outra, através de contrastes ortogonais, e esses tem seus valores de P exposto na Tabela 11.

Tabela 10 – Valor de P do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais com 5% de significância, para variáveis de solo na Profundidade 20

Variável	Contrastes (valor de P)					
	1	2	3	4	5	6
pH ¹	0,8070 ^{ns}	0,1368 ^{ns}	0,6366 ^{ns}	0,2111 ^{ns}	0,8192 ^{ns}	0,3047 ^{ns}
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,8773 ^{ns}	0,0078 ^{ns}	0,8772 ^{ns}	0,0051 ^{ns}	0,7575 ^{ns}	0,0117
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,3891 ^{ns}	0,0927 ^{ns}	0,8041 ^{ns}	0,0128 ^{ns}	0,5384 ^{ns}	0,0552 ^{ns}
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,7766 ^{ns}	0,9079 ^{ns}	0,4062 ^{ns}	0,8665 ^{ns}	0,5831 ^{ns}	0,4740 ^{ns}
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,8344 ^{ns}	0,8606 ^{ns}	0,2915 ^{ns}	0,9733 ^{ns}	0,3962 ^{ns}	0,3780 ^{ns}
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,8508 ^{ns}	0,3156 ^{ns}	0,2375 ^{ns}	0,4134 ^{ns}	0,1723 ^{ns}	0,0318
P ² (mg dm ⁻³)	0,9375 ^{ns}	0,0017	0,0519 ^{ns}	0,0013	0,0436 ^{ns}	0,1895 ^{ns}
C ³ (g.kg ⁻¹)	0,8890 ^{ns}	0,0126 ^{ns}	0,6597 ^{ns}	0,0088 ^{ns}	0,7634 ^{ns}	0,0039
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,8775 ^{ns}	0,8905 ^{ns}	0,3524 ^{ns}	0,9666 ^{ns}	0,4519 ^{ns}	0,4273 ^{ns}
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	0,7919 ^{ns}	0,0073 ^{ns}	0,8025 ^{ns}	0,0035	0,9891 ^{ns}	0,0037
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	0,3957 ^{ns}	0,2725 ^{ns}	0,2516 ^{ns}	0,0549 ^{ns}	0,7630 ^{ns}	0,0276 ^{ns}
Sb (cmol _c dm ⁻³)	0,7982 ^{ns}	0,9424 ^{ns}	0,3289 ^{ns}	0,8543 ^{ns}	0,4694 ^{ns}	0,3654 ^{ns}
V %	0,8210 ^{ns}	0,2663 ^{ns}	0,4882 ^{ns}	0,3740 ^{ns}	0,6397 ^{ns}	0,6719 ^{ns}
m %	0,7467 ^{ns}	0,2681 ^{ns}	0,7418 ^{ns}	0,1548 ^{ns}	0,5148 ^{ns}	0,4340 ^{ns}
Ca ⁺² /Mg ⁺²	0,9215 ^{ns}	0,1811 ^{ns}	0,5747 ^{ns}	0,2144 ^{ns}	0,6433 ^{ns}	0,4323 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² /K ⁺	0,5320 ^{ns}	0,3700 ^{ns}	0,6988 ^{ns}	0,7842 ^{ns}	0,3133 ^{ns}	0,2017 ^{ns}

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias contrastadas; Contraste 1 - Segmento 1 x 2; Contraste 2 - Segmento 1 x 3; Contraste 3 - Segmento 1 x 4; Contraste 4 - Segmento 2 x 3; Contraste 5 - Segmento 2 x 4; Contraste 6 - Segmento 3 x 4

Para as médias contrastadas na Profundidade 20, observam-se cinco contrastes apresentando efeito significativos a 5 %. Dois deles são referentes a variável fósforo, que foram diferentes para o contraste 2 e contraste 4. Assim, o valor de fósforo do segmento 3 é estatisticamente superior aos valores dos segmentos 1 e 2.

Na superfície côncava encontram-se os maiores conteúdos de carbono, o que pode ajudar a explicar essa diferença encontrada. Em termos de carbono, obteve-se diferença significativa nas médias dos segmentos S3 e S4, superior para a superfície côncava.

Os conteúdos superiores de carbono na superfície côncava pode ajudar a explicar a superioridade significativa de seu valor de CTC pH7,0 em oposição a superfície convexa e planície.

As diferenças entre os segmentos de paisagem não satisfazem por si a recomendação de manejos localizados considerando os segmentos de paisagem nesse estudo de caso.

5.3 MODELO MATEMÁTICO (DELALIBERA et al., 2012)

5.3.1 ANÁLISE DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 5 (0 – 0,05 m)

Como ponto de partida para as análises multivariadas HCA e PCA realizou-se pré-processamento visando ajuste das magnitudes dos atributos químicos do solo. Por exemplo, observa-se para Profundidade 5 a discrepância da amplitude dos conteúdos de fósforo (Figura 12), em relação a demais variáveis.

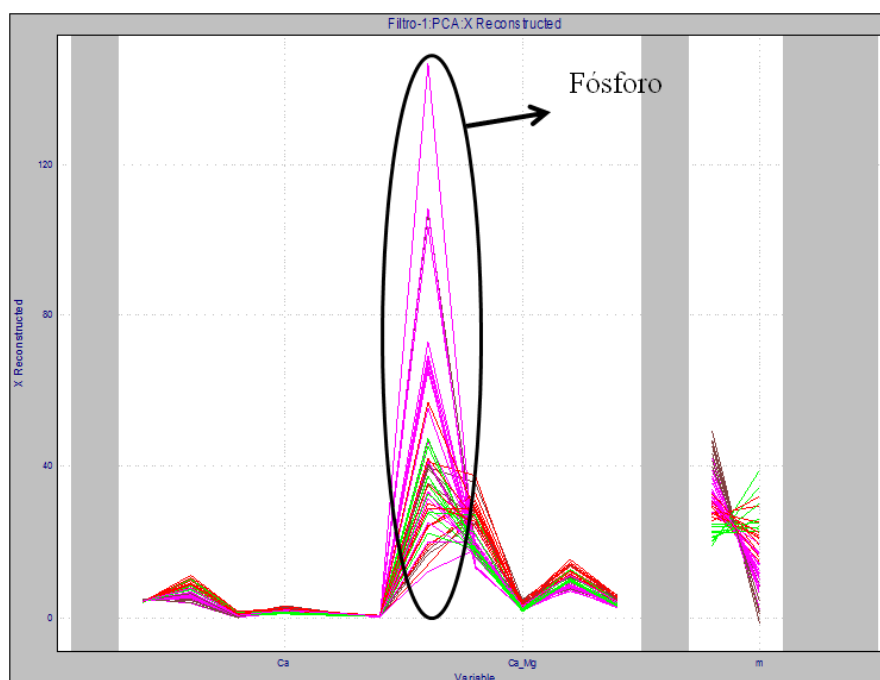


Figura 12 – Amplitude dos conteúdos (eixo Y) de atributos químicos (eixo X) presentes nas amostras (linhas)

Para que a variável fósforo não apresente domínio sobre a variância e receba maior importância nas análises multivariadas, processaram-se os valores pelo método do auto-escalamento (HAIR JR, 2005) e pode-se observar a amplitude de valores entre os conteúdos de atributos químicos corrigidas (Figura 13).

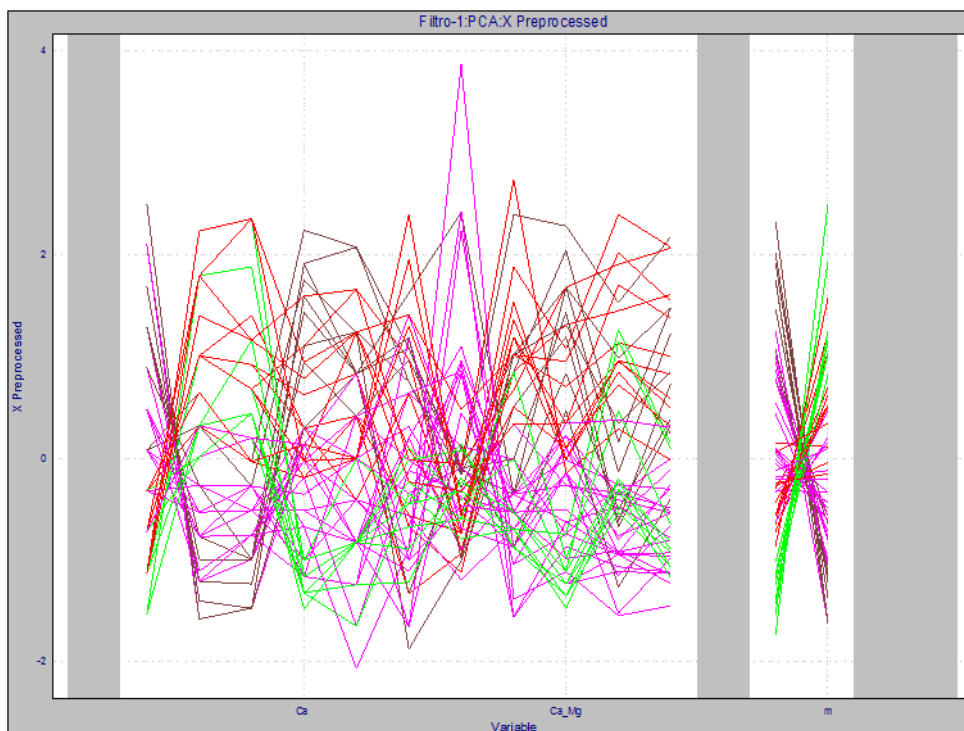


Figura 13 – Amplitude corrigida dos conteúdos (eixo Y) de atributos químicos (eixo X) presentes nas amostras (linha)

Assim, aplicou-se a análise de agrupamentos visando aproximar os pontos amostrais que possuam semelhança de variação conforme o conjunto de atributos químicos em análise. Para o procedimento de agrupamentos da HCA (HAIR JR, 2005) valeu-se da distância euclidiana como medida de similaridade (Figura 14).

Definiu-se o número de grupos com similaridade de 60%. Esse número quantitativo de grupos ou zonas de manejo foi estabelecido com base em critério onde não se subdivida a área de forma a comprometer a viabilidade da realização de manejo motomecanizado. Matematicamente significa que os quatro grupos segmentados contêm 60% da variância total.

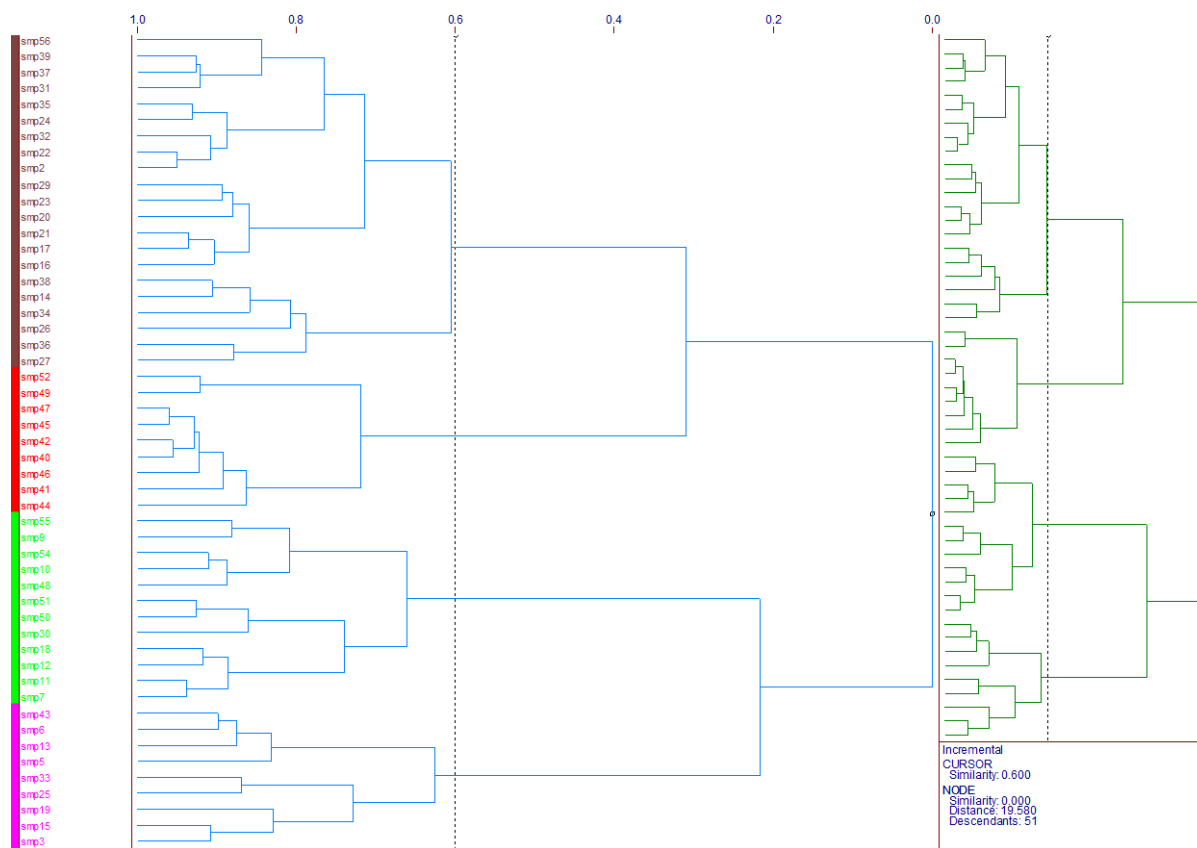


Figura 14 - Dendrograma resultante da análise de agrupamentos das variáveis na Profundidade 5, em quatro grupos de pontos amostrais (cores) de acordo com similaridade de 60% entre as variâncias

A Tabela 12 resume a Figura 14 expondo os pontos que compõe cada grupo da análise de agrupamentos e sua respectiva cor no dendrograma. A quantidade de pontos amostrais que compõe os grupos marrom, vermelho, verde e rosa é respectivamente 19, 9, 12 e 8.

Tabela 11 – Número dos pontos amostrais, em ordem conforme HCA na Profundidade 5, e a cor relativa as observações de cada grupo

Grupo	Ponto amostrado	Cor adotada
Zona de Manejo 1	2, 14, 16, 17, 21, 23, 24, 27, 29, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 56	marrom
Zona de Manejo 2	40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 49, 52	vermelho
Zona de Manejo 3	7, 9, 10, 11, 12, 18, 30, 48, 50, 51, 54, 55	verde
Zona de Manejo 4	3, 5, 13, 15, 19, 25, 33, 46	rosa

A distribuição espacial das Zonas de Manejo na área de estudo pode ser observada na Figura 15.

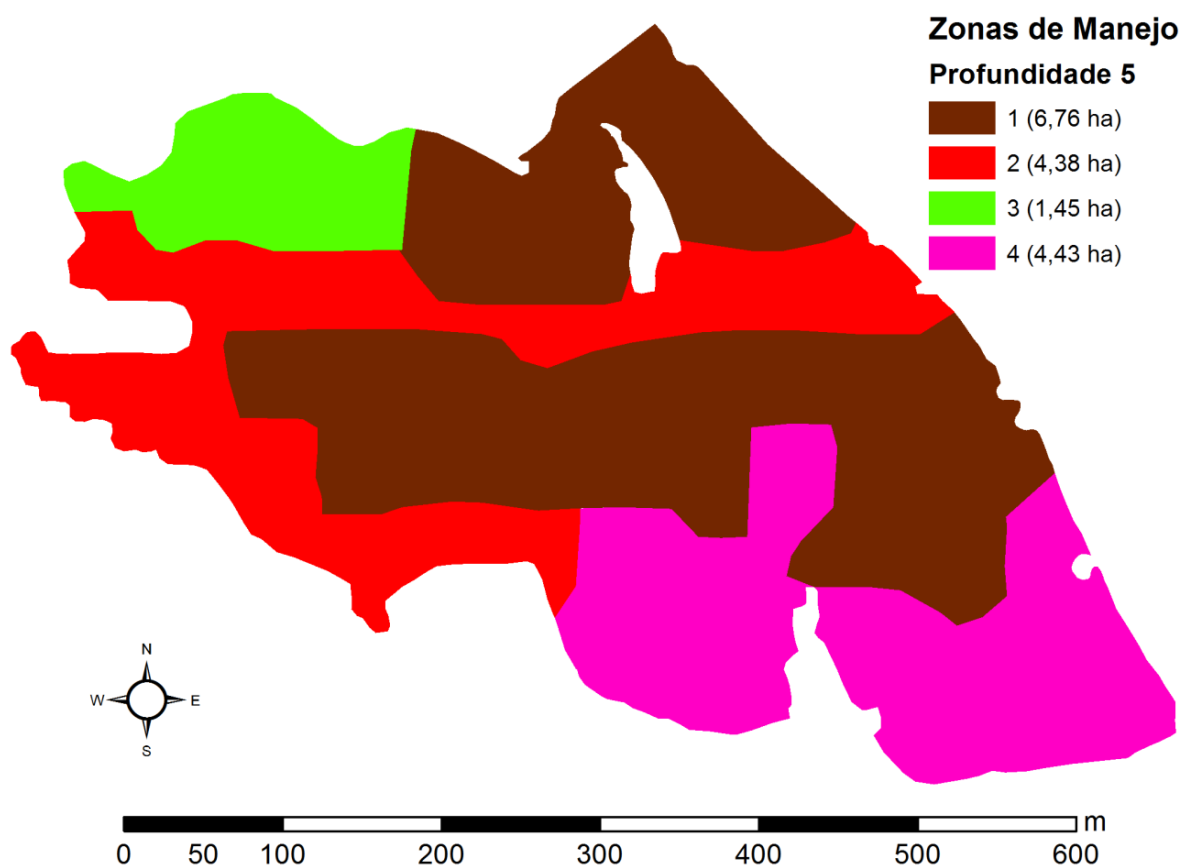


Figura 15 – Distribuição espacial das zonas de manejo na área de trabalho

A Zona de Manejo 1 (marrom) foi segmentada conforme agrupamento dos pontos amostrais, em distintas porções da área em estudo. Observa-se uma fração desse grupo a norte da área em estudo, onde estão presentes baixos valores de gradiente topográfico. Outra porção de área ocupada por esse grupo de pontos, embora ocupando diferente porção da paisagem, ocorre na parte da vertente com maiores valores de gradiente topográfico, posicionada centralmente na gleba.

A Zona de Manejo 2 (vermelha), apresenta formato contínuo, com conectividade, e ocupa parte da vertente onde observa-se maiores gradientes topográficos, e parte da planície aluvial.

Em dois fragmentos menores em termos quantitativos de área, está a Zona de Manejo 3 (verde), na planície aluvial e, a Zona de Manejo 4 (rosa), na porção próxima ao divisor de águas a sudeste da área, ambas com baixos valores de gradiente topográfico.

A fim de determinar quais variáveis cujas variâncias assumiram maior importância na delimitação de tal zona (grupo de pontos amostrais), de acordo com HCA, aplicou-se a Análise de Componentes Principais (PCA).

Os três primeiros componentes sugeridos pela análise explicaram, 82,2% da variância total do conjunto de dados. Verifica-se na Figura 16 a distribuição dos *scores* (variáveis) e *loadings* (amostragens) resultantes dessa análise.

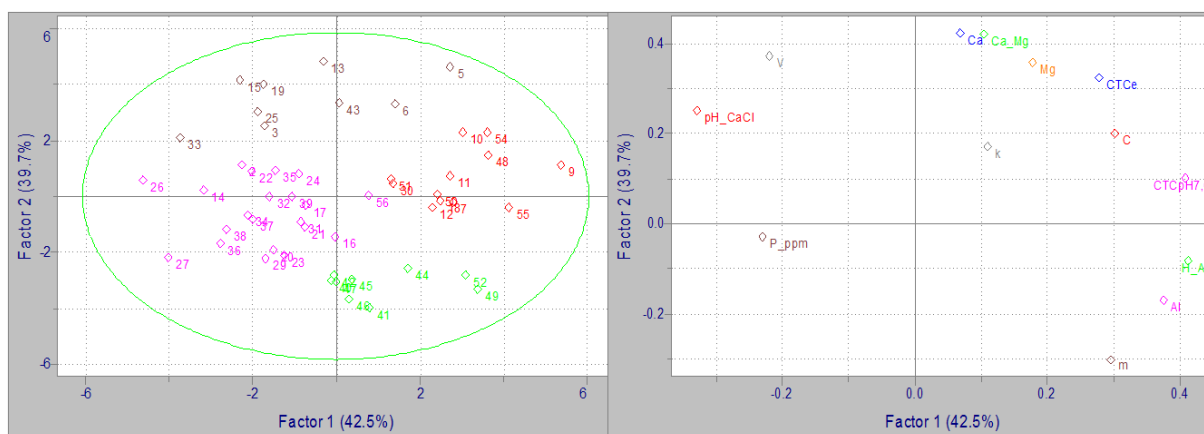


Figura 16 – Diagrama da análise PCA, à esquerda *scores* e a direita *loadings* distribuídos nos dois primeiros componentes. As cores no gráfico das amostragens identificam os grupos que cada uma pertence conforme HCA

Correlacionando *scores* e *loadings*, observa-se nas distribuições diagramadas na Figura 16, que para a Zona de Manejo 1 (marrom), as variáveis de maior importância seriam Fósforo e pH. Para a Zona de Manejo 2 (vermelho) as variáveis foram m%, o Al^{+3} e acidez potencial. Na Zona de Manejo 3 (verde) o K^+ , o C e a CTC pH7,0, e por fim para Zona de Manejo 4 (rosa), os valores de Ca^{+2} , V%, $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$, e Mg^{+2} .

Até o momento se obteve uma informação qualitativa em relação ao agrupamento, distribuição espacial e variáveis principais. Na Tabela 13, visualizam-se as magnitudes dos valores médios e valores de CV das variáveis por zona de manejo sugerida.

Tabela 12 – Médias e coeficientes de variação (%) de atributos químicos do solo na Profundidade 5, considerando agrupamento de pontos amostrais por zona de manejo

Variável	Zonas de Manejo							
	1		2		3		4	
	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V
pH ¹	4,85	4,40	4,33	4,31	4,25	2,43	4,80	7,14
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	5,99	19,00	7,96	14,98	9,58	18,77	5,99	23,67
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,39	59,03	0,74	40,36	1,23	56,93	0,29	97,05
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,74	29,12	1,64	39,77	2,00	25,60	2,97	31,76
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,90	23,36	0,91	25,41	1,08	18,86	1,44	0,49
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,48	19,64	0,44	25,32	0,44	20,53	0,48	19,12
P ² (mg dm ⁻³)	54,63	60,78	36,43	45,81	29,74	41,65	40,59	68,23
C ³ (g.kg ⁻¹)	18,40	17,76	22,22	21,08	28,73	19,32	24,56	23,14
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	2,64	21,79	2,56	34,18	3,08	22,79	4,41	31,75
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	9,05	16,42	10,96	15,11	13,10	18,10	10,89	15,34
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	3,44	19,46	3,74	22,90	4,75	24,24	5,18	24,61
Sb (cmol _c dm ⁻³)	3,05	18,88	2,99	32,02	3,53	20,02	4,89	29,28
V %	33,86	14,79	27,08	24,45	26,97	14,84	44,76	23,76
m %	11,25	49,20	21,12	45,27	24,95	34,48	6,64	119,49
Ca ⁺² /Mg ⁺²	1,98	23,57	1,76	17,95	1,83	14,07	2,06	16,80
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	6,74	30,71	5,75	21,07	7,24	31,65	9,45	35,14

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black

Mesmo considerando agrupamento por similaridade, os coeficientes de variação continuam considerados médios e altos para a maioria das variáveis (PIMENTEL-GOMES, 2009), com exceção do pH, o qual apresentou CV considerado baixo para os quatro grupos. Em relação ao pH as Zonas de Manejo 1 e 4 os valores são considerados ácidos, e para as Zonas de Manejo 2 e 3, extremamente ácidos (EMBRAPA, 2003).

Esses coeficientes de variação em camadas superficiais do solo em SPD podem estar ligados ao manejo antrópico de solos e a própria variabilidade genética das culturas.

Em relação à Zona de Manejo 2, as variáveis mais representativas sobre a variância é o conteúdo de Al⁺³, o qual apresenta alto valor pela disponibilidade de hidrogênio iônico (H⁺), assim o pH é classificado como extremamente ácido. Observa-se que esses não são valores mais altos para o alumínio entre as zonas de manejo, entretanto seu baixo valor de pH, CTCe e de carbono, não permitiram a ocupação de maiores conteúdos de Ca⁺² e Mg⁺² nas redes de cargas negativas, como na Zona de Manejo 3, reduzindo o valor de saturação por bases (V%) e aumentando a saturação por alumínio (m%).

Portanto, a Zona de Manejo 3 é similar a Zona de Manejo 2 em relação a acidez e disponibilidade de alumínio, entretanto a análise de componentes principais identificou o conteúdo de carbono, o conteúdo de K⁺ e a CTC pH7,0 predominando sobre a variância. Observa-se a partir do aumento nos valores de carbono e CTC pH7,0, maiores conteúdos médios de Al⁺³, Ca⁺² e Mg⁺² foram determinados na análise de rotina.

Maior equilíbrio na proporção de cátions básicos em relação ao alumínio são observadas na Zona de Manejo 4. Verifica-se que a partir do aumento do pH e aumento da

disponibilidade de cátions básicos, percebe-se aumento considerável no valor de V% e redução do valor de m%. A relação $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$, também foi identificada como variável importante dentro da Zona de Manejo 4, sendo o valor mais próximo ao considerado desejável entre as demais zonas (RAIJ, 1996).

Com objetivo de validação das zonas delimitadas aplicou-se teste comparativo de médias, uma zona de manejo em oposição à outra, através de contrastes ortogonais, e esses tem seus valores de P exposto na Tabela 14.

Tabela 13 – Valor de P do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais com 5% de significância, para variáveis de solo na Profundidade 5

Variável	Contrastes (valor de P)					
	1	2	3	4	5	6
pH ¹	0,0094	0,0009	0,0251 ^{ns}	<0,001	<0,001	<0,001
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,0016	<0,001	0,9983 ^{ns}	0,0086 ^{ns}	0,0016	<0,001
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,0443 ^{ns}	<0,001	0,5579 ^{ns}	0,0071 ^{ns}	0,0108 ^{ns}	<0,001
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,7129 ^{ns}	0,3191 ^{ns}	<0,001	0,1751 ^{ns}	<0,001	0,0005
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,9266 ^{ns}	0,1366 ^{ns}	<0,001	0,1671 ^{ns}	0,001	0,0041
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,3672 ^{ns}	0,3754 ^{ns}	0,0700 ^{ns}	0,9876 ^{ns}	0,3496 ^{ns}	0,3418 ^{ns}
P ² (mg dm ⁻³)	0,1099 ^{ns}	0,0308 ^{ns}	0,2148 ^{ns}	0,5518 ^{ns}	0,7112 ^{ns}	0,3362 ^{ns}
C ³ (g.kg ⁻¹)	0,0565 ^{ns}	<0,0010	0,0029	0,0017	0,2313 ^{ns}	0,0381 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,8181 ^{ns}	0,2324 ^{ns}	<0,001	0,1563 ^{ns}	<0,001	0,0007 ^{ns}
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	0,0126 ^{ns}	<0,0010	0,0162 ^{ns}	0,0057 ^{ns}	0,9200 ^{ns}	0,0043
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	0,4548 ^{ns}	0,0022	0,0001	0,0165 ^{ns}	0,009	0,2961 ^{ns}
Sb (cmol _c dm ⁻³)	0,8967 ^{ns}	0,2116 ^{ns}	<0,001	0,1690 ^{ns}	<0,001	0,007 ^{ns}
V %	0,0182 ^{ns}	0,0164 ^{ns}	0,0003	0,9666 ^{ns}	<0,001	<0,001
m %	0,0036	-	0,1583 ^{ns}	0,2398 ^{ns}	<0,001	<0,001
Ca ⁺² /Mg ⁺²	0,1796 ^{ns}	0,3574 ^{ns}	0,6524 ^{ns}	0,6662 ^{ns}	0,0759 ^{ns}	0,1734 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	0,3104 ^{ns}	0,6054 ^{ns}	0,0073 ^{ns}	0,1290 ^{ns}	0,0004	0,0267 ^{ns}

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias da variável para esse contraste; Contraste 1 = Zona de Manejo 1 x 2; Contraste 2 = Zona de Manejo 1 x 3; Contraste 3 = Zona de Manejo 1 x 4; Contraste 4 = Zona de Manejo 2 x 3; Contraste 5 = Zona de Manejo 2 x 4; Contraste 6 = Zona de Manejo 3 x 4

Não são observadas diferenças significativas para os contrastes analisados, entre os valores médios de potássio e fósforo, considerando cada zona de manejo como um tratamento na análise.

Para os valores de relação $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ e saturação por bases os resultados o teste evidencia os valores médios da Zona de Manejo 4 superior aos demais. Também coincidem os resultados quando refere-se a CTC pH7,0, onde apenas a Zona de Manejo 3 difere-se superiormente as demais.

5.3.2 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 10 (0,05 -0,1 m)

Para os valores mensurados a partir das amostragens da Profundidade 10, obteve-se a formação, também, de quatro grupos com similaridade de 58,5 % (Figura 17), valor muito próximo ao considerado na formação de grupos na Profundidade 5. Para essa análise valeu-se de 50 pontos amostrais, portanto foram identificados durante processamento dez pontos de amostragem com valores discrepantes, e posteriormente retirados da análise.

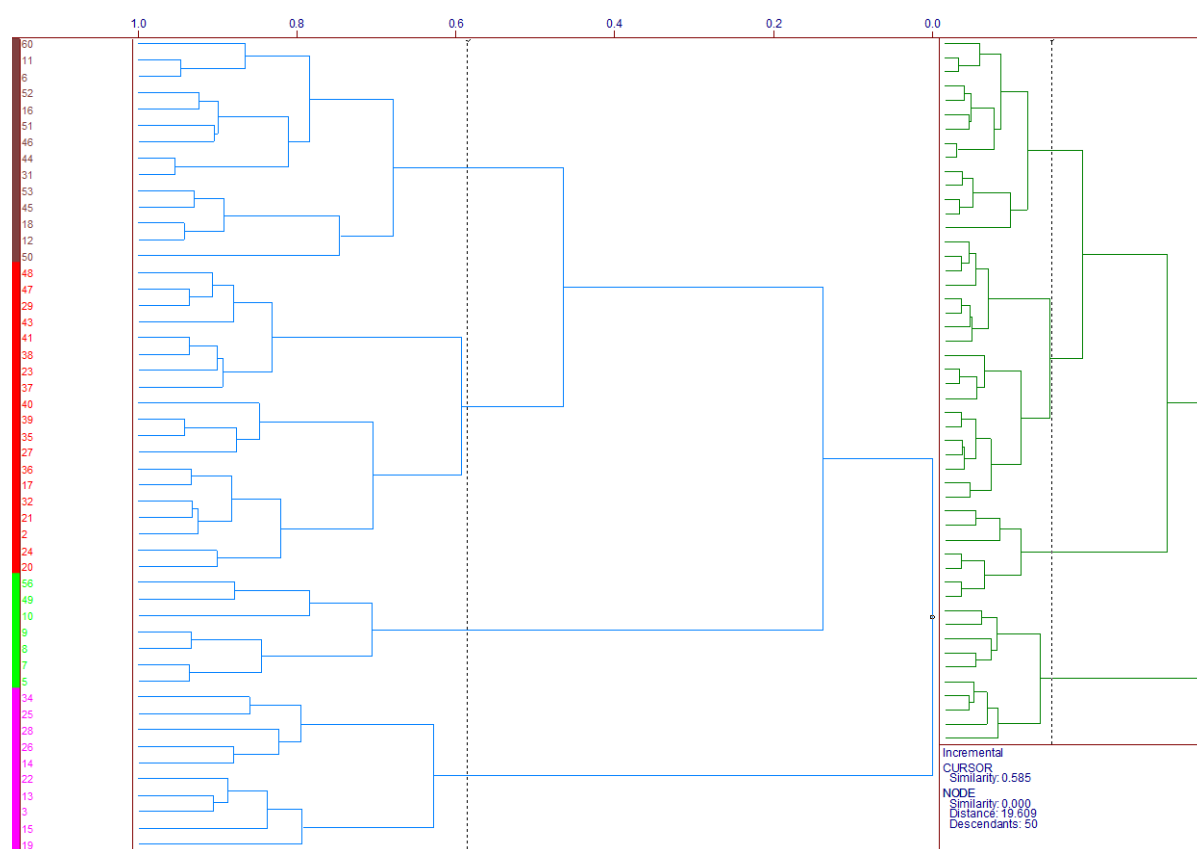


Figura 17 – Dendrograma resultante da análise de agrupamentos das variáveis na Profundidade 10, e quatro grupos de pontos amostrais (cores) de acordo com similaridade de 58,5 % entre as variâncias, em distância euclidiana

A Tabela 15 resume os pontos que compõe cada grupo, determinado pelo agrupamento e sua respectiva cor no dendrograma proveniente da HCA. A quantidade de pontos amostrais que compõe os grupos marrom, vermelho, verde e rosa é respectivamente 14, 19, 7 e 10.

Tabela 14 – Número dos pontos amostrais, conforme HCA na Profundidade 10, e sua respectiva cor

Grupo	Número das amostras	Cor adotada
Zona de Manejo 1	6, 11, 12, 16, 18, 31, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 53, 60	marrom
Zona de Manejo 2	2, 17, 20, 21, 23, 24, 27, 29, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 47, 48	vermelho
Zona de Manejo 3	5, 7, 8, 9, 10, 49, 56	verde
Zona de Manejo 4	3, 13, 14, 15, 19, 22, 25, 26, 28, 34	rosa

Observam-se as distribuições espaciais dos grupos de pontos de amostragem na Figura 18.

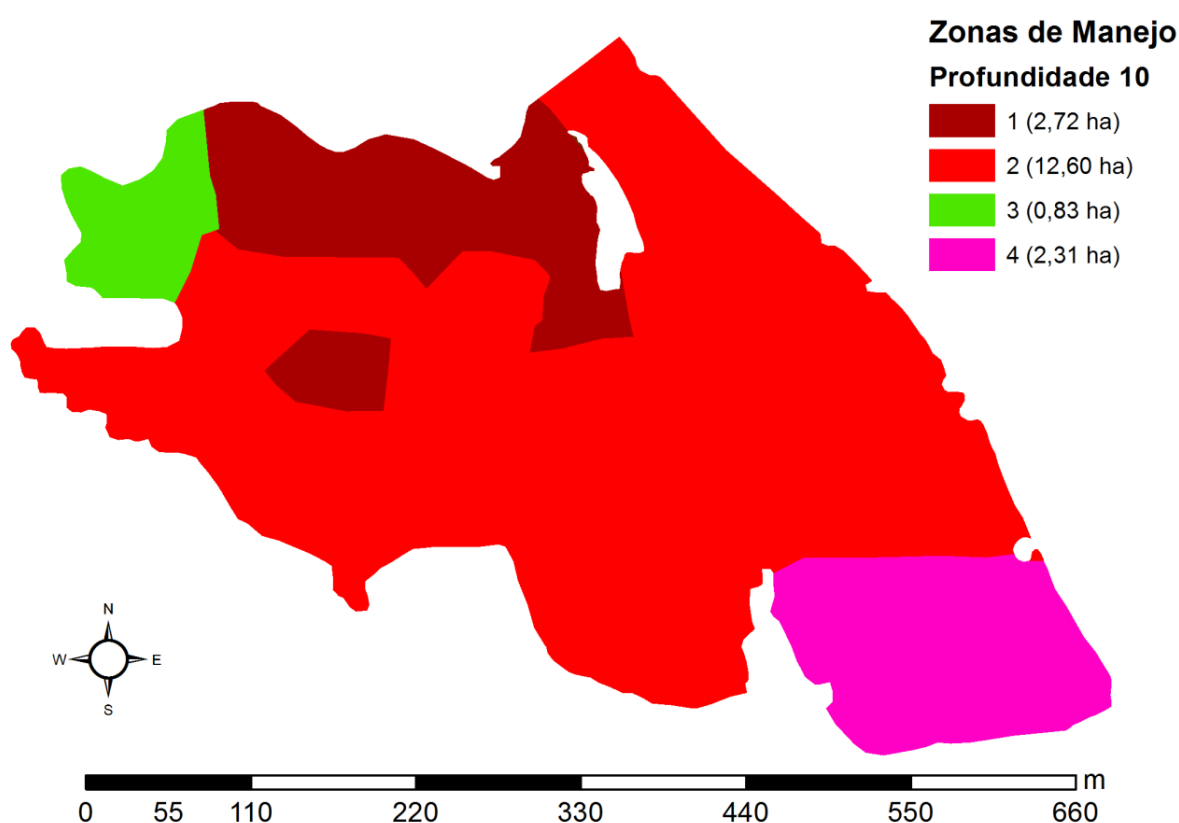


Figura 18 – Posicionamento das zonas de manejo para Profundidade 10

É possível constatar similaridade entre a disposição espacial dos grupos com a espacialização da Profundidade 5. A Zona de Manejo 1 ocupa área de superfície côncava, de acordo com segmentos de paisagem de Troeh (1965), a norte da área em estudo. A Zona de Manejo 2 foi composta por um número maior de pontos amostrados, e ocupa uma área mais expressiva que demais grupos, aproximadamente 70% do talhão.

As Zonas de Manejo 3 e 4 ocupam porções com menores valores de gradientes topográficos, entretanto suas dimensões são menos expressivas para essa profundidade de amostragem em relação ao grupo 3 e 4 da camada superficial.

Na Análise de Componentes Principais, explicou-se 87,7% da variância até o terceiro componente da análise. Correlacionando os *scores* e *loadings* (Figura 19) obteve-se como variáveis de maior importância nas Zonas de Manejo 1, a variável fósforo, para a Zona de Manejo 2 destacou-se o conteúdo de Al^{+3} , acidez potencial e saturação por alumínio, na Zona de Manejo 3, o Carbono e a capacidade de troca de cátions efetiva e a pH 7,0, e por fim para a Zona de Manejo 4 os cátions básicos (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+}).

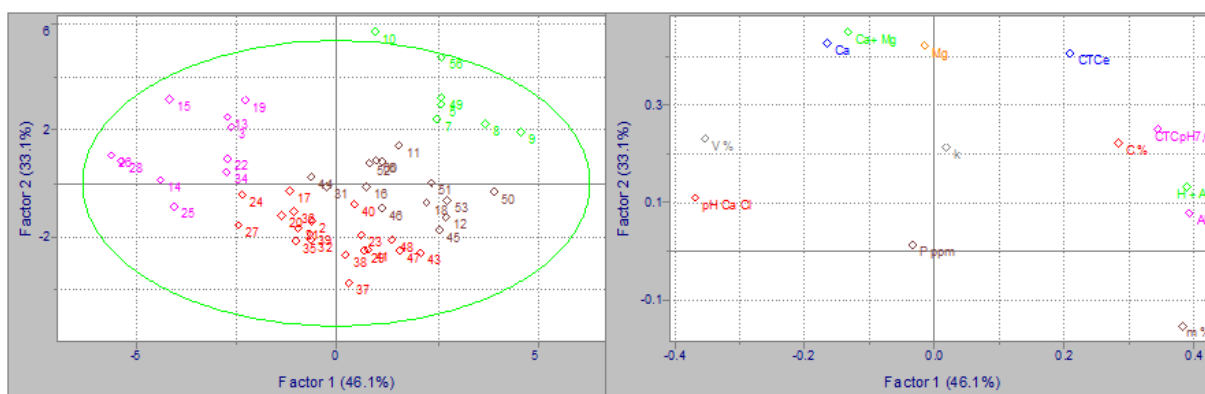


Figura 19– Diagrama da análise PCA, à esquerda *scores* e a direita *loadings* distribuídos nos dois primeiros componentes. As cores no gráfico das amostragens identificam os grupos que cada uma pertence

Verifica-se a partir da média e C.V (Tabela 16), as magnitudes de variação das variáveis em análise para a Profundidade 10.

Tabela 15 – Média e coeficiente de variação de atributos químicos na Profundidade 10, conforme amostras pertencentes a cada zona de manejo

Variável	Zonas de Manejo							
	1		2		3		4	
	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V(%)	Média	C.V
pH ¹	4,08	3,01	4,16	3,12	4,07	1,86	4,64	4,79
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	8,94	13,28	6,94	14,42	10,93	7,22	4,95	20,47
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	1,4	26,27	0,89	32,86	1,93	21,32	0,26	70,29
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,02	25,23	0,89	29,24	1,63	17,26	1,72	20,10
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,51	21,13	0,36	16,45	0,71	24,82	0,59	14,84
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,26	27,10	0,25	22,40	0,30	18,41	0,27	40,43
P ² (mg dm ⁻³)	14,16	99,91	24,42	87,83	25,57	108,8	24,12	85,93
C ³ (g.kg ⁻¹)	16,79	11,73	12,59	17,84	20,43	6,84	12,60	19,87
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,53	22,14	1,25	22,48	2,34	19,54	2,31	15,73
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	10,72	10,39	7,44	10,66	13,57	4,26	7,53	17,08
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	3,19	11,67	2,39	10,97	4,57	5,89	2,85	17,86
Sb (cmol _c dm ⁻³)	1,79	17,98	1,50	20,91	2,64	19,00	2,58	16,13
V %	16,86	21,31	18,03	24,58	19,52	19,70	34,57	12,47
m %	43,64	22,61	37,16	30,18	42,31	21,75	8,82	62,86
Ca ⁺² /Mg ⁺²	2,05	21,36	2,48	27,68	2,32	7,98	2,97	23,62
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	6,39	38,30	5,10	60,68	7,82	13,29	10,84	70,10

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black;

Para a Zona de Manejo 1 observam-se os menores valores entre as zonas em relação a fósforo, entretanto esse conteúdo é classificado como adequado para produção de grãos (SOUZA JUNIOR et al., 2007) em solos arenosos.

Para a Zona de Manejo 2, verificam-se baixos valores de CTC e conteúdo de carbono, e sendo assim, a ocupação de Al⁺³ a rede de cargas negativas da CTC é complexa em termos de manejo. Observa-se necessidade de aporte de matéria orgânica e utilização de corretivo, nesse caso o uso do gesso agrícola, para redução da limitação química gerada pelo elevado conteúdo do íon alumínio.

Para verificar se há diferença significativa entre uma zona de manejo em oposição à outra, analisadas em pares, aplicou-se teste de comparação de médias de variáveis por contrastes ortogonais aos atributos químicos da Profundidade 10, e os valores de P obtidos são apresentados na Tabela 17.

Tabela 16 – Teste de comparação de médias por contrastes ortogonais em nível de significância de 5%

Variável	Contrastes (Valor de P)					
	1	2	3	4	5	6
pH ¹	0,2216 ^{ns}	0,8202 ^{ns}	<0,0001	0,1490 ^{ns}	<0,0001	<0,0001
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,0005	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,2796 ^{ns}	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,4513 ^{ns}
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,0018	<0,0001	0,0622 ^{ns}	<0,0001	<0,0001	0,0062 ^{ns}
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,8040 ^{ns}	0,1731 ^{ns}	0,6106 ^{ns}	0,1092 ^{ns}	0,4498 ^{ns}	0,3882 ^{ns}
P ² (mg dm ⁻³)	0,1310 ^{ns}	0,3155 ^{ns}	0,2884 ^{ns}	0,6036 ^{ns}	0,6451 ^{ns}	0,9531 ^{ns}
C ³ (g kg ⁻¹)	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	0,9817 ^{ns}	<0,0001
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,0655 ^{ns}	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,8232 ^{ns}
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0426	<0,0001
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	<0,0001	<0,0001	0,0296 ^{ns}	<0,0001	0,0046	<0,0001
Sb (cmol _c dm ⁻³)	0,0775 ^{ns}	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,7031 ^{ns}
V %	0,5074 ^{ns}	0,1374 ^{ns}	<0,0001	0,4032 ^{ns}	<0,0001	<0,0001
m %	0,1247 ^{ns}	0,7491 ^{ns}	<0,0001	0,2205 ^{ns}	<0,0001	<0,0001
Ca ⁺² /Mg ⁺²	0,0934 ^{ns}	0,2898 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	0,5239 ^{ns}	0,0543 ^{ns}	0,0120 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	0,4175 ^{ns}	0,3698 ^{ns}	0,0071 ^{ns}	0,0914 ^{ns}	0,0007	0,0621 ^{ns}

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias contrastadas; Contraste 1 = Zona de Manejo 1 x 2; Contraste 2 = Zona de Manejo 1 x 3; Contraste 3 = Zona de Manejo 1 x 4; Contraste 4 = Zona de Manejo 2 x 3; Contraste 5 = Zona de Manejo 2 x 4; Contraste 6 = Zona de Manejo 3 x 4

Para a Zona de Manejo 3, evidencia diferença significativa para os maiores valores para a conteúdo de carbono e CTC em relação as demais zonas de manejo. Observa-se ainda pelo teste de comparação de médias que as variáveis destacadas pela PCA, em geral diferiram-se pelo teste de contrates, com exceção da Zona de Manejo 1, a qual verifica-se efeito não significativo para o valor médio de fósforo.

Para a Zona de Manejo 2, evidencia-se os menores valores relativos as demais zonas, com exceção do m % onde seu valor é alto e constante para os três primeiros grupos. Na Zona de Manejo 3, observa-se que as médias de CTCe, CTCpH7,0 e carbono, diferiram-se significativamente dos valores médios para essas variáveis nas demais zonas.

5.3.3 ANÁLISE DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 20 (0,1 – 0,2 m)

Na segmentação de pontos amostrais em zonas de manejo por HCA, obteve-se a formação de três grupos com similaridade de 52,3 % (Figura 20), em distância euclidiana.

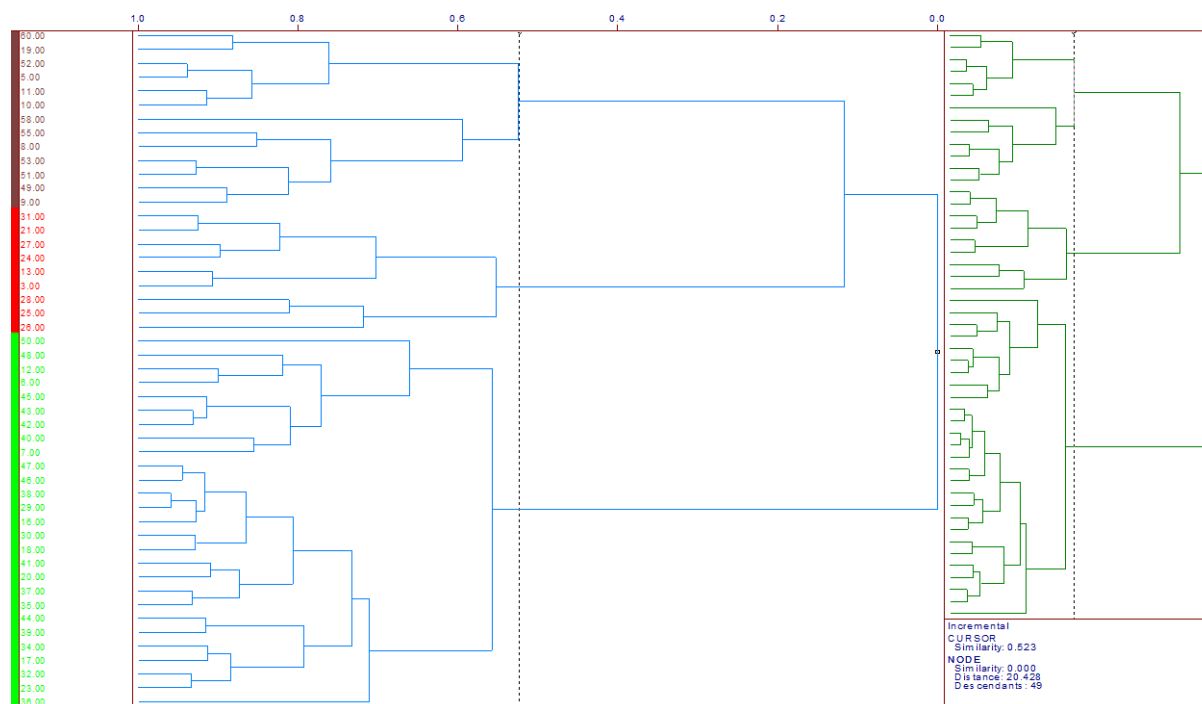


Figura 20– Dendrograma resultante da análise de agrupamentos das variáveis na Profundidade 10, e quatro grupos de pontos amostrais (cores) de acordo com similaridade de 58,5 % entre as variâncias, em distância euclidiana

A Tabela 18 resume os pontos que compõe cada grupo, determinado pelo agrupamento e sua respectiva cor no dendrograma proveniente da HCA. A quantidade de pontos amostrais que compõe os grupos marrom, vermelho, verde é respectivamente 13, 9, 22.

Tabela 17 – Número dos pontos amostrais, conforme HCA na Profundidade 20, e sua respectiva cor no dendrograma

Grupo	Número das amostras	Cor adotada
Zona de Manejo 1	5, 8, 9, 10, 11, 19, 49, 51, 52, 53, 55, 58, 60	marrom
Zona de Manejo 2	3, 13, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 31	vermelho
Zona de Manejo 3	6, 7, 12, 16, 17, 18, 20, 23, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 48, 50	verde

Observa-se a distribuição espacial obtida conforme grupos de pontos de amostragem na Profundidade 20(Figura 21).

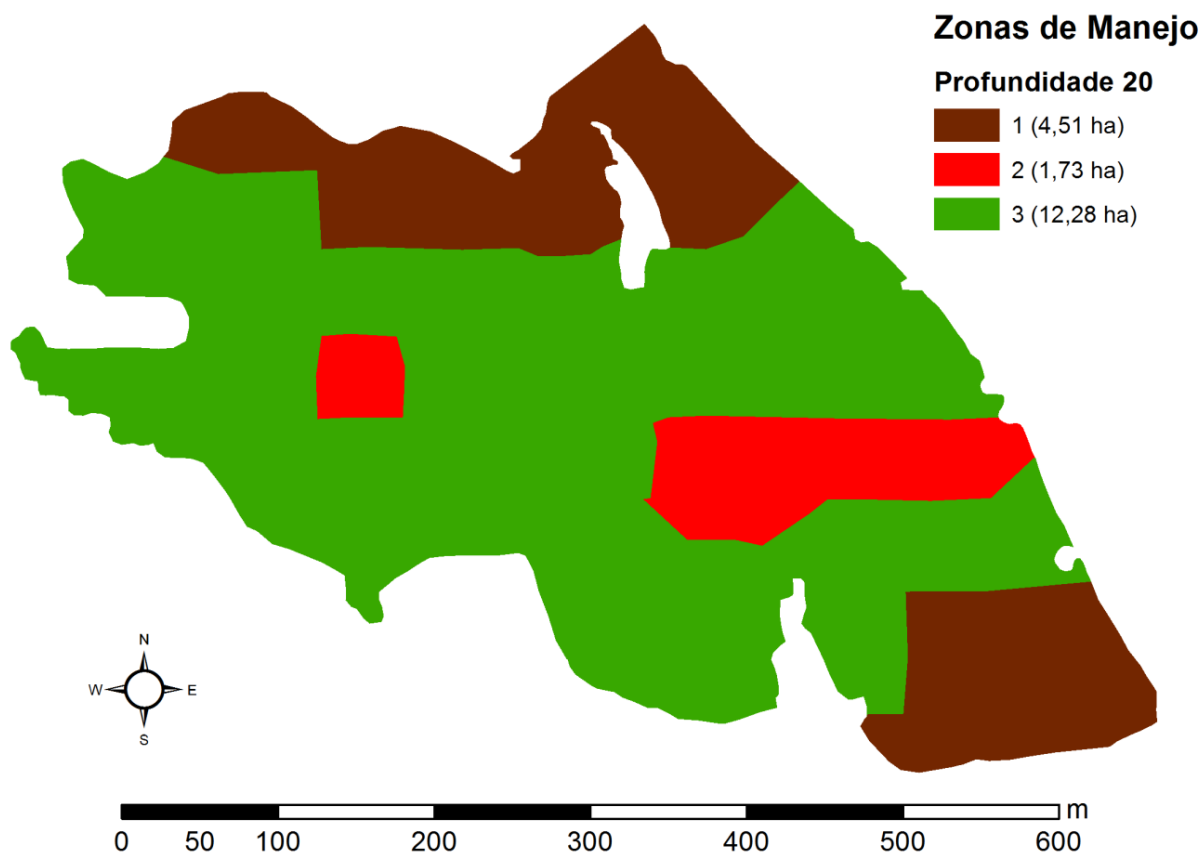


Figura 21– Posicionamento das zonas de manejo para Profundidade 20

Aplicou-se a análise de componentes principais, onde se explicou 80,2% da variância até o terceiro componente, e destacaram-se como variáveis de maior importância dentro de cada grupo a CTCe e carbono, para Zona de Manejo 1, para a Zona de Manejo 2, o pH e V%, e por fim, para a Zona de Manejo 3, o m%.

Observa-se em relação às camadas superficiais de solo discutidas anteriormente (Tabela 19), tendência de redução nos valores de CV. As Zonas de Manejo 1 e 2, apresentam coeficientes de variação de baixo a médio (PIMENTEL-GOMES, 2009). Por sua vez, na Zona de Manejo 3, observa-se valor considerado alto para a maioria das variáveis em análise.

Redução nos valores de coeficientes de variação é visível à medida que os valores são oriundos de camadas mais profundas, devido ao menor efeito antrópico sobre atributos químicos do solo (SILVA JUNIOR, et al., 2009).

Tabela 18 – Média e coeficiente de variação de atributos químicos na Profundidade 20, conforme amostras pertencentes a cada zona de manejo

Variável	Zonas de Manejo					
	1		2		3	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV
pH ¹	4,19	2,48	4,67	4,29	4,13	2,50
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	10,53	17,73	5,13	23,08	8,56	21,11
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	1,62	43,98	0,24	60,64	1,14	43,25
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,52	23,62	1,44	27,56	0,72	29,03
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,62	18,58	0,59	30,70	0,32	47,38
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,20	20,63	0,19	50,12	0,18	32,49
P ² (mg dm ⁻³)	7,58	167,69	3,54	67,41	4,07	58,17
C ³ (g.kg ⁻¹)	16,54	26,43	9,09	30,11	11,33	41,62
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	2,13	18,52	2,04	21,77	1,08	37,07
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	12,83	12,54	7,35	19,43	9,78	17,74
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	3,94	12,46	2,46	20,08	2,36	21,11
Sb (cmol _c dm ⁻³)	2,33	16,98	2,22	23,72	1,22	22,78
V %	18,63	28,18	30,52	19,73	12,92	30,36
m %	39,91	33,35	10,09	63,00	46,98	28,12
Ca ⁺² /Mg ⁺²	2,54	32,05	2,77	55,64	2,52	49,57
Ca ⁺² + Mg ⁺² /K ⁺	11,30	32,21	13,68	51,98	6,12	42,17

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black;

Analisando individualmente cada grupo, encontra-se valor de pH considerado extremamente ácido para a Zona de Manejo 1.

Partindo para o grupo 2, observa-se a maior fertilidade considerando pH atual, sendo seu valor considerado ácido, em oposição ao extremamente ácido encontrado nas Zonas de Manejo 1 e 3. Pelo valor de pH, observa a ocupação das redes de cargas negativas associadas a CTC por cátions básicos, e esse balanço pode ser observado pelo maior valor de V% e menor para m %.

Já na Zona de Manejo 3, a qual ocupa grande parte da área, destaca-se o valor de m%, o qual é aproximadamente 300% superior a saturação por bases. Assim, deficiências nutricionais e principalmente potenciais restrições ao crescimento radicular devido à disponibilidade de alumínio, é considerado nessa área da gleba.

Para verificar se existe significância da diferença entre médias, uma zona de manejo em oposição à outra, analisadas em pares, aplicou-se teste de comparação de médias dos atributos químicos da Profundidade 20 por contrastes ortogonais. Os valores de P obtidos são apresentados na Tabela 20.

Tabela 19 – Teste de comparação de médias por contrastes ortogonais em nível de significância de 5%

Variável	Contraste		
	1	2	3
pH ¹	< 0,0001	0,1999 ^{ns}	< 0,0001
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	< 0,0001	0,0038	< 0,0001
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	< 0,0001	0,0186 ^{ns}	< 0,0001
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,5482 ^{ns}	< 0,0001	< 0,0001
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,6230 ^{ns}	< 0,0001	< 0,0001
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,6429 ^{ns}	0,5617 ^{ns}	0,9267 ^{ns}
P ² (mg dm ⁻³)	0,1160 ^{ns}	0,1900 ^{ns}	0,7862 ^{ns}
C ³ (g kg ⁻¹)	< 0,0001	0,0022	0,1685 ^{ns}
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,5134 ^{ns}	< 0,0001	< 0,0001
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	< 0,0001	< 0,0001	0,0003
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	< 0,0001	< 0,0001	0,6036 ^{ns}
Sb (cmol _c dm ⁻³)	0,4939 ^{ns}	< 0,0001	< 0,0001
V %	< 0,0001	0,0033 ^{ns}	< 0,0001
m %	< 0,0001	0,1259	< 0,0001
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	0,6203 ^{ns}	0,9614 ^{ns}	0,5867 ^{ns}
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ /K ⁺	0,1521 ^{ns}	0,0028 ^{ns}	< 0,0001

¹Em solução de CaCl₂; ²Em Melich-I; ³Combustão úmida Walkley-Black; ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias contrastadas; Contraste 1 = Zona de Manejo 1 x 2; Contraste 2 = Zona de Manejo 1 x 3; Contraste 3 = Zona de Manejo 2 x 3

Observa-se pelos valores de P, descritos na Tabela 22, que os conteúdos de fósforo e potássio não se diferiram estatisticamente, considerando uma zona de manejo em oposição a outra, como nos casos constatados para camadas superiores do solo. Assim, é considerável imaginar que os conteúdos de fósforo e potássio apresentem distribuições espaciais de maior homogeneidade nas três profundidades analisadas.

Os valores de pH diferiram-se entre os grupos, exceto para o contraste 2 (Zona de Manejo 1 x 3). As Zonas de Manejo 1 e 2 não diferiram-se em relação aos conteúdos de cátions básicos.

5.4 ANÁLISE DOS COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA, POR SEGMENTO DE PAISAGEM E POR ZONADE MANEJO

Observam-se coeficientes de variação considerados altos (PIMENTEL-GOMES, 2009) para o número de vagens na haste lateral, em todos os segmentos de paisagem considerados (item 5.2). Contrapondo, os valores de CV para demais componentes de rendimento da cultura mensurados, são considerados baixos em todos os segmentos de paisagem (TABELA 21).

Tabela 20 – Média e coeficiente de variação dos componentes de rendimento da cultura da soja avaliados conforme segmentos de paisagem

Variável	Segmentos de Paisagem							
	S1		S2		S3		S4	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
NVAGPRIN	18,90	13,19	18,90	16,54	21,50	11,40	20,30	8,56
NVALAT	4,47	27,96	4,93	22,20	4,10	21,24	5,13	40,05
População ¹	350.258	8,32	344.691	11,30	351.851	8,33	344.938	6,47
Rendimento ²	4056,69	8,80	4034,85	7,54	3801,32	4,46	4097,70	5,47
MMG ³	18,34	9,00	18,09	8,10	16,85	1,30	17,26	3,20

NVAGPRIN é o número de vagens na haste principal; NVAGLAT, número de vagens na haste lateral; MMG, massa de mil grãos; ¹ número de plantas por hectare; ² em kg ha⁻¹; ³ em gramas

Para os componentes de rendimentos da cultura da soja mensurados, não houve diferenças significativas entre as médias contrastadas por segmento de paisagem (Tabela 22). A única exceção é a diferença significativa entre o segmento topo (S1) e superfície côncava (S3), onde S1 (topo) se mostrou superior a S3 (superfície côncava) em relação à massa de mil grãos.

Tabela 21 – Análise de comparação de médias por contrastes ortogonais entre os componentes de rendimento da cultura da soja e segmentos da paisagem

Variável	Contrastes (valor de P)					
	1	2	3	4	5	6
NVAGPRIN	0,9986 ^{ns}	0,0602 ^{ns}	0,3042 ^{ns}	0,0600 ^{ns}	0,3033 ^{ns}	0,3805 ^{ns}
NVAGLAT	0,4656 ^{ns}	0,5573 ^{ns}	0,2929 ^{ns}	0,1909 ^{ns}	0,7444 ^{ns}	0,1045 ^{ns}
População ¹	0,7400 ^{ns}	0,9210 ^{ns}	0,7512 ^{ns}	0,6667 ^{ns}	0,9881 ^{ns}	0,6775 ^{ns}
Rendimento ²	0,8888 ^{ns}	0,1078 ^{ns}	0,7932 ^{ns}	0,1407 ^{ns}	0,6878 ^{ns}	0,0631 ^{ns}
MMG ³	0,7552 ^{ns}	0,0419	0,1343 ^{ns}	0,0889 ^{ns}	0,2481 ^{ns}	0,5733 ^{ns}

NVAGPRIN é o número de vagens na haste principal; NVAGLAT, número de vagens na haste lateral; MMG, massa de mil grãos; ¹ número de plantas por hectare; ² em kg ha⁻¹; ³ em gramas; ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias contrastadas; Contraste 1 - Segmento 1 x 2; Contraste 2 - Segmento 1 x 3; Contraste 3 - Segmento 1 x 4; Contraste 4 - Segmento 2 x 3; Contraste 5 - Segmento 2 x 4; Contraste 6 - Segmento 3 x 4

A análise de contrastes demonstra que os segmentos de paisagem considerados nesse estudo de caso, não se mostraram eficientes em diferenciar áreas agrícolas em relação aos componentes de rendimento da cultura da soja avaliados.

No caso das divisões matemáticas de grupos, ou zonas de manejo segmentadas através dos valores de atributos químicos do solo na Profundidade 5 (item 5.3.1), observam-se valores considerados altos para CV para o número de vagens na haste lateral (Tabela 23).

Tabela 22 – Média e coeficiente de variação de componentes de rendimento da cultura da soja conforme divisão de zonas de manejo na Profundidade 5

Variável	Zonas de Manejo							
	1		2		3		4	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
NVAGPRIN	17,96	17,42	19,73	11,23	19,17	12,11	20,28	12,08
NVAGLAT	5,21	22,86	4,15	23,29	4,04	25,40	4,47	25,13
População ¹	333.888	10,68	377.623	6,02	357.688	6,06	340.823	8,21
Rendimento ²	4109,50	8,40	3711,84	6,02	3962,13	8,26	4273,19	6,86
MMG ³	18,70	8,63	17,94	9,15	17,40	4,86	17,79	9,06

NVAGPRIN é o número de vagens na haste principal; NVAGLAT, número de vagens na haste lateral; MMG, massa de mil grãos; ¹ número de plantas por hectare; ² em kg ha⁻¹; ³ em gramas

As médias dos componentes de rendimento foram contrastadas para a divisão matemática de zonas de manejo (Tabela 24), conforme a sugestão matemática de agrupamento dos valores de atributos químicos do solo mensurados na Profundidade 5.

Tabela 23 – Análise de comparação de médias por contrastes ortogonais de componentes de rendimento da cultura da soja e zonas de manejo para Profundidade 5

Variável	Contrastes (valor de P)					
	1	2	3	4	5	6
NVAGPRIN	0,1417 ^{ns}	0,3167 ^{ns}	0,0560 ^{ns}	0,6311 ^{ns}	0,6431 ^{ns}	0,3472 ^{ns}
NVAGLAT	0,0326	0,0193	0,1306 ^{ns}	0,8248 ^{ns}	0,5090 ^{ns}	0,3791 ^{ns}
População ¹	0,0014	0,0694 ^{ns}	0,5904 ^{ns}	0,1262 ^{ns}	0,0062	0,1940 ^{ns}
Rendimento ²	0,0057	0,2876 ^{ns}	0,2361 ^{ns}	0,0743 ^{ns}	0,0002	0,0277
MMG ³	0,2777 ^{ns}	0,0481	0,1633 ^{ns}	0,4077 ^{ns}	0,8264 ^{ns}	0,5415 ^{ns}

NVAGPRIN é o número de vagens na haste principal; NVAGLAT, número de vagens na haste lateral; MMG, massa de mil grãos; ¹ número de plantas por hectare; ² em kg ha⁻¹; ³ em gramas; ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias contrastadas; Contraste 1 - Segmento 1 x 2; Contraste 2 - Segmento 1 x 3; Contraste 3 - Segmento 1 x 4; Contraste 4 - Segmento 2 x 3; Contraste 5 - Segmento 2 x 4; Contraste 6 - Segmento 3 x 4

As Zonas de Manejo 2 e 4 diferiram-se estatisticamente em relação a população de plantas e rendimento de grãos, onde o valor de população de plantas é superior para Zona de Manejo 2, e o rendimento de grãos superior para a Zona de Manejo 4.

Semelhante a esse caso, observa-se o contraste 1, onde a população de plantas superior para a Zona de Manejo 2, não compensou o rendimento de grãos em relação a Zona de Manejo 1. Nesse estudo de caso, as médias das populações de plantas abaixo de 340.000 plantas por hectare apresentaram médias de rendimento de grãos superiores a 4.000 kg ha⁻¹. Assim, a adequação desse componente de rendimento pode ser um primeiro passo visando o aumento do rendimento de grãos.

Para as zonas de manejo da Profundidade 10 (item 5.3.2), o número de vagens na haste lateral apresentou coeficientes de variação considerados altos. Os demais componentes de rendimento considerados apresentaram valores baixo a médios para CV (Tabela 25).

Tabela 24 – Média e coeficiente de variação de componentes de rendimento da cultura da soja conforme divisão de zonas de manejo na Profundidade 10

Variável	Zonas de Manejo							
	1		2		3		4	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
NVAGPRIN	19,02	13,96	19,55	11,75	19,17	11,26	17,97	22,52
NVAGLAT	4,48	27,43	5,04	22,76	3,89	18,00	5,17	33,40
População ¹	356.349	7,15	345.354	11,80	352.910	8,41	331.259	6,24
Rendimento ²	3963,40	5,96	4037,60	9,96	3825,76	5,52	4271,60	6,24
MMG ³	17,56	7,24	18,86	9,37	17,36	4,35	17,93	7,38

NVAGPRIN é o número de vagens na haste principal; NVAGLAT, número de vagens na haste lateral; MMG, massa de mil grãos; ¹ número de plantas por hectare; ² em kg ha⁻¹; ³ em gramas

A fim de verificar a significância dos grupos conforme as zonas de manejo na Profundidade 10 aplicaram-se teste de comparação de média por contrastes ortogonais em nível de 5 %. É possível observar que para grande parte dos contrastes não há efeito significativo (Tabela 26).

Tabela 25 – Análise de comparação de médias por contrastes ortogonais de componentes de rendimento da cultura da soja e zonas de manejo para Profundidade 10

Variável	Contrastes (valor de P)					
	1	2	3	4	5	6
NVAGPRIN	0,6597 ^{ns}	0,9002 ^{ns}	0,3842 ^{ns}	0,7527 ^{ns}	0,1928 ^{ns}	0,3203 ^{ns}
NVAGLAT	0,2996 ^{ns}	0,2803 ^{ns}	0,2046 ^{ns}	0,0375	0,8132 ^{ns}	0,0215
População ¹	0,4318 ^{ns}	0,8052 ^{ns}	0,0769 ^{ns}	0,5884 ^{ns}	0,3146 ^{ns}	0,1252 ^{ns}
Rendimento ²	0,5841 ^{ns}	0,3113 ^{ns}	0,0267	0,1221 ^{ns}	0,0888 ^{ns}	0,0018
MMG ³	0,0426	0,7460 ^{ns}	0,5612 ^{ns}	0,0200	0,1404 ^{ns}	0,3670 ^{ns}

NVAGPRIN é o número de vagens na haste principal; NVAGLAT, número de vagens na haste lateral; MMG, massa de mil grãos; ¹ número de plantas por hectare; ² em kg ha⁻¹; ³ em gramas; ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias contrastadas; Contraste 1 - Segmento 1 x 2; Contraste 2 - Segmento 1 x 3; Contraste 3 - Segmento 1 x 4; Contraste 4 - Segmento 2 x 3; Contraste 5 - Segmento 2 x 4; Contraste 6 - Segmento 3 x 4

Quando contrastados os valores médios de rendimento de grãos, a média da Zona de Manejo 4 foi superior a média das Zonas 1 e 3.

As médias e CV dos componentes de rendimento, de acordo com a segmentação matemática na Profundidade 20 (item 5.3.3), são expostas na Tabela 27.

Tabela 26 – Média e coeficiente de variação de componentes de rendimento da cultura da soja conforme divisão de zonas de manejo na Profundidade 20

Variável	Zonas de Manejo					
	1		2		3	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV
NVAGPRIN	19,88	13,38	19,61	16,47	18,53	16,16
NVAGLAT	4,21	17,49	5,83	24,83	4,88	25,53
População ¹	342.355	8,30	323.621	8,04	354.814	9,65
Rendimento ²	3864,83	5,13	4245,81	6,37	4031,34	7,83
MMG ³	17,48	5,68	18,42	9,63	18,21	8,64

NVAGPRIN é o número de vagens na haste principal; NVAGLAT, número de vagens na haste lateral; MMG, massa de mil grãos; ¹ número de plantas por hectare; ² em kg ha⁻¹; ³ em gramas

A fim de verificar a significância dos grupos conforme as zonas de manejo na Profundidade 20 aplicaram-se teste de comparação de média por contrastes ortogonais em nível de 5 % (Tabela 28).

Tabela 27 – Análise de comparação de médias por contrastes ortogonais de componentes de rendimento da cultura da soja e zonas de manejo para Profundidade 20

Variável	Contraste (valor de P)		
	1	2	3
NVAGPRIN	0,8197 ^{ns}	0,2544 ^{ns}	0,3596 ^{ns}
NVAGLAT	0,0011	0,1511 ^{ns}	0,0472
População ¹	0,1349 ^{ns}	0,3163 ^{ns}	0,0150
Rendimento ²	0,0012	0,1353 ^{ns}	0,0567 ^{ns}
MMG ³	0,1047 ^{ns}	0,2025 ^{ns}	0,7177 ^{ns}

NVAGPRIN é o número de vagens na haste principal; NVAGLAT, número de vagens na haste lateral; MMG, massa de mil grãos; ¹ número de plantas por hectare; ² em kg ha⁻¹; ³ em gramas ramas ^{ns} Valores de P > 0,005 indica diferenças não significativas para as médias contrastadas; Contraste 1 = Zona de Manejo 1 x 2; Contraste 2 = Zona de Manejo 1 x 3; Contraste 3 = Zona de Manejo 2 x 3

Pela Tabela 28 é possível verificar que grande parte dos contrastes não apresentaram diferenças significativas para os componentes de rendimento avaliados. O rendimento de grãos foi superior na Zona de Manejo 2 em relação a Zona de Manejo 1.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação às metodologias avaliadas para segmentação de unidades homogêneas quanto ao manejo agrícola, os segmentos de paisagem propostos não representam a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e componentes de rendimento da cultura da soja.

Contrapondo, as zonas matemáticas parecem ser interessantes no sentido de segmentar unidade de manejo. A partir dessa metodologia foi possível diferenciar médias de atributos químicos do solo e componentes de rendimento da soja.

A diferenciação dos componentes de rendimento da cultura da soja foram significativos nas análises de contrastes, pelos segmentos matemáticos na Profundidade 5 (0 – 0,05 m).

Também, as médias obtidas diferenciação de estatística multivariada das zonas de manejo, possibilitam agronomicamente, recomendações de manejo específicos para os diferentes segmentos na área de trabalho.

A integração de variáveis de ordem climática e atributos físicos do solo, somado ao histórico de manejo antrópico a análise matemática, pode ser caminho promissor para melhor esclarecer a ocorrência da variabilidade espacial do rendimento das culturas agrícolas, no sentido de propor manejos mais racionais de solo e cultura.

7 CONCLUSÕES

Possibilitaram-se a partir do uso dos Sistemas de Informações Geográficas coletas de amostras de solo caracterizar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo e dos componentes de rendimento, bem como sua variabilidade.

O modelo de paisagem de Troeh (1965), utilizado para a segmentação de áreas agrícolas, não apresentou efeito satisfatório no sentido de diferir áreas quanto atributos químicos do solo nas profundidades analisadas, e para os componentes de rendimento da cultura da soja, de acordo com ortogonalidade de contrastes.

O modelo de estatística multivariada se mostrou eficiente em agrupar áreas homogêneas quanto às variáveis químicas do solo, sendo as maiores significâncias das análises de contrastes obtidas na camada de 0 – 0,05 m.

Na Profundidade 5 (0 – 0,05 m), apresentaram efeito significativo para população de plantas e rendimento de grãos, enquanto os segmentos obtidos através da análise das Profundidade 10 e 20 não diferiram-se significativamente para das comparações.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R.F.D.; ASSIS JUNIOR, 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, p. 415-422, 2007.
- ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada o microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.2, 141–149, 2014.
- BAGARELLO, V.; IOVINO, M. Testing the best procedure test in water the soil water retention curve. **Geoderma**, v. 187-188, p. 67-76, 2012.
- BAI, J.; OUYANG, H.; XIAO, R.; GAO, J.; GAO, H.; CUI, B.; HUANG, L. Spatial variability of soil carbon, nitrogen, and phosphorus content and storage in an alpine wetland in the Qinghai-Tibet Plateau, China. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 730-736, 2010.
- BAIO, F. R.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana-de-açúcar. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.367-375. 2011.
- BALOGH, J.; PINTER, K.; FÓTI, SZ.; CSERHALMI, D.; PAPP, M.; NAGY, Z. Dependence of soil respiration on soil moisture, clay content, soil organic matter, and CO₂ uptake in dry grasslands. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 1006-1013, 2011.
- BERTOL, O. R.; LANA, M. C.; FEY, E.; RIZZI, N. E. Mobilidade de íons em solo sob sistema de semeadura direta submetido à adubação mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:1311-1321, 2011.
- BORMANN, H.; KLAASSEN; K. Seasonal and land use dependent variability of soil hydraulic and soil hydrological properties of two Northern German soils. **Geoderma**, n 145, p. 295-302, 2008.
- BRANTLEY, S.L. Understanding Soil Time. **Science**. v. 321. 2008.
- BUSCH, M.; LA NOTTE, A.; LAPORTE, V.; ERHARD, M. Potentials of quantitative and qualitative approaches to assessing ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 21, p. 89-103, 2012.
- CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. PR **Ambiência Guarapuava** n.3 p. 963 – 982. 2012.
- CARMO, M. B. R; MORO, R. S; NOGUEIRA, M. K. F. S. **A vegetação florestal nos campos Gerais**. Cap. 9. Pg. 99-104. In: MELO, M. S; MORO, R. S; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1ª Ed. Editora UEPG. 2007.

CARRILHO, P. F. ; ROCHA, H. O. . Caracterização dos solos da região do Quero-Quero, município de Palmeira-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1993, 1993, Goiânia. Resumos do XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Goiânia: SBCS, 1993. v. 2. p. 291-292.

CASA, R.; CASTRIGNAMÒ, A. Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. **Europe Journal Agronomy**, v. 28, p. 331-342, 2008.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 237-243, 2011.

CHEN, H.; HOU, R.; GONG, Y.; LI, H.; FAN, M.; KUZYAKOV, Y. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. **Soil & Tillage Research**, v. 106, p. 85-94, 2009.

CHEN, X.; CUI, Z.; VITOUSEK, P.M.; CASSMAN, K.G.; MATSON, P.A.; BAI, J.; MENG, Q.; HOU, P.; YUE, S.; ROMHELD, V.; ZHANG, F. Integrated soil-crop system management for food security. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America**, v. 108, n. 16, p. 6399-6404, 2011.

CHRYSOCHOOU, M; BROWN, K.; DAHAL, G.; GRANDA-CARVAJAL, C.; SEGERSON, K.; GARRICK, N.; BAGTZOGLOU, A. A GIS and indexing scheme to screen brownfields for area-wide redevelopment planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 105, p. 187-198, 2012.

COLET, M. J.; WEIRICH NETO, P. H.; GARBUIO, P. W.; SCIMANDEIRO, A. Processo de semeadura e o rendimento do milho na região dos Campos Gerais do Paraná. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p. 994-999, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO/CONAB. **Séries históricas**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>. Acesso em: 30 abr. 2012.

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

DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. F.; CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**. Madison, v.23, p.51-87, 1971.

DELALIBERA, H. C.; WEIRICH NETO, P. H.; NAGATA, N. Management zones in agriculture according to the soil and landscape variables. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.32, n.6, p.1197-1204. 2012.

DIACONO, M.; CASTRIGNAMÒ, A.; TROCCOLI, A.; DE BENEDETTO, D.; BASSO, B.; RUBINO, P. Spatial e temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. **Field Crops Research**, v. 131, p. 49-62, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Levantamento e conservação de solos. In: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 353p. 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. **Sistemas de produção**. Disponível em: < <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 30 abr. 2012c.

FLORES-DELGADILLO, L.; FEDICK, S.L.; SOLLEIRO-REBOLLEDO, E.; PALACIOS-MAYORGA, S.; ORTEGA-LARROCEA, P.; SEDOV, S.; OSUNA-CEJA, E. A sustainable system of a tradicional precisionagriculture in a Maya homegarden: soilqualityaspects. **Soil & Tillage Research**, v. 113, p. 112-120, 2011.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality.**Soil& Tillage Research**, v. 66, p. 95-106, 2002.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V.I. Precision agriculture & food security.**Science**, v. 327, p. 828-831, 2010.

GEYPENS, M.; VANONGEVAL, L.; VOGELS, N.; MEYKENS, J. Spatial variability of agricultural soil fertility parameters in a gleyicpodzol of Belgium. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 319-326, 1999.

GIRMAY, G.; SINGH, B.R.; NYSSSEN, J.; BORROSEN, T. Runoff and sediment-associated nutrient losses under different land uses in Tigray, northern Ethiopia. **Journal of Hydrology**, v. 376, p. 70-80, 2009.

GUASTAFERRO, F.; CASTRIGNANO, A.; DE BENEDETTO, D.; SOLLITTO, D.; TROCCOLI, A.; CAFARELLI, B. A comparison of different algorithms for the

GUIMARÃES, G. B; MELO, M. S; GIANINI, P. C. F; MELEK, P. R. **Geologia dos Campos Gerais**. Cap. 2. Pg. 23-32. In: MELO, M. S; MORO, R. S; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1ª Ed. Editora UEPG. 2007.

HAIR JUNIOR, F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Multivariate data analysis**. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey. 5. ed. 1998.

HAIR, J. F. JR.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5ª edição, Editora BOOKMAN, 2005.

HASSELLOV, M.; VON DER KAMMER, F. Iron oxides as geochemical nanovectors for metal transport in soil-river systems. **Elements**, v. 4, p. 401-406, 2008.

HEIJTING, S.; BRUIN, S.; BREGT, A.K. The arable farmer as the assessor of within-field soil variation. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 488-507, 2011.

HOLLAND, R.A; EIGENBROD, F; ARMSWORTH, P.R; ANDERSON, B.J; THOMAS, C.D; GASTON, K. J. The influence of temporal variation on relationships between ecosystem services.**Biodiversity and Conservation**.v.20. p.3285–3294. 2011.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 455-463, 2007.

JARADAT, A. A. Modeling biomass allocation and grain yield in bread and durum wheat under abiotic stress. **Australian Journal of Crop Science**. v.3(5), p. 237-248, 2009.

JI, S.; CHEN, W.; DING, X.; CHEN, Y.; ZHAO, C.; HU, C. Potential benefits of GPS/GLONASS/GALILEO integration in an urban canyon – Hong Kong. **The Journal of Navigation**, v. 63, p. 681-693, 2010.

JIANG, P.; THELEN, K.D. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn-soybean cropping system. **Agronomy journal**. v.96, p.252-258. 2004.

JIN, J.; JIANG, C. Spatial variability of soil nutrients and site-specific nutrient management in the P.R. China. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 36, p. 165-172, 2002.

KATTERER, T.; BOLINDER, M.A.; ANDRÉN, O.; KIRCHMANN, H.; MENICHETTI, L. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 141, p. 184-192, 2011.

KELLER, T.; SUTTER, J.A.; NISSEN, K.; RYDBERG, T. Using Field measurement of saturated soil hydraulic conductivity to detect low-yielding zones in three Swedish fields. **Soil & Tillage Research**, v. 124, p. 68-77, 2012.

KHEIR, R.B.; GREVE, M.H.; BOCHER, P.K.; GREVE, M.B.; LARSEN, R.; McCLOY, K. Predictive mapping of soil organic carbon in the wet cultivated lands using classification-tree based models: the case study of Denmark. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 1150-1160, 2010.

KHOSLA, R.; INMAN, D.; WESTFALL, D.G.; REICH, R.M.; FRASIER, M.; MZUKU, M.; KOCH, B.; HORNING, A. A synthesis of multi-disciplinary research in precision agriculture: site-specific management zones in the semi-arid western Great Plains of the USA. **Precision Agriculture**, v. 9, p. 85-100, 2008.

KITAMURA, A.E.; CARVALHO, M.P., LIMA, C.G.R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Rev. Bras. Ciênc.Solo**, Viçosa, 2007, vol.31, n.2, pp. 361-369.

LAL, R. Crop residues and soil carbon. **Carbon Management and Sequestration Center**. FAO. 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/ca/Carbon%20Offset%20Consultation/CARBONMEETING/3FULLPAPERSBYCONSULTATIONSPEAKERS/PAPERLAL.pdf>. Acesso em: 20 de dezembro de 2013.

LAL, R. World crop residues production and implication of its use as a biofuel. **Env. Intl.** 31: 575-586. 2005.

LATERRA, P.; ORÚE, M.E.; BOOMAN, G.C. Spatial complexity and ecosystem services in rural landscape. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, v. 154, p. 56-67, 2012.

LICHTENBERG, E; SHORTLE, J; WILEN, J; ZILBERMAN, D. Natural resource economics and conservation: contributions of agricultural economics and agricultural economists. **Amer. J. Agr. Econ.** 2009.

LIN, Z.; HUANG, J.; LI, Y.; GUO, W.; ZHU, J. Assessment on soil fertility of Dongting Lake wetland area (China) based on GIS and fuzzy evaluation. **Journal of Central South University of Technology**, v. 18, p. 1465-1472, 2005.

LISBOA FILHO, J. Projeto de bando de dados para Sistema de Informações Geográficas.

LIU, Z.; SHAO, M.; WANG, Y. Effects of environmental factors on regional soil organic carbon stocks across the Loess Plateau region, China. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 142, p. 184-194, 2011.

MALLARINO, A.P.; WITTRY, D.J. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of Phosphorus, Potassium, pH, and Organic Matter. **Precision Agriculture**, v. 5, p. 131-144, 2004.

MANLAY, R.J.; FELLER, C.; SWIFT, M.J. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of crop systems. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v.119, p. 217-233, 2007.

MANN, K.K.; SCHUMANN, A.W.; OBREZA, T.A. Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 457-472, 2011.

MELFI, A.J; PEDRO, G; VOLKOFF, B. Natureza e distribuição dos compostos ferríferos no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 1979.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR/MDIC. **Balança comercial brasileira**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=3355>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

MORRISON, D.E. **Multivariate statistical methods**. New York: McGraw-Hill, 1976. 338p.

NORNG, S.; PETTITT, A.N. Investigating the relationship between site-specific yield and protein of cereal crops. **Precision Agriculture**, v. 6, p. 41-51, 2005.

OBI, J.C.; UDOH, B.T. Identification of soil management factors from spatially variable soil properties of coastal plain sands in southeastern Nigeria. **Open Journal of Soil Science**, v. 1, p. 25-39, 2011.

ORTEGA, R.A.; SANTIBÁÑEZ, O.A. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.58, p. 49-59, 2007.

PAN, Y.; YE, L.; NI, B.; YUAN, Z. Effect of pH on N₂O reduction and accumulation during denitrification by methanol utilizing denitrifiers. **Water Research**, v. 46, p. 4832-4840, 2012.

PIRES, L.F.; COOPER, M.; CÁSSARO, F.A.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; DIAS, N.M.P. Micromorphological analysis to characterize structure modifications of soil samples submitted to wetting and drying cycles. **Catena**, v. 72, p. 297-304, 2008.

POGGIO, L.; VRSCAJ, B.A GIS-based human health risk assessment for human green space planning – An example from Grugliasco (Italy). **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 5961-5970, 2009.

ROCHA, C. H; WEIRICH NETO, P. H. **Origens dos sistemas de produção e fragmentação da paisagem nos Campos Gerais**. Cap. 18. Pg. 171-180. In: MELO, M. S; MORO, R. S; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1ª Ed. Editora UEPG. 2007.

ROUDIER, P.; TISSEYRE, B.; POILVÉ, H.; ROGER, J. A technical opportunity index adapted to zone-specific management. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 120-145, 2011.

SÁ, J. C. M; CERRI, C. C; LAL, R; DICK, W. A; PICCOLO, M. C; FEIGL, B. E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research**. v. 104. p. 56–64. 2009.

SÁ, M. F. M. **Os solos dos Campos Gerais**. Cap. 6. Pg. 73-84. In: MELO, M. S; MORO, R. S; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1ª Ed. Editora UEPG. 2007.

SECRETARIA DO ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO/SEAB. DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL/DERAL. **Estimativa de safras**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br>>. Acesso em: 28 abr. 2012.

SENGIC, E.; ALBUQUERQUE, K. P. **Os colóides do solo**. Ed. UFLA. Lavras. 2003.

SILVA JUNIOR, J.F.; SIQUEIRA, D.S.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Classificação numérica e modelo digital de elevação na caracterização espacial de atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, v.4, p. 415-424, 2012.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-refenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP. EditoraUnicamp, 1999.

SONG, X.; WANG, J.; HUANG, W.; LIU, L.; YAN, G.; PU, R. The delineation of agricultural management zones with high resolution remotely sensed data. **Precision agriculture**, v. 10, p. 471-487, 2009.

SOUZA JUNIOR, I.G.; SARAIVA DE COSTA, A.C.; SAMBATTI, J.A.; PETERNELE, W.S.; TORMENA, C.A.; MONTES, C.R.; CLEMENTE, C.A. Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à área superficial específica e à capacidade de troca catiônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1355-1365, 2007.

SPIELVOGEL, S.; PRIETZEL, J.; AUERSWALD, K.; KOGEL-KNABNER, I. Site-specific spatial patterns of soil organic carbon stocks in different landscape units of a high-elevation forest including a site with forest dieback. **Geoderma**, v. 152, p. 218-230, 2009.

SUS, O.; WILLIAMS, M.; BERNHOFER, C.; BÉZIT, P.; BUCHMANN, N.; CESCHIA, E.; DOHERTY, R.; EUGSTER, W.; GRUNWALD, T.; KUTSCH, W.; SMITH, P.; WATTENBACH, M. A linked carbon cycle and crop developmental model: Description and evaluation against measurements of carbon fluxes and carbon stocks at several European agricultures sites. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 139, p. 402-418, 2010.

TAYLOR, J.A.; WHELAN, B.M. Selection of ancillary data to derive production management units in sweet corn (*Zea mays* var. *rugosa*) using MANOVA and a information criterion. **Precision agriculture**, v.12, p. 519-533, 2011.

TESFAHUNEGB, G.B.; TAMENE, L.; VLEK, P.L.G. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. **Soil & Tillage Research**, v. 117, p. 124-139, 2011.

THENG, B.K.G.; YUAN, G. Nanoparticles in the soil environment. **Elements**, v. 4, p. 395-399.

THOMPSON, A.N.; SHAW, J.N.; MASK, P.L.; TOUCHTON, J.T.; RICKMAN, D. Soil sampling techniques for Alabama, USA Grain Fiels. **Precision Agriculture**, v. 5, p. 345-358, 2004.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **Soil Science Society American Journal**. New York, v.263, p.616-27. 1965.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/USDA.Foreign Agricultural Service.**Table 11: Soybean area, yield, and production**.Disponívelem: <<http://www.fas.usda.gov/wap/current/>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

VALADARES, R. V; VALADARES, S. V; FERNANDES, L. A; SAMPAIO, R. A. Teores de nutrientes no solo e nutrição mineral do milho em áreas irrigadas com água calcária. **Revista Caatinga**. v. 27. n. 3. 2014.

ZANÃO JUNIOR, LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; ARAÚJO PEREIRA, J.M. Variabilidade Espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 389-400, 2010.

ZHOU, T.; WU, J.; PENG, S. Assessing the effects of landscape pattern on river water quality at multiple scales: A case study of Dongjiang River watershed, China. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 166-175, 2012.

WEIRICH NETO, P. H.; BUZOLINI JR. O.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E.; SVERZUT, C, B. Um estudo da variabilidade espacial do conteúdo de areia do solo, utilizando diferentes métodos de interpolação. **Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.** Ponta Grossa, 12 p.41-49, abr. 2006.