

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ELIZEU DE SOUZA LIMA

Engenheiro Florestal

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DENDROMÉTRICAS DO
EUCALIPTO E DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO A PARTIR DA
APLICAÇÃO DE CALCÁRIO OU LAMA DE CAL + OXYFERTIL**

Ilha Solteira

2015

ELIZEU DE SOUZA LIMA

Engenheiro Florestal

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DENDROMÉTRICAS DO
EUCALIPTO E DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO A PARTIR DA
APLICAÇÃO DE CALCÁRIO OU LAMA DE CAL + OXYFERTIL**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte
dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. Dr. Rafael Montanari

Orientador

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Co-Orientador

Ilha Solteira

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- L732v Lima, Elizeu de Souza.
Variabilidade espacial de atributos dendrométricas do eucalipto e de um neossolo quartzarênico a partir da aplicação de calcário ou lama de cal + oxyfertil / Elizeu de Souza Lima. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2015
69 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2015
- Orientador: Rafael Montanari
Co-orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Inclui bibliografia
1. Sítio florestal. 2. Silvicultura de precisão. 3. Geoestatística. 4. Manejo do solo. 5. Resíduos celulósicos.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Variabilidade espacial de atributos dendrométricos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico a partir da aplicação de calcário ou lama de Cal+Oxyfertil

AUTOR: ELIZEU DE SOUZA LIMA

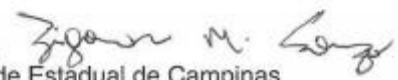
ORIENTADOR: Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI 
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI 
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA 
Departamento de Água e Solo / Universidade Estadual de Campinas

Data da realização: 23 de julho de 2015.

DEDICO

À minha mãe **Maria Aparecida Lima**, que me educou e me possibilitou mais essa conquista, por me compreender e me incentivar, exemplo de vida fundamental para a minha vida pessoal e profissional. E, à mim mesmo por superar todas as dificuldades pessoais e financeiras encontradas durante o curso de mestrado.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e por estar sempre ao meu lado a me ajudar, sem o qual eu não teria conseguido concluir mais este desafio.

Aos meus pais Eli Pereira Lima (*in memoriam*) e Maria Aparecida Lima pelo apoio, conselhos e exemplo de vontade, determinação, superação e honestidade, que nos momentos de alegrias e de lutas, mesmo na distância, se fizeram presentes, pelas palavras de encorajamento.

Aos meus irmãos Alécio de Souza Lima e Elitzer de Sousa Lima que apesar das divergências normais da vida, tornam possível um sentimento de amor.

Aos amigos que fizeram parte da elaboração desta dissertação no que se diz respeito a instalação das malhas, coleta e análises: Lenon Henrique Lovera, Mariele Squizato, Beatriz Batello e Tatiana da Silva Santos.

A todos os amigos e colegas da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP pelo aprendizado, pelos momentos de amizades, os quais me deram um grande impulso e incentivo.

Ao Professor Orientador Dr.º RAFAEL MONTANARI, por ter me recebido para orientação e por nunca ter se negado a dividir seu tempo precioso, conhecimentos, estímulo ao espírito de pesquisa, simplicidade e alegria. Muito obrigado por tudo, jamais esquecerei muitas de suas atitudes e conselhos.

Ao Professor Co-Orientador Dr.º Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho pelos ensinamentos e auxílio no desenvolvimento do projeto de pesquisa.

À Eldorado Brasil Celulose de Três Lagoas - MS que disponibilizou uma área da Fazenda Bom Retiro de sua propriedade e os fertilizantes para que se realizasse a presente pesquisa. E ao Vinícius Evangelista Silva que intermediou o desenvolvimento de todo o projeto junto a Eldorado.

À FAPESP pelo incentivo à captação de recursos e a FUNDUNESP pelo apoio financeiro.

A minha esposa Angela Nunes Wendt Lima pelo companheirismo, compreensão e motivação para que eu sempre permanecesse no curso mesmo estando à distância.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de forma direta e indireta para a realização do mesmo.

MUITO OBRIGADO!

EPÍGRAFE

“O solo não é uma herança que recebemos de nossos pais, mas sim um patrimônio que tomamos emprestado de nossos filhos”.

L. Brown.

RESUMO

A adubação por meio de resíduos celulósicos utilizada em sistemas silviculturais de eucalipto é uma excelente prática conservacionista do solo, uma vez que proporciona economia de fertilizantes, é descompactante, restabelece boas condições químicas, físicas e biológicas e, sobretudo, aumenta a produtividade da madeira, além de evitar que esses resíduos sejam depositados em locais inadequados. O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial da produtividade individual das árvores de *Eucalyptus urograndis* em função dos atributos de um Neossolo Quartzarênico com vistas a evidenciar zonas específicas de manejo no intuito de utilizar o resíduo da extração de celulose na forma de fertilizantes de maneira sustentável ao ambiente. No ano de 2014, na área experimental da Fazenda Bom Retiro de propriedade da Eldorado Brasil Celulose localizada no município de Três Lagoas, situada nas condições do Cerrado Brasileiro foram instaladas 3 malhas experimentais contendo 50 pontos amostrais totalizando 1 ha cada malha experimental. Foram analisadas as correlações lineares e espaciais, entre planta e solo com vistas a evidenciar zonas específicas de manejo no intuito de retornar os resíduos de celulose na forma de fertilizantes de maneira sustentável ao ambiente. Os atributos avaliados da planta foram a altura (ALT) e o diâmetro à altura do peito (DAP). Os atributos do solo foram resistência do solo à penetração (RP), umidade gravimétrica (UG), teores de Areia, Silte, Argila, fósforo (P), matéria orgânica (MO), valores de potencial hidrogeniônico (pH), teores de potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}), valores de soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC), coletados nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m. A análise estatística foi compreendida da análise descritiva inicial dos atributos, análise das correlações lineares, espaciais e temporais entre eles e, a análise geoestatística, objetivando, evidenciar condições de manejo para o aumento da produtividade de sítios florestais por meio da adubação com resíduos celulósico. Os teores de fósforo, matéria orgânica e valores de pH na camada de 0,00-0,10 m e, pH na camada de 0,10-0,20 m de profundidade quando destinado a estimar a altura do eucalipto em solos arenosos apresentaram-se como potenciais indicadores de qualidade química do solo. Os mapas de isolinhas confeccionados permitiram visualizar a distribuição dos elementos físico-químicos estudados e a influência nos atributos de crescimento do eucalipto cultivado em Três Lagoas – MS, se tornando uma importante ferramenta para o planejamento da produção dessas áreas.

Palavras-chave: Sítio florestal. Silvicultura de precisão. Geoestatística. Manejo do solo. Resíduos celulósicos.

ABSTRACT

The fertilization using cellulosic waste used in eucalyptus forestry systems is a great soil conservation practice, since it provides fertilizer saving is descompactante restores good chemical, physical and biological conditions and, above all, increases the productivity of the timber, and prevents waste is deposited in inappropriate places. The objective of this study was to evaluate the spatial variability of individual productivity of *Eucalyptus urograndis* trees according to the attributes of a Entisol Typic soil in order to highlight specific management zones in order to use the residue of cellulose extraction as sustainably fertilizers to the environment. In 2014, in the experimental area of the Bom Retiro Farm's owned by Eldorado Celulose Brazil in the city of Três Lagoas, located in the Brazilian Cerrado conditions were installed three experimental mesh containing 50 sampling grids totaling 1 ha each experimental grid. Linear and spatial correlations were examined between the plant and the soil in order to highlight specific management areas in order to return the cellulose waste as fertilizer to sustainably environment. While the studied plant attributes were height (Hei), diameter at chest hight (DCH), and wood volume (VOL). Soil attributes were mechanical resistance to penetration (RP), gravimetric moisture (GM), sand, silt, clay, phosphorus (P), organic matter (OM), hydrogen potential (pH), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), aluminum (Al^{3+}), sum of bases (SB) and cation exchange capacity (CEC), collected from 0 to 0.20 and 0.20 to 0.40 m depth. Statistical analysis was comprised of: initial descriptive analysis of the attributes, analysis of linear correlation, spatial and temporal between them and the geostatistic analysis, in order, highlight conditions that provide increased productivity of place forests through fertilization held the cellulosic waste. The phosphorus, organic matter and hydrogenionic potential in layer 0.00 to 0.10 m and, hydrogen potential in the 0.10-0.20 m layer of depth when designed to estimate the eucalyptus height in sandy soils apresentaram- if as potential indicators of chemical soil quality. The made-up contour maps let you see the distribution of physico-chemical elements studied and the influence on eucalyptus growth parameters grown in Três Lagoas - MS, becoming an important tool for planning the production of these areas.

Keywords: Place forest. Precision forestry. Geoestatistic. Soil management. Cellulosic waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Vista aérea da área de estudo.....	24
Figura 2	- Distribuição do corretivo no solo na área de eucalipto em Três Lagoas – MS.....	26
Figura 3	- Esquema da malha experimental de campo da Testemunha.....	27
Figura 4	- Esquema da malha experimental do calcário.....	28
Figura 5	- Esquema da malha experimental de campo da lama de cal + oxyfertil.....	28
Figura 6	- Equações de regressão entre os atributos de desenvolvimento do eucalipto em um Neossolo Quartzarênico sob o tratamento Testemunha.....	47
Figura 7	- Equação de regressão entre os atributos de desenvolvimento do eucalipto em um Neossolo Quartzarênico sob o tratamento Lama de Cal + Oxyfertil.....	48
Figura 8	- Mapas de krigagem dos atributos RP2, UG1, UG2, Areia2, P1, MO1, pH1 e pH2 sob o tratamento Testemunha.....	57
Figura 9	- Mapas de krigagem dos atributos K1, K2, Al1, Al2 e CTC1 sob o tratamento Testemunha.....	58
Figura 10	- Mapas de krigagem dos atributos ALT, UG1, UG2, Areia1, Areia2 e MO1 sob o tratamento com Calcário.....	59
Figura 11	- Mapas de krigagem dos atributos pH2, K1 e Al2 sob o tratamento Calcário.....	60
Figura 12	- Mapas de krigagem dos atributos UG2, Arg1, P2, MO1, pH2 e K1 sob o tratamento com Lama de Cal + Oxyfertil.....	61
Figura 13	- Mapas de krigagem dos atributos K2, Ca1, Mg1, Mg2, Al1 e CTC1 sob o tratamento com Lama de Cal + Oxyfertil.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Análise inicial de alguns atributos físicos do solo estudado.....	25
Tabela 2	- Análise inicial de alguns atributos químicos do solo estudado.....	25
Tabela 3	- Características dos produtos utilizados.....	26
Tabela 4	- Análise descritiva de atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha Testemunha.....	32
Tabela 5	- Análise descritiva de atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha sob aplicação de Calcário.....	33
Tabela 6	- Análise descritiva de atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha sob aplicação de Lama de Cal + Oxyfertil.....	38
Tabela 7	- Teste F aplicado aos atributos de solo e do eucalipto sob os tratamentos de testemunha, com calcário ou lama de cal + oxyfertil em área de eucalipto.....	41
Tabela 8	- Matriz de correlação linear simples dos atributos de eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico na malha Testemunha.....	44
Tabela 9	- Matriz de correlação linear simples dos atributos de eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico sob aplicação de Calcário.....	45
Tabela 10	- Matriz de correlação linear simples dos atributos de eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico sob aplicação de Lama de Cal + Oxyfertil.....	46
Tabela 11	- Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas ajustadas para os atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico no tratamento Testemunha.....	49
Tabela 12	- Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas ajustadas para os atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha sob aplicação de Calcário.....	52
Tabela 13	- Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas ajustadas para os atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha sob aplicação Lama de Cal + Oxyfertil.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO EUCALIPTO.....	15
2.2	SOLOS DA REGIÃO DO CERRADO.....	16
2.3	RESÍDUOS CELULÓSICOS (LAMA DE CAL) E SUA INFLUÊNCIA NOS ATRIBUTOS DO SOLO.....	16
2.4	CALAGEM.....	18
2.5	LAMA DE CAL.....	19
2.6	OXYFERTIL.....	19
2.7	A GEOESTATÍSTICA NA SILVICULTURA.....	20
2.8	VARIABILIDADE ESPACIAL APLICADA À CULTURA DO EUCALIPTO E AOS SOLOS.....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ORIGEM DOS DADOS.....	24
3.2	CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO ESTUDADO.....	24
3.3	IMPLANTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS MALHAS EXPERIMENTAIS DE CAMPO.....	26
3.4	COLETA E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS.....	29
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS.....	31
4.1.1	Testemunha.....	31
4.1.1.1	<i>Variabilidade dos atributos.....</i>	<i>31</i>
4.1.1.2	<i>Distribuição de frequência dos atributos.....</i>	<i>31</i>
4.1.1.3	<i>Valores médios dos atributos estudados.....</i>	<i>33</i>
4.1.2	Calcário.....	34
4.1.2.1	<i>Variabilidade dos atributos.....</i>	<i>34</i>
4.1.2.2	<i>Distribuição de frequência dos atributos.....</i>	<i>35</i>
4.1.2.3	<i>Valores médios dos atributos estudados.....</i>	<i>36</i>

4.1.3	Lama de Cal + oxyfertil.....	37
4.1.3.1	<i>Variabilidade dos atributos</i>	37
4.1.3.2	<i>Distribuição de frequência dos atributos</i>	38
4.1.3.3	<i>Valores médios dos atributos estudados</i>	39
4.2	ANÁLISES DA SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA ENTRE OS ATRIBUTOS DOS TRATAMENTOS TESTEMUNHA, CALCÁRIO E LAMA DE CAL + OXYFERTIL.....	40
4.3	MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS ATRIBUTOS DE PLANTA E SOLO.....	43
4.3.1	Testemunha.....	43
4.3.2	Calcário.....	44
4.3.3	Lama de Cal + oxyfertil.....	45
4.4	REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS ATRIBUTOS.....	46
4.4.1	Testemunha.....	46
4.4.2	Lama de Cal + Oxyfertil.....	47
4.5	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS ESTUDADOS.....	48
4.5.1	Análise semivariográfica simples.....	48
4.5.1.1	Testemunha.....	48
4.5.1.2	Calcário.....	51
4.5.1.3	Lama de Cal + oxyfertil.....	54
4.5.2	Mapas de krigagem dos atributos estudados.....	56
4.5.2.1	Testemunha.....	56
4.5.2.2	Calcário.....	58
4.5.2.3	Lama de Cal + oxyfertil.....	60
5	CONCLUSÕES.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de eucalipto vem se destacando por apresentar grande potencial produtivo de madeira para a produção de celulose e papel, uma vez que o consumo de papel no mundo tende a aumentar com o incremento da população e o desenvolvimento das cidades. Por isso, a silvicultura destaca-se por proporcionar grande potencial ambiental e socioeconômico para o país. A utilização de biomassa produzida por eucalipto tem se destacado como um potencial de energia renovável e uma alternativa para substituição ou redução do consumo de combustíveis fósseis (PROTÁSIO et al., 2013).

Além da fabricação de celulose e papel, as espécies de *Eucalyptus* também são recomendadas para fabricação de móveis, serraria, postes, óleos essenciais, taninos de carvão vegetal, pisos, revestimentos, construção civil em geral. Do ponto de vista econômico, social e ambiental, a produtividade pode ser considerada como um dos principais fatores que determinaram sua expansão no mercado madeireiro no Brasil (BRACELPA, 2014).

Para satisfazer essa demanda de madeira, no Brasil, as principais espécies cultivadas são o *Eucalyptus grandis*, *E. citriodora*, *E. camaldulensis*, *E. saligna* e *E. urophylla*. Além disso, existem cruzamentos entre espécies dando origem a espécies híbridas como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*), *Eucalyptus grancam* (*E. grandis* x *E. camaldulensis*), dentre outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2009).

Tal fato faz com que a produtividade das plantações comerciais de eucalipto no Brasil seja bastante variável e produtiva, fazendo com que o país obtenha hoje as melhores tecnologias na silvicultura do eucalipto, atingindo cerca de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de produtividade média em rotações de sete anos (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB, 2014). Porém, essa produtividade varia entre 15 a $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, pois é dependente da disponibilidade hídrica, fertilização dos sítios florestais e tipo de solo. Sendo assim, a adubação mineral é muito importante no início do desenvolvimento da cultura, principalmente em épocas de seca. A adubação faz com que as plantas adquiram vigor necessário para que as raízes atinjam rapidamente o lençol freático, utilizando água do subsolo e também não necessitem mais de adubação mineral, se tornando auto-sustentáveis (SANTANA et al., 2008).

As áreas de Cerrado do estado de Mato Grosso do Sul apresentam solos altamente intemperizados, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, fazendo-se necessária a correção e adubação dos mesmos para níveis adequados ao desenvolvimento do eucalipto (BARBOSA et al., 2012). Esses autores ainda ressaltam que solos altamente intemperizados e de baixa fertilidade natural, constituem-se em forte limitação à produtividade florestal, sendo

necessário adotar práticas silviculturais de manejo como a correção do solo, pelo uso da calagem, fertilização mineral e utilização de materiais genéticos adaptados e eficientes nesses tipos de solo para se obter excelente desenvolvimento da cultura.

Devido a baixa fertilidade natural dos solos em plantios florestais em regiões do cerrado, vem-se buscando novas alternativas de fertilizantes. Entre elas, existem alguns resíduos de celulose que apresentam a capacidade de corrigir a acidez dos solos, como a lama cal que pode ser utilizada em substituição ao calcário na neutralização da acidez, além de melhorar a CTC e os teores de matéria orgânica dos solos, devido a sua capacidade de neutralizar a acidez e possibilitar o deslocamento de nutrientes no perfil do solo, uma vez que disponibilizam Ca^{2+} e Mg^{2+} (CORRÊA et al., 2007).

A silvicultura de precisão associada à geoestatística analisa a dependência espacial de dados georreferenciados, aos quais são ajustados em semivariogramas em função das distâncias entre as observações. A partir do semivariograma pode-se confeccionar mapas de krigagem para cada atributo pesquisado, do solo e da planta, que representa a variabilidade espacial dos dados e, em seguida obter as zonas específicas de manejo do solo para o atributo (CARVALHO et al., 2012).

Assim, estudo da relação entre a capacidade produtiva de povoamentos de *Eucalyptus* e de atributos do solo favorece o manejo racional do sítio florestal, evitando a degradação de seus atributos físico-químicos e o baixo desenvolvimento das árvores, visando à produção sustentável, mostrando que a geoestatística é importante na interpretação de resultados com base na estrutura da sua variabilidade espacial natural, principalmente da interação entre os atributos físico-químicos do solo com o crescimento vegetal e, sobretudo contribuindo para a aplicação de técnicas de silvicultura de precisão que viabilizam intervenções localizadas na floresta, com a exatidão e a precisão adequada (LIMA et al., 2010; ROSA FILHO et al., 2011).

Diante do exposto, a presente pesquisa objetivou analisar as correlações lineares e espaciais entre planta do eucalipto em função dos atributos físicos e químicos do solo, com vistas a evidenciar zonas específicas de manejo intimamente associadas a produtividade de madeira no intuito de utilizar a lama de cal da extração da celulose como corretivo em um Neossolo Quartzarênico no município de Três Lagoas, MS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO EUCALIPTO

Originário da Austrália, o eucalipto é hoje uma das principais fontes de matéria prima para a produção de papel. Pertence ao gênero *Eucalyptus*, que reúne mais de 600 diferentes espécies. No Brasil, o eucalipto encontrou ótimas condições edafoclimáticas para o seu desenvolvimento, com crescimento em altura e diâmetro mais rápido que nos demais países e alto índice de produtividade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL-BRACELPA, 2014).

As primeiras mudas de eucaliptos chegaram ao Brasil como planta ornamental em 1825 e foram plantadas no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Em 1868, a espécie começou a ser cultivada para a produção de lenha e quebra-ventos no estado do Rio Grande do Sul. Sua expansão ganhou impulso nos primeiros anos do século XX por meio da Companhia Paulista de Estradas de Ferro que realizou plantios de eucalipto para abastecer caldeiras das locomotivas e produzir dormentes para serem utilizados na estrada de ferro. Nos dias atuais se tornou uma formidável atividade produtiva no país, fonte de riqueza e desenvolvimento social, bem como de conservação ambiental (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS- ABRAF, 2009).

A área de floresta plantada no Brasil atingiu no final do ano de 2013, cerca de 7,60 milhões de hectares, crescimento de 2,8% na comparação com os 7,39 milhões de hectares de 2012. Os sítios florestais de eucalipto representaram 72% desse total, pinus com 20,7% e as demais espécies cultivadas representam 7,3%. Nesse panorama, 100% da produção de celulose e papel são originados de florestas plantadas de eucalipto e pinus. Essas florestas são cultivadas em áreas específicas antes degradadas principalmente ocupados por pastagens. Em seguida, nova floresta é plantada ou utiliza-se o sistema de talhardia perpetuando o ciclo plantio/colheita das árvores (BRACELPA, 2014).

No Brasil, o eucalipto cultivado para celulose demora de seis a sete anos para ser colhido, sendo que, a principal fase de manejo que requer maior atenção é nos dois primeiros anos de cultivo devido a grande exigência nutricional para o desenvolvimento da cultura. O eucalipto é em sua maioria cultivado em áreas de baixa fertilidade natural, porém, não tolere solos raso devido possuir raízes profundas. Além disso, não exige da utilização de muitos nutrientes e defensivos agrícolas em comparação com outras culturas (GONÇALVES; BENEDETTI, 2000; PINCELLI et al., 2014).

Os sítios florestais são cultivados por meio de manejo sustentável com o objetivo de reduzir os impactos ao ambiente e gerar o desenvolvimento econômico e social das

comunidades circunvizinhas. Utilizando tecnologias avançadas de gestão e controle das florestas, as empresas de celulose e papel tendem a alcançar práticas de excelência em sustentabilidade na área ambiental de influência das empresas (SILVA; ANGELI, 2006).

Além do manejo de solo e planta, há também grandes investimentos em pesquisas direcionadas ao melhoramento genético das espécies, objetivando aumentar a produtividade das florestas plantadas e otimizar o uso das áreas de plantio. Os clones obtidos pelo cruzamento entre diferentes espécies geram árvores mais resistentes a pragas e a doenças, estiagens, solos de baixa fertilidade, com maior taxa de crescimento em altura e diâmetro e capacidade de uma maior produção de celulose tornando o setor florestal brasileiro um dos mais desenvolvidos e competitivos do mundo. Ao mesmo tempo, as florestas plantadas auxiliam na recuperação de áreas degradadas principalmente por pastagens ou em processo de desertificação (PINTO et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2013).

2.2 SOLOS DA REGIÃO DO CERRADO

Os solos da região do cerrado são antigos e altamente intemperizados, apresentam baixa fertilidade, elevada acidez, alta saturação por alumínio e baixa CTC. Nesse ecossistema, o desenvolvimento das raízes é abreviado na presença do excesso de alumínio, além disso, pode ser afetada pela deficiência de cálcio, limitando a absorção de água e nutrientes, tendo como consequência a redução da produtividade de madeira do eucalipto (COSTA et al., 2014).

As mudanças no ambiente decorrentes de práticas de manejo inadequadas podem levar ao rápido declínio do estoque de matéria orgânica do solo (MOS), a qual sua manutenção é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. No cerrado brasileiro, como nas demais regiões tropicais, a mineralização da matéria orgânica é rápida, por causa da elevada temperatura e umidade do solo durante boa parte do ano, impossibilitando uma adequada reposição de nutrientes ao solo (SOUZA et al., 2006).

Do ponto de vista físico, a conservação ou incorporação da matéria orgânica diminuem a densidade do solo e, conseqüentemente a compactação, criando poros de maior diâmetro, favorecendo a entrada de ar e a drenagem de água. Influência positivamente na estrutura do solo na sua fertilidade e por consequência no crescimento de raízes (VASCONCELOS et al., 2010).

2.3 RESÍDUOS CELULÓSICOS (LAMA DE CAL) E SUA INFLUÊNCIA NOS ATRIBUTOS DO SOLO

A indústria de papel e celulose gera diversos resíduos, em torno de 48 t de para cada 100 t de celulose produzida, deparando-se assim com problemas de ordem ambiental quanto à destinação desses resíduos (RODRIGUES et al., 2005). Um desses resíduos é a lama de cal que possui potencial para neutralizar o alumínio do solo em áreas florestais e agrícolas, suprimindo nutrientes às plantas. Nesse sentido, constituem alternativa ao uso do calcário por sua composição de natureza alcalina com CaO , CaOH , SiCO_3 , além de CaCO_3 e MgCO_3 (MEDEIROS et al., 2009).

O descarte desses resíduos no solo em plantios de eucalipto está sendo uma alternativa mais adequada, considerando especialmente a alta necessidade de calcário dos solos das regiões tropicais, comuns nas proximidades de muitas indústrias de papel e celulose. Tais solos têm alto tamponamento de pH, o que se relaciona com as condições de acidez ligadas aos baixos teores de matéria orgânica e elevado Al trocável (MEDEIROS et al., 2009). Assim, sua correção química pode ser limitada pelo elevado custo, especialmente nos locais mais distantes das distribuidoras de calcário, sendo interessante o uso de resíduos como corretivos da acidez por melhorar das condições químicas e físicas dos solos.

A lama de cal é formada predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO_3) removido no processo de clarificação das impurezas, sendo composto por carbonatos, hidróxidos e sulfetos, principalmente de cálcio derivado do processo de separação da celulose, que é extraída da madeira por meio de ataque alcalino (ALMEIDA et al., 2008).

A lama de cal possui alguns nutrientes essenciais às plantas e tem a capacidade de elevar o pH dos solos, além de possuir menor preço que os calcários comerciais, quando utilizados na mesma região de localização das unidades geradoras, tornando-se um atrativo aos produtores devido à diminuição do custo produtivo da silvicultura (ARRUDA et al., 2011). Porém, a utilização de grandes quantidades desses produtos pode, prejudicar alguns atributos do solo, em razão da presença de sódio (ALMEIDA et al., 2008).

Estudos com resíduos da indústria de celulose em plantios florestais proporcionaram os seguintes efeitos favoráveis ao solo: elevação do pH e consequente aumento na disponibilidade de alguns nutrientes, como fósforo e micronutrientes; aumento da capacidade de troca de cátions do solo; melhoria dos atributos físicos como a capacidade de retenção de água e a densidade do solo. Além de aumentar a atividade biológica do solo, acelerando a decomposição da serapilheira e a ciclagem de nutrientes (BELLOTE et al., 1998).

A aplicação de resíduo celulósico lama de cal em plantios de eucalipto é semelhante ou até superior ao fornecido pela calagem, principalmente no caso do cálcio. Dependendo da dose, tipo de resíduo e época de aplicação, é possível a substituição completa dos fertilizantes químicos pelos resíduos orgânicos celulósicos (GUERRINI; MORO, 1994).

Estes resíduos podem agir sobre os atributos físicos e químicos do solo, criando-se condições de favorecimento à produção florestal. Harrison et al. (2003) explicam que as benfeitorias da aplicação desse resíduo em ecossistemas florestais podem ser classificadas em melhoria na qualidade física, química e biológica do solo e aumento na produção de madeira se tornado viável, pois influência de forma positiva na ciclagem de nutrientes e como fator de suprimento de nutrientes aos vegetais.

2.4 CALAGEM

As espécies de *Eucalyptus* plantados no Brasil são adaptadas a baixos níveis de fertilidade e pouco sensíveis a acidez do solo, tolerando altos níveis de Al e Mn, de modo que utiliza-se o calcário dolomítico, preferencialmente, para suplementar o solo com quantidades adicionais de Ca e Mg. Utiliza-se o calcário que é o corretivo mais usado para a correção do solo, além de ser o mais disponível e o mais barato (OLIVEIRA et al., 2005).

Os solos do cerrado em sua maioria possuem pH inferior a 5,0 e o teor de alumínio está presente em quantidades elevadas, causando toxidez às árvores e também interferem na absorção de nutrientes minerais essenciais ao crescimento das plantas. A elevação do pH e a neutralização do Al podem ser obtidas com a aplicação de calcário que, além de corrigir a acidez, melhora as condições físicas do solo, estimula a sua atividade microbiana e disponibiliza alguns elementos minerais às plantas, além de fornecer Ca e Mg para as plantas (BELLOTE; NEVES, 2001).

A calagem ideal é aquela que eleva o pH, fornece Ca e Mg como nutrientes, diminui ou extingue os efeitos tóxicos do Al e Fe, suaviza a “fixação” de P, aumenta a disponibilidade do N, P, K, Ca e Mg no solo, aumenta a atividade microbiana pela decomposição da matéria orgânica, melhora os atributos físicos do solo proporcionando melhor aeração, circulação de água, favorecendo o desenvolvimento das raízes das plantas, além de aumentar a produtividade das culturas (LOPES et al., 1991).

Os resultados da calagem se refletem positivamente no aumento da CTC do solo e, segundo os benefícios da intensificação do uso de fertilizante só serão visualizados se o pH do solo estiver acima de 5,5. Deste modo, o calcário tem sido empregado para a correção da fertilidade do solo, objetivando elevar a V%, o pH e os teores de Ca e Mg e eliminar os

efeitos negativos do alumínio e manganês. De fato, a calagem é imprescindível para elevar o índice de saturação de bases ($> 60\%$) é adequada para manter o pH acima de 5,5, precipitando o alumínio e elevando os teores das bases trocáveis no solo. No entanto, a calagem excessiva pode imobilizar e/o indisponibilizar alguns micronutrientes (Zn, B, Cu, Mn e o Fe), causando sintomas de deficiência às plantas (OLIVEIRA et al., 2005).

2.5 LAMA DE CAL

A lama de cal é originada da clarificação do licor branco durante o processo de produção de celulose e é constituída predominantemente por carbonato de cálcio, podendo ser comparada a um calcário calcítico. O acúmulo desse resíduo pode ocorrer quando sua produção superar a capacidade de recuperação dos fornos de cal das indústrias de celulose (STAPPE; BALLONI, 1988).

A lama de cal é utilizada como fonte de cálcio e suplemento de nutrientes para as plantas, possui uma textura bastante fina e homogênea, e caracteriza-se por possuir alto valor de neutralização, grande reatividade e um potencial corretivo de acidez, superior a maioria dos calcários comerciais (PAIM, 2007).

Entretanto, possui teores significativos de sódio, em razão do contato com o licor de cozimento, em média de 1,5 a 2%. Embora não se constitua em elemento tóxico, o sódio possui características conhecidas como agente dispersante de argilas podendo, em grande quantidade, afetar a estrutura do solo. Sua aplicação proporciona um resultado positivo sobre os atributos químicos do solo, como a elevação do pH, o aumento do teor de Ca e da CTC, a redução na relação C/N e a redução dos níveis de alumínio. Possui a capacidade de neutralizar a acidez e possibilitar o deslocamento de nutrientes no perfil do solo, além de ser uma alternativa ao uso de calcário, uma vez que disponibiliza Ca^{2+} e Mg^{2+} e contem em sua composição corretivos da acidez como CaO, CaOH, SiCO_3 e NaOH, além de CaCO_3 e MgCO_3 (RAMOS et al., 2006; CORRÊA et al., 2007).

A aplicação de lama de cal, oriunda da fabricação de celulose e papel, tem os seguintes efeitos benéficos no solo: a) elevação do pH com consequente aumento na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo; b) aumento da capacidade de troca de cátions dos solos; c) incorporação de nutrientes minerais necessários às plantas; d) melhoria das propriedades físicas como a granulometria, capacidade de retenção de água e a densidade do solo. Além disso, a lama de cal aumenta a atividade biológica do solo acelerando a decomposição da matéria orgânica (BELLOTE et al., 1998).

2.6 OXYFERTIL

O Oxyfertil é um conceito de fertilização baseado no consumo racional de cinco elementos essenciais: cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), 100% disponíveis para as plantas, em concentrações que têm em conta as necessidades da cultura.

É um fertilizante mineral simples registrado no MAPA que possui 60% de CaO e 30% de MgO. Em reação exotérmica com água forma o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e parcialmente o hidróxido de magnésio (Mg(OH)_2) liberando na ordem de 210 cal/g de calor. Possui uma solubilidade de aproximadamente 0,8g/L (25°C) e pH (solução a 25°C) de 12,4. Sua distribuição granulométrica (antes de reação com água) é de 0 – 3 mm e a distribuição granulométrica (após reação com água) é de 0 - 0,2 mm.

2.7 A GEOESTATÍSTICA NA SILVICULTURA

Os empreendimentos florestais vêm buscando a eficiência no planejamento e gestão florestal que envolve práticas de condução dos povoamentos florestais e exigem conhecimento específico das espécies cultivadas e do sítio onde serão produzidas. Contudo, os métodos tradicionais utilizados para avaliar o desenvolvimento e a produtividade das florestas é a medida de tendência central, que geralmente é a média, além de uma medida de dispersão, como a variância, sem considerar as afinidades existentes entre as amostragens vizinhas. Deste modo, à medida que aumenta a necessidade por informações mais detalhadas de uma área de produção, concretiza-se a utilização de ferramentas aplicadas a silvicultura de precisão (PELISSARI et al., 2012).

A silvicultura de precisão representa um modelo de gerenciamento baseado na coleta e análise de dados geoespaciais e no estudo da variabilidade espacial e temporal do solo e das florestas. Assim, a partir do mapeamento das correlações existentes, diretas e/ou indiretas, entre os atributos do solo e a produtividade da cultura, pode-se efetuar a aplicação dos insumos em taxas variadas (MONTANARI, 2009), o que modifica o enfoque dado à silvicultura, pois, enquanto no sistema convencional a estudo da floresta ocorre de maneira uniforme, na silvicultura de precisão esta mesma área é abordada geograficamente ponto a ponto em fragmentos de unidades diferenciadas (PELISSARI et al., 2012), permitindo assim, operações localizadas e a melhoria na eficácia da aplicação de insumos e fertilizantes que diminuem os custos de produção e os impactos ambientais.

A silvicultura de precisão possibilita trabalhar com o auxílio de diversas tecnologias, como os sistemas de informações geográficas, sistemas de posicionamento global e o

sensoriamento remoto, com realce à geoestatística, que consiste em uma das principais ferramentas para se avaliar a variabilidade espacial (GUEDES et al., 2008), cujo uso permite obter, avaliar e modelar os dados espaciais de diversos atributos tornando possível a elaboração de mapas de krigagem que auxiliarão na identificação dos fatores que restringem o aumento da produtividade dos talhões florestais.

A silvicultura de precisão é representada pela melhoria do desenvolvimento econômico do meio rural, amparada à otimização da eficiência gerencial que determinadas áreas florestais precisam, de forma localizada no espaço. Assim, a partir do mapeamento das áreas e das correlações existentes, diretas e/ou indiretas, entre atributos do solo e a produtividade do eucalipto, pode-se efetuar a aplicação de insumos em taxas variadas. Como exemplo, nas áreas de menor produtividade de madeira, normalmente associadas aos baixos níveis de fertilidade do solo, seria destinada as maiores taxas de fertilizantes, sendo correto o inverso deste acontecimento (BARBOSA et al., 2012). A partir do georreferenciamento da área e dos dados obtidos, são editados mapas digitais de isolinhas com zonas específicas de manejo para toda a área, isolada ou conjuntamente, objetivando a aplicação final dos insumos em taxas variadas.

Os avanços tecnológicos na silvicultura por meio de uma administração georreferenciada das atividades silviculturais fundamentam-se na coleta e análise de dados geoespaciais, viabilizando intervenções localizadas na floresta, com a exatidão e precisão adequadas levando em consideração a importância de se medir a variação espacial e temporal de atributos que afetam a produtividade do eucalipto, com o objetivo de aperfeiçoar o aproveitamento de recursos naturais e amortizar os custos (CARVALHO et al., 2012).

A análise geoestatística é utilizada para o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e planta, auxiliando na escolha, locação de experimentos e interpretação dos resultados. Seu uso requer a coleta de amostras previamente planejadas, com a localização espacial exata de cada ponto amostral (MONTANARI et al., 2012).

É um método único que descreve a variabilidade espacial e abrange principalmente: o semivariograma, que é a estimativa e modelagem da estrutura espacial da variância, e a krigagem que é a predição de valores da variável regionalizada em pontos ou regiões não amostrados. Variável regionalizada é aquela que mostra as características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente casuais e as completamente determinísticas, apresentando uma aparente continuidade no espaço (VIEIRA et al., 1983; MONTANARI, 2009). Sendo que, o estudo da variabilidade espacial do solo se torna importante para o planejamento e análise das áreas florestais. Seu uso permite a elaboração de semivariogramas, que quantificam a

dependência espacial de atributos do solo, permitindo a aquisição de estimativas da propriedade do solo, em locais não amostrados, com erro mínimo (CARVALHO et al., 2012).

2.8 VARIABILIDADE ESPACIAL APLICADA À CULTURA DO EUCALIPTO E AOS SOLOS

Todo solo, em sua maioria, conservado em seu estado natural, ou seja, sob vegetação nativa, apresenta atributos físicos, tais como a permeabilidade, estrutura, densidade global e a porosidade, de forma adequada ao desenvolvimento das plantas. Nessas condições, o seu volume explorado pelas raízes é relativamente grande. À medida que ele vai sendo submetido ao uso agrícola, os atributos físicos, tem alterações desfavoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas (CARVALHO et al., 2012).

O tipo de exploração do solo para a produção florestal afeta peculiarmente alguns atributos físicos do solo. Para isso, tem sido propagado o uso de clones de eucalipto que possuam um sistema radicular vigoroso e com diferentes quantidades de fitomassa, que podem alterar os atributos físicos do solo, melhorando desta forma, a produtividade da cultura. Porém, atributos tais como a macroporosidade, microporosidade e a densidade do solo, têm sido utilizados para indicar restrições ao desenvolvimento radicular das plantas (ROSA FILHO et al., 2011). Deste modo, Barbosa et al. (2012) afirmam que a compactação do solo reduz o crescimento e desenvolvimento do eucalipto, principalmente quando o fornecimento de água e nutrientes é insuficiente, fato verificado quando as raízes se desenvolvem abundantemente sobre as camadas compactadas.

A vegetação natural do cerrado brasileiro vem gradualmente sendo substituída por culturas anuais, pastagens e reflorestamentos. Os solos do cerrado nativo revelam aceitáveis atributos físico-químicos do ponto de vista para a produção. Entretanto, a partir do momento em que são intensamente manipulados à produção, tem bruscas alterações. Deste modo, o estudo da variabilidade dos atributos do solo, mostra-se importante na interpretação de resultados analíticos com base na estrutura da sua variabilidade espacial natural, principalmente da interação entre os atributos físico-químicos do solo com o crescimento vegetal. Nos últimos anos, tem-se verificado substancial aumento de trabalhos com esse objetivo, sobretudo aqueles envolvendo a resistência do solo à penetração, a matéria orgânica e o pH do solo (LIMA et al., 2010).

A qualidade física do solo para o desenvolvimento das culturas é determinada, dentre outros fatores, pela resistência do solo à penetração das raízes, sendo um atributo que merece destaque, pois atinge diretamente o desenvolvimento da cultura do eucalipto. Contudo, a

resistência do solo à penetração geralmente é influenciada pelas condições do manejo e a intensidade de tráfego de máquinas agrícolas (ROSA FILHO et al., 2011). Dedeczek e Gava (2005) estudando a produtividade de eucalipto em Neossolo Quartzarênico averiguaram que a melhor correlação do volume de madeira foi com a resistência do solo à penetração, o que indicou a formação de camadas compactadas. Sendo que, as maiores taxas de crescimento de eucalipto ocorrem nos sítios florestais onde obteve-se os menores valores de densidade do solo e resistência do solo à penetração de raízes e maiores valores de porosidade total, macroporosidade e disponibilidade de água (LIMA et al., 2010).

O conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam a produção e a produtividade dos povoamentos florestais permite realizar intervenções precisas, para obter o máximo rendimento de acordo com as potencialidades do solo e dos demais fatores ambientais locais (PELISSARI et al., 2014).

O estudo da variabilidade espacial dos nutrientes no solo é uma fase importante, pois a utilização dos semivariogramas permite planejar desenhos ótimos de amostragem do solo, no intuito de capturar a variabilidade em escalas espaciais, sendo que, essa variabilidade não pode ser igual entre si, ou seja, alguns nutrientes necessitam de números maiores de amostras que outros, para que se possa conhecer seus comportamentos em relação a uma determinada área (CARVALHO et al., 2012). Com o estudo desses atributos de solo e planta de uma propriedade florestal é possível a obtenção de mapas de fertilidade e o estabelecimento de estratégias de aplicação para a aplicação de insumos e fertilizantes.

Para Machado et al. (2004), o estudo da variabilidade espacial na produção florestal pode ser compreendido como uma etapa importante do seu gerenciamento, podendo ser efetuado pelas técnicas da silvicultura de precisão, uma vez que, logo que as informações obtidas por meio do mapeamento do solo e da produtividade do eucalipto podem ser utilizadas para uma série de análises e intervenções na área. Por meio da coletânea de mapas de solo e produtividade é possível identificar como a variabilidade ocorre em termos de distribuição espacial, temporal e em termos quantitativos nos sítios florestais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ORIGEM DOS DADOS

O trabalho foi desenvolvido no ano de 2014, na área experimental da Fazenda Bom Retiro de propriedade da Eldorado Brasil Celulose localizada no município de Três Lagoas, MS, na latitude 20°27' S e na longitude 52°29' W (Figura 1), com precipitação média anual de 1300 mm e temperatura média de 23,7°C. O tipo climático é A_w, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo no qual as malhas experimentais foram instaladas está classificado como Neossolo Quartzarênico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013).

Figura 1 - Vista aérea da área de estudo.



Fonte: Google Earth (2015).

3.2 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO ESTUDADO

O solo estudado vinha há aproximadamente 50 anos sendo cultivado com pastagem. No quarto trimestre do ano de 2013 a área foi arrendada pela Eldorado Brasil Celulose e, em janeiro de 2014 foi realizado o manejo do solo com o auxílio de máquinas com lâmina para a retirada dos arbustos existentes e enleiramento, grades pesadas e niveladoras, além da construção de terraços e bacias de contenção de água pluvial.

Em março de 2014, foi realizado a correção do solo com a utilização de 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico e posteriormente o plantio das mudas de *Eucalyptus grandis* clone E13 em um espaçamento de 3,0 x 2,5 m (entre linhas e entre plantas).

No dia 24 de junho de 2014 foi coletado solos da área visando a caracterização físico-química, coletando-se amostras deformadas e indeformadas em duas profundidades (0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m), destinadas às análises físicas e químicas, sendo processadas conforme (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA, 2011; STOLF, 1991; RAIJ et al. 2001). Para tanto, os locais de coleta das amostras simples foram determinados de forma aleatória nas entrelinhas do eucalipto.

Assim, os atributos físicos do solo determinados foram: macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT), densidade no solo (DS), resistência do solo à penetração (RP), umidade gravimétrica (UG), umidade volumétrica (UV), teores de areia, silte e argila (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise inicial de alguns atributos físicos do solo estudado

Atributos físicos ^(a)										
Profundidade	Porosidade			DS	Resistência à penetração/umidade			Textura		
	MA	MI	PT		RP	UG	UV	Areia	Silte	Argila
	-----m ³ m ⁻³ -----				g cm ⁻³	MPa	kg kg ⁻¹	m ³ m ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----	
m										
0 – 0,20	-	-	-	-	1,32	0,045	-	856,90	29,10	114,00
0,20 – 0,40	1,93	0,86	2,79	1,48	2,55	0,044	0,065	854,20	31,62	114,18

^(a) MA, MI, PT, DS, RP, UG e UV são respectivamente: macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, umidade volumétrica.

As análises químicas de rotina para fins de fertilidade foram: teor de matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), teores de fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H⁺+Al³⁺), alumínio (Al³⁺), valores de soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise inicial de alguns atributos químicos do solo estudado

Profundidade	Atributo químico ^(a)											
	Complexo sortivo											
	MO	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	SB	CTC	V	m
	g dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----							-----%-----	
0 – 0,20	12	4,1	8	0,9	1	2	36	8	3,9	39,9	10	67
0,20 – 0,40	14	4,1	4	0,9	2	0	26	12	2,9	20,9	10	81

^(a) MO, pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺+Al³⁺, Al³⁺, SB, CTC, V e m são respectivamente: matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, índice de saturação por bases e índice de saturação por alumínio.

3.3 IMPLANTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS MALHAS EXPERIMENTAIS DE CAMPO

Os tratamentos constituíram-se de duas fontes de cálcio, sendo o calcário dolomítico e o composto lama de cal + oxyfertil e de uma testemunha sem aplicação de corretivos. Na tabela 3 estão discriminadas as porcentagens de óxido de cálcio e magnésio de cada produto.

Tabela 3 - Características dos produtos utilizados

	CaO	MgO
	-----%-----	
Calcário Dolomítico	30	12
Lama de Cal	24	0,1
Oxyfertil	60	30

O Oxyfertil® 6030F é um fertilizante mineral simples registrado no MAPA que em contato com água forma uma reação exotérmica formando hidróxidos de Ca(OH)_2 e parcialmente de Mg(OH)_2 , liberando na ordem de 210 cal/g de calor. Possui solubilidade de aproximadamente 0,8 g/L (25°C) com pH (solução a 25°C) de 12,4. Fisicamente o produto possui uma distribuição granulométrica (antes de reação com água) de 0-3 mm e distribuição granulométrica (após reação com água) de 0-0,2 mm.

Figura 2 - Distribuição do corretivo no solo na área de eucalipto em Três Lagoas - MS

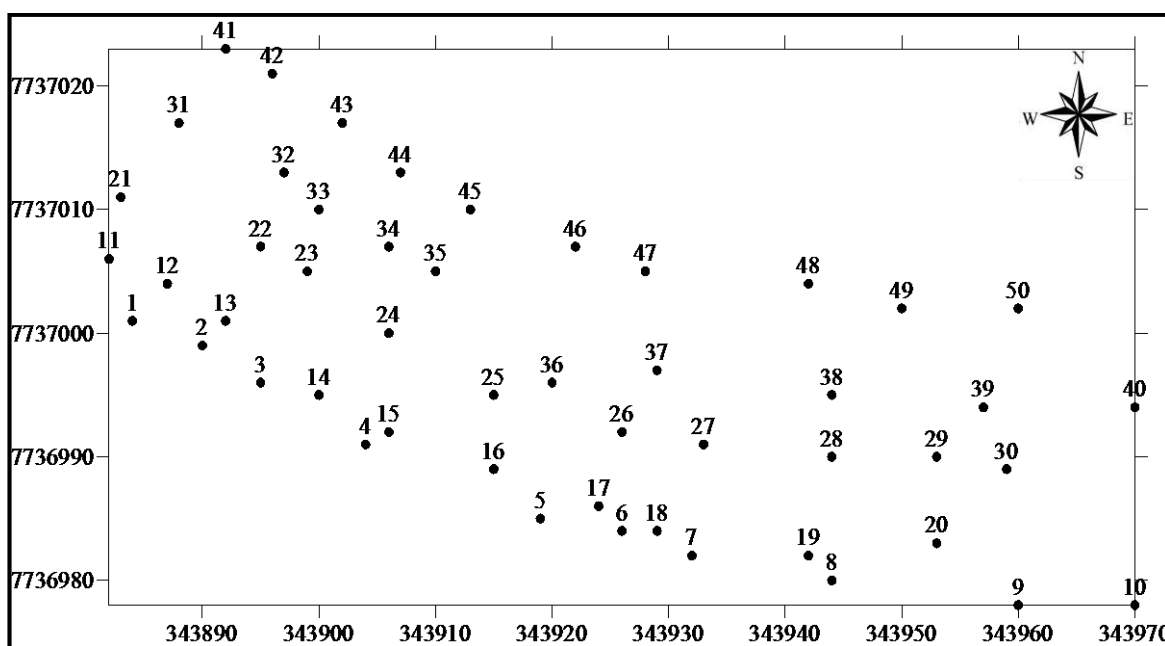


Fonte: Elaboração do próprio autor

No dia 25 de junho de 2014, cada malha experimental recebeu 2 Mg ha⁻¹ de corretivo. Sendo a primeira malha recebendo 2 Mg ha⁻¹ de calcário e a segunda 2 Mg ha⁻¹ do composto lama de cal + oxyfertil (Figura 2). Esse composto possuía 60% de lama de cal e 40% de oxyfertil.

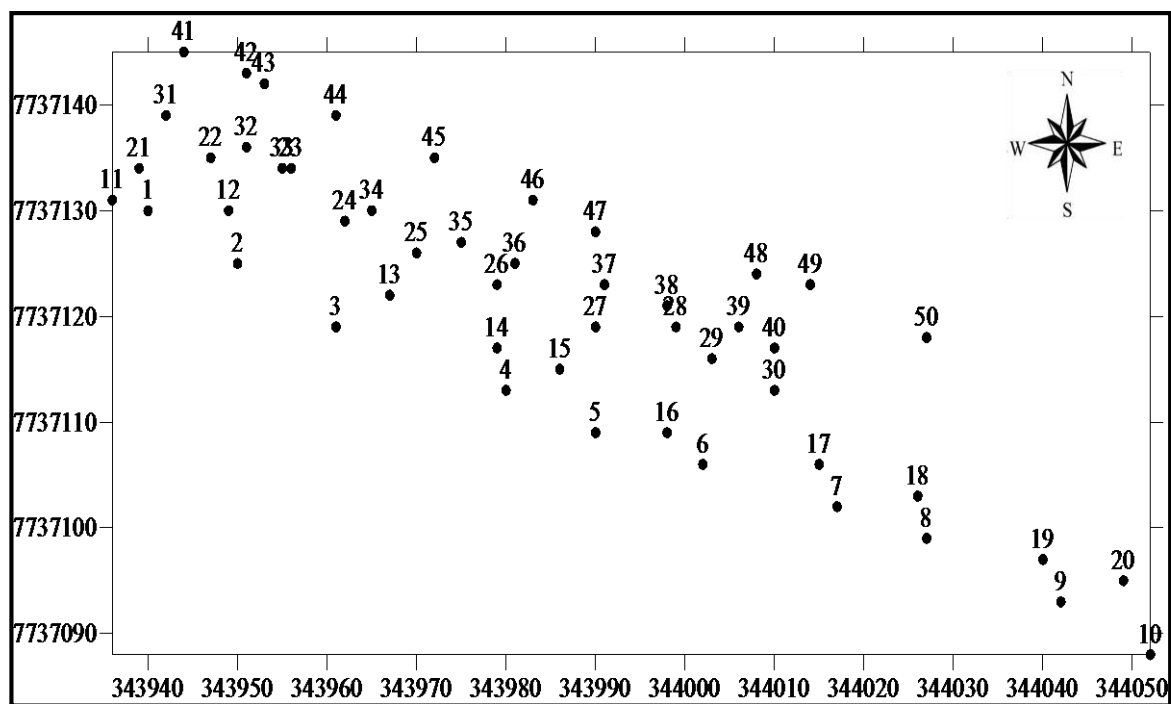
Foram definidas as direções x e y do sistema de coordenadas cartesianas e de acordo com o espaçamento das plantas de eucalipto efetuou-se o estaqueamento global das malhas experimentais. Cada malha experimental foi constituída de cinco transeções, contendo 50 pontos amostrais que seguiu o plantio de eucalipto em linhas, sendo que, o eucalipto foi plantado em linha formando curva de nível para uma melhor conservação do solo. O espaçamento amostral foi de 7,5 x 3 m. As Figuras 3, 4 e 5 representam o esquema das malhas experimentais de campo nos tratamentos testemunha, calcário e lama de cal + oxyfertil, respectivamente.

Figura 3 - Esquema da malha experimental de campo da Testemunha.



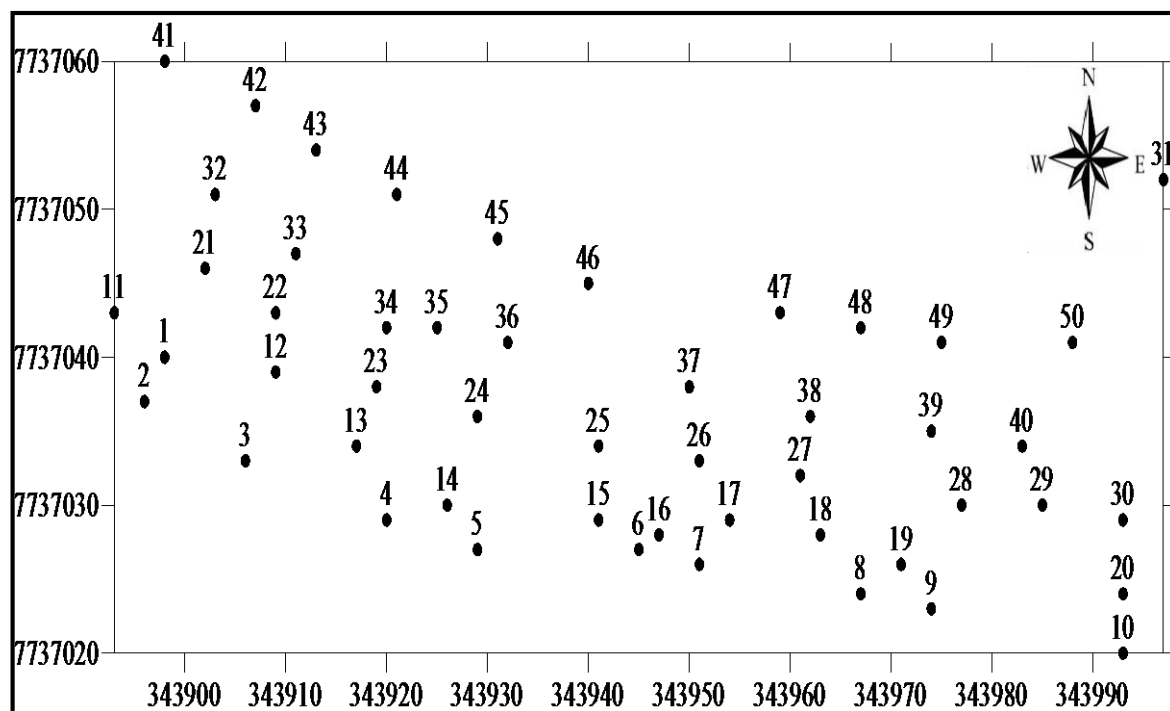
Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 4 - Esquema da malha experimental do calcário.



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 5 - Esquema da malha experimental de campo da lama de cal + oxyfertil.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.4 COLETA E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

Os atributos de solo e da planta foram coletados individualmente no entorno de cada ponto amostral ocorreu no dia 16 de setembro de 2014, três meses após a aplicação dos corretivos e seis meses após o plantio das mudas de eucalipto. A etapa laboratorial das análises físicas e químicas do solo foi realizada entre os meses de setembro e outubro de 2014. Todas as análises foram efetuadas no Laboratório de Física e Fertilidade do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP.

Os atributos do solo determinados foram resistência do solo à penetração (RP), umidade gravimétrica (UG), teores de areia, silte, argila, fósforo (P), matéria orgânica (MO), valores de potencial hidrogeniônico (pH), teores de potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), todos coletados nas profundidades de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m.

A resistência à penetração (RP) foi avaliada com o penetrômetro de impactos e calculada segundo expressão de (STOLF, 1991). As determinações dos atributos físicos UG de areia, silte e argila foram conforme normas da (EMBRAPA, 2011).

O solo para a determinação da fertilidade foi coletado indeformado, com um trado de caneca e posteriormente realizada a terra fina seca ao ar (TFSA). A metodologia utilizada para determinar os atributos químicos foi àquelas determinadas por (RAIJ et al., 2001).

Os atributos dendrométricos avaliados foram a altura (ALT) e diâmetro à altura do peito (DAP). A coleta de altura das árvores foi realizada com uma régua graduada de 5 m. O DAP foi coletado a 1,30 m de altura do solo com o auxílio de um paquímetro digital.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise estatística descritiva. Utilizando-se o software o SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997) calculou-se a média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria. Seguidamente foram identificados os pontos anômalos (*outliers*), conforme identificação no gráfico de ramos e folhas, efetuando-se a substituição deles pelo valor médio dos circunvizinhos presentes na malha geoestatística. Foi efetuada a análise da distribuição de frequência dos dados. Desta forma, para testar a hipótese de normalidade dos atributos, foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 1%. Nele a estatística W testa a hipótese nula, a qual julga ser a amostra proveniente de uma população com distribuição normal.

Foi realizado o teste F para estudar a significância estatística, para os atributos da planta e do solo, entre os três tratamentos empregados (testemunha, calcário e lama de cal + oxyfertil) utilizando o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

Foi montada a matriz de correlação, visando efetuar as regressões lineares para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados (solo e planta) para cada tratamento. Por outro lado, para cada profundidade de solo estudado, assim como para todos conjuntamente, foram efetuadas as regressões lineares múltiplas entre as variáveis independentes (solo) e as dependentes (planta) objetivando selecionar aquelas que, nos devidos casos, proporcionariam as melhores relações entre causa e efeito. Para os atributos que não apresentaram dependência espacial, isto é, na ausência de estacionariedade, retirou-se a tendência dos dados por meio da técnica da regressão múltipla polinomial, conforme preceitos de (WEBSTER, 2000). Portanto, para cada atributo foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com bases nos pressupostos de estacionariedade da hipótese intrínseca, usando o pacote Gama Design Software (GS+, 2004). Foram ajustados semivariogramas simples a todos os atributos estudados da planta e do solo.

Os ajustes dos semivariogramas simples, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: a) o maior coeficiente de determinação (r^2); b) a menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR), e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem. Para cada atributo, foram estimados o efeito pepita (C_0), o alcance (A_0), o patamar ($C_0 + C$) e a análise do avaliador da dependência espacial (ADE).

Para a confecção dos mapas de krigagem utilizou-se o conjunto de softwares Gamma Design Software 7.0 (GS+, 2004) e o Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

4.1.1 Testemunha

4.1.1.1 Variabilidade dos atributos

Na Tabela 4 está apresentada a análise descritiva dos atributos estudados para a malha testemunha. De acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$). Portanto, a altura (ALT) apresentou alta variabilidade com coeficiente de variação de 26,58% e o diâmetro altura do peito (DAP) apresentou coeficiente de variação muito alto, de 34,63%, evidenciando uma alta heterogeneidade das plantas avaliadas da área de estudo.

A variabilidade dos teores de areia1, areia2, argila1, argila2 e pH2 foram baixas (Tabela 4), com coeficientes de variação entre 0,19 - 7,21%. Para UG1, silte1, silte 2, MO1, MO2, pH1, CTC1 e CTC2 foram tidas como médios coeficientes de variação entre 10,97 - 19,92%. O silte apresentou CV maior que as frações areia e argila, ressalta-se que esta maior variabilidade para o silte pode estar relacionada com sua maior mobilidade no solo, e deposição na planície. Para Santos et al. (2012), concorrem para esta média variabilidade dos atributos, o manejo diversificado do solo com adoção de diferentes implementos, e os processos geomorfológicos de transporte e sedimentação, que propiciam uma homogeneização maior das percentagens de areia e argila.

Apenas a UG2 apresentou coeficiente de variação alto de 20,10%. Enquanto que os coeficientes de variação para RP1, RP2, P1, P2, K1, K2, Ca1, Ca2, Mg1, Mg2, Al1, Al2, SB1 e SB2 foram avaliadas como muito altos entre 35,38 - 123,07. Para os atributos químicos do solo, Corá et al. (2004), salienta que, coeficientes de variação muito alto acontece devido à ocorrência da concentração de nutrientes em alguns locais e não em outros, situação ocorrida nessa investigação, porquanto a fertilização química do neossolo contribuiu para elevar os teores de nutrientes em relação ao cerrado, aumentando o CV e a heterogeneidade.

4.1.1.2 Distribuição de frequência dos atributos

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média. Em contrapartida, será pela mediana, caso possua distribuição de frequência do tipo tendendo a normal ou indeterminada (DALCHIAVON et al., 2011).

Tabela 4 - Análise descritiva de atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha Testemunha

Atributos ^(a)	Medidas estatísticas descritivas									
	Valor				Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
Atributos de Planta										
ALT (m)	3,24	3,32	1,40	4,70	0,86	26,58	-0,388	-0,55	0,0501	NO
DAP (m)	0,022	0,023	0,005	0,040	0,007	34,63	-0237	-0,17	0,8889	NO
Atributos Físicos do Solo										
RP1 (MPa)	0,94	0,69	0,55	2,64	0,56	59,92	2,24	1,77	0,0001	IN
RP2 (MPa)	3,88	3,62	1,49	8,40	1,38	35,38	2,11	1,30	0,0007	IN
UG1 (kg kg ⁻¹)	0,03	0,03	0,02	0,04	0,006	19,92	-0,61	-0,38	0,1706	NO
UG2 (kg kg ⁻¹)	0,04	0,04	0,02	0,06	0,008	20,10	1,17	0,69	0,0573	NO
Areia1 (g kg ⁻¹)	894,5	894,25	898,50	912,00	7,99	0,89	0,05	0,28	0,0001	IN
Areia2 (g kg ⁻¹)	887,1	886,75	891,00	907,00	7,24	0,19	-0,20	0,59	0,0515	NO
Silte1 (g kg ⁻¹)	33,03	34,15	21,20	39,80	4,77	14,46	-0,39	-0,78	0,0018	IN
Silte2 (g kg ⁻¹)	32,63	33,20	20,60	38,00	3,89	14,92	1,35	-1,09	0,0037	IN
Argila1 (g kg ⁻¹)	72,00	72,70	60,20	79,30	5,19	7,21	-0,62	-0,54	0,0196	IN
Argila2 (g kg ⁻¹)	80,57	81,80	70,50	87,10	5,01	6,22	-0,92	-0,58	0,0010	IN
Atributos Químicos do Solo										
P1 (mg dm ⁻³)	2,30	2,00	1,00	5,00	0,84	36,48	1,39	0,88	0,0001	IN
P2 (mg dm ⁻³)	1,38	1,00	1,00	4,00	0,64	46,04	4,85	1,96	0,0001	IN
MO1 (mg dm ⁻³)	11,30	11,00	8,00	16,00	1,62	14,33	1,73	1,05	0,0003	IN
MO2 (mg dm ⁻³)	9,66	9,00	8,00	13,00	1,26	12,99	0,64	0,94	0,0001	IN
pH1	4,28	4,10	3,80	5,50	0,48	11,22	0,55	1,28	0,0001	IN
pH2	4,06	4,00	3,90	4,90	0,23	5,62	4,06	1,94	0,0001	IN
K1 (mmolc dm ⁻³)	0,76	0,70	0,10	1,90	0,39	50,78	1,54	1,26	0,0001	IN
K2 (mmolc dm ⁻³)	0,62	0,50	0,20	1,60	0,33	53,49	3,27	1,88	0,0001	IN
Ca1 (mmolc dm ⁻³)	4,88	3,00	1,00	27,00	6,01	123,07	4,79	2,24	0,0001	IN
Ca2 (mmolc dm ⁻³)	2,78	1,00	1,00	15,00	3,22	115,66	5,01	2,28	0,0001	IN
Mg1 (mmolc dm ⁻³)	4,64	3,00	1,00	21,00	4,69	101,16	3,11	1,86	0,0001	IN
Mg2 (mmolc dm ⁻³)	2,22	2,00	1,00	8,00	1,66	74,65	4,68	2,07	0,0001	IN
Al1 (mmolc dm ⁻³)	10,14	12,00	0,00	17,00	5,54	54,60	-0,85	-0,75	0,0001	IN
Al2 (mmolc dm ⁻³)	11,94	14,00	0,00	16,00	4,67	39,12	0,97	-1,40	0,0001	IN
SB1 (mmolc dm ⁻³)	10,84	6,40	2,40	52,50	11,66	107,48	3,88	2,04	0,0001	IN
SB2 (mmolc dm ⁻³)	5,58	3,50	2,50	22,40	4,76	85,26	4,27	2,13	0,0001	IN
CTC1 (mmolc dm ⁻³)	35,89	34,95	24,50	56,70	6,08	16,93	1,88	1,04	0,0034	IN
CTC2 (mmolc dm ⁻³)	30,96	30,40	25,50	43,10	3,40	10,97	2,58	1,32	0,0010	IN

^(a) ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO e IN respectivamente do tipo normal e indeterminada.

Portanto, os atributos ALT e DAP apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, com coeficientes de assimetria negativa de -0,55 e -0,17, respectivamente (Tabela 4). Os coeficientes de curtose foram negativos de -0,388 e -0,237. Independentemente de tais coeficientes, estes atributos foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que suas respectivas probabilidades foram de 0,0501 e 0,8889, ou seja, com distribuição de frequência normal. Esses atributos obtiveram

um padrão definido como normal devido à uniformidade do eucalipto por ser um clone, favorecendo que o mesmo apresente crescimento e/ou desenvolvimento uniformes.

Os atributos UG1, UG2 e Areia2 apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, portanto, as respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores médios, com coeficientes de assimetria positiva entre 0,59 e 0,69, assim como negativa entre -0,38 e -0,29 (Tabela 4). O coeficiente de curtose positivo foi de 1,17, assim como as negativas entre -0,79 e -0,20, sendo que todos estes coeficientes foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que a respectiva probabilidade variou entre 0,0515 e 1,706 com distribuição de frequência do tipo normal.

Os atributos RP1, RP2, Areia1, Areia2, Silte1, Silte2, Argila1, Argila2, P1, P2, MO1, MO2, pH1, pH2, K1, K2, Ca1, Ca2, Mg1, Mg2, Al1, Al2, SB1, SB2, CTC1 e CTC2, apresentaram distribuição de frequência do tipo indeterminada, portanto, as respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores da mediana. Tais atributos possuem coeficientes de assimetria positiva entre 0,28 e 2,28, assim como negativa entre -1,40 e -0,38. Os coeficientes de curtose positiva ficaram entre 0,05 e 5,01, assim como as negativas entre -0,92 e -0,20, sendo que todos estes coeficientes não foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que a respectiva probabilidade variou entre 0,0001 e 0,0196 (Tabela 4). A não normalidade da maioria dos atributos do solo avaliados pode ser justificada pela heterogeneidade do solo e das diferentes coberturas vegetais existentes anteriormente a do eucalipto.

Silva Neto et al. (2011) estudando atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de pastagem, também encontraram na maioria dos atributos estudados distribuição de frequência do tipo indeterminado com coeficiente de assimetria positivo entre 0,09 e 0,72 e negativo -0,05 e, coeficiente de curtose positivo entre 0,07 e 0,24 e negativo entre -1,84 e -0,31. Tal fato ocorre devido não haver uma distribuição homogênea dos fertilizantes do solo, onde a maioria são lixiviados rapidamente devido os Neossolos possuírem baixa capacidade de troca catiônica e baixos teores de MO e argila.

4.1.1.3 Valores médios dos atributos estudados

Os valores médios encontrados para ALT e DAP foram de 3,24 e 0,022 m, respectivamente. De acordo a Gomes e Paiva (2004) a altura das plantas e o diâmetro à altura do peito são muito importantes, porém não podem ser avaliados isoladamente para determinar a qualidade das plantas e a capacidade de sobrevivência no campo.

Os valores médios para os atributos UG1 e UG2 foram de 0,03 e 0,04 kg kg⁻¹; de 887,17 g kg⁻¹, respectivamente de Areia2 e de 26,04 mmolc dm⁻³ para H+Al1. Enquanto os valores medianos foram para RP1 e RP2 (0,69; 362 MPa), Areia1 (894,25 g kg⁻¹), Silte1 e Silte2 (34,15; 33,20 g kg⁻¹), Argila1 e Argila2 (72,70; 81,80 g kg⁻¹), P1 e P2 (2,00; 1,00 mg dm⁻³) baixo teores, MO1 e MO2 (11,00; 9,00 mg dm⁻³) baixo teores, pH1 e pH2 (4,10; 4,00) altos valores, K1 e K2 (0,70; 050 mmolc dm⁻³) teores muito baixos, Ca1 e Ca2 (3,00; 1,00 mmolc dm⁻³) baixos teores, Mg1 e Mg2 (3,00 e 2,00 mmolc dm⁻³) baixos teores, Al1 e Al2 (12,00; 14,00 mmolc dm⁻³), SB1 e SB2 (6,40; 3,50 mmolc dm⁻³) teores muito baixo e, CTC1 e CTC2 (34,95; 30,40 mmolc dm⁻³) preconizados por Raij (2011).

Para Gonçalves (1995), os teores de macronutrientes para o P, K, Ca e Mg estão abaixo do ideal para um bom desenvolvimento da cultura do eucalipto. Segundo o mesmo, o teor ideal de P seria de 9 - 13 mg dm⁻³, K de 0,9 - 1,3 mg dm⁻³, Ca de 6 - 10 mg dm⁻³ e Mg de 3,5 - 5,0 mg dm⁻³. Porém, os valores da mediana para P corroboram com os avaliados por Silva Neto et al. (2013) que foi de 0,92 mg dm⁻³ em um Neossolo sob capim marandu sem nenhum tratamento no solo. Para a MO, os valores estão abaixo do ideal (5%) preconizado por Raij et al. (2011), sendo que tal fato pode ser explicado devido o solo estar exposto e o eucalipto estar com pequeno porte (6 meses de idade). Os valores de pH encontrados foram semelhantes àqueles encontrados por Carneiro et al. (2009) que estudaram um Neossolo Quartzarênico de Cerrado e obtiveram valores de 4,9 e 4,7 nas duas camadas estudadas.

4.1.2 Calcário

4.1.2.1 Variabilidade dos atributos

Na Tabela 5 está apresentada a análise descritiva dos atributos estudados para o tratamento com calcário. A altura (ALT) e o diâmetro à altura do peito (DAP) apresentaram alta variabilidade com coeficientes de variação de 20,14 e 20,14%, respectivamente.

A variabilidade dos teores de Areia1, Areia2, Argila1, MO2, valores de pH1 e pH2 foram baixo (Tabela 5), com coeficientes de variação entre 0,77 - 9,38% corroborando com os resultados verificados por Maciel et al. (2015), avaliando os atributos químicos de um Latossolo franco arenoso após aplicação de resíduo da extração de celulose, que encontraram baixa variabilidade para MO e pH sendo respectivamente estas de 5,0 e 3,0%. Para RP1, UG2, Argila2, MO1, e CTC2 foram médios os coeficientes de variação entre 10,21 e 19,60%. Apenas para a RP2, UG1, P1, P2, K1, K2 e CTC1 os coeficientes de variação foram altos (entre 24,30 e 29,75%). O coeficiente de variação para Silte1, Silte2, Ca1, Ca2, Mg1, Mg2, Al1, Al2, SB1 e SB2 foram muito altos (entre 30,98 - 76,53 %). Os atributos P, K e CTC

diferiram daqueles encontrados por Maciel et al. (2015), que encontraram coeficientes de variação médio de 19, 13 e 12%, respectivamente.

Tabela 5 - Análise descritiva de atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha sob aplicação de Calcário

Medidas estatísticas descritivas										
Atributos ^(a)	Valor				Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
<i>Atributos de planta</i>										
ALT (m)	3,43	3,50	1,90	4,40	0,69	20,14	-0,62	-0,59	0,0090	IN
DAP (m)	0,030	0,031	0,006	0,042	0,0007	20,14	-0,62	-0,59	0,0090	IN
<i>Atributos Físicos do Solo</i>										
RP1 (MPa)	0,60	0,55	0,55	0,97	0,10	16,32	4,42	2,20	0,0001	IN
RP2 (MPa)	2,87	2,77	1,06	5,00	0,82	28,57	0,23	0,30	0,6210	NO
UG1 (kg kg ⁻¹)	0,03	0,02	0,01	0,04	0,006	25,71	-0,13	0,69	0,0180	IN
UG2 (kg kg ⁻¹)	0,03	0,03	0,02	0,04	0,004	14,46	-0,27	0,10	0,8459	NO
Areia1 (g kg ⁻¹)	903,99	904,75	880,50	927,50	10,25	1,13	-0,26	-0,13	0,9421	NO
Areia2 (g kg ⁻¹)	900,10	900,50	870,00	921,00	12,09	1,34	-0,62	-0,18	0,3799	NO
Silte1 (g kg ⁻¹)	28,96	29,15	10,30	48,60	9,11	31,45	-0,64	0,14	0,6604	NO
Silte2 (g kg ⁻¹)	28,06	26,75	12,30	49,20	7,70	30,98	-0,72	0,24	0,2897	NO
Argila1 (g kg ⁻¹)	67,05	69,10	58,6	75,50	3,95	5,89	-0,54	-0,35	0,2342	NO
Argila2 (g kg ⁻¹)	71,84	68,50	57,6	89,60	7,34	10,21	-0,05	-0,19	0,7879	NO
<i>Atributos Químicos do Solo</i>										
P1 (mg dm ⁻³)	2,72	2,00	1,00	5,00	0,82	29,75	0,05	0,56	0,0001	IN
P2 (mg dm ⁻³)	2,04	2,00	1,00	4,00	0,57	27,94	2,68	0,69	0,0001	IN
MO1 (mg dm ⁻³)	11,14	11,00	9,00	14,00	1,16	10,42	0,47	0,86	0,0001	IN
MO2 (mg dm ⁻³)	9,98	10,00	9,00	12,00	0,94	9,38	-0,03	0,82	0,0001	IN
pH1	4,53	4,00	3,90	5,40	0,77	0,77	-0,75	0,29	0,0185	IN
pH2	4,31	4,00	380	5,10	7,12	7,12	0,20	0,82	0,0011	IN
K1 (mmol _c dm ⁻³)	0,78	0,80	0,40	1,13	24,30	24,30	1,06	0,71	0,0025	IN
K2 (mmol _c dm ⁻³)	0,71	0,70	0,30	1,20	0,20	28,51	-0,34	0,47	0,0283	TN
Ca1 (mmol _c dm ⁻³)	11,74	11,50	1,00	38,00	8,98	76,53	0,71	0,91	0,0021	IN
Ca2 (mmol _c dm ⁻³)	6,06	5,00	1,00	18,00	4,43	73,15	0,60	1,01	0,0005	IN
Mg1 (mmol _c dm ⁻³)	9,46	9,00	1,00	29,00	6,76	71,42	1,02	1,05	0,0011	IN
Mg2 (mmol _c dm ⁻³)	4,94	4,00	1,00	14,00	3,27	66,25	0,88	1,06	0,0003	IN
Al1 (mmol _c dm ⁻³)	6,26	6,00	0,00	14,00	4,37	69,80	-1,13	0,37	0,0011	IN
Al2 (mmol _c dm ⁻³)	8,52	8,00	1,00	15,00	3,93	46,12	-1,14	-0,07	0,0249	TN
SB1 (mmol _c dm ⁻³)	20,74	21,15	2,60	55,80	13,52	65,17	-0,03	0,62	0,0156	IN
SB2 (mmol _c dm ⁻³)	11,72	10,20	2,40	32,80	7,44	63,47	0,59	0,95	0,0029	IN
CTC1 (mmol _c dm ⁻³)	41,09	40,20	20,60	70,80	11,14	27,10	0,32	0,77	0,0169	IN
CTC2 (mmol _c dm ⁻³)	31,41	30,25	23,40	48,80	6,16	19,60	0,94	1,07	0,0011	IN

^(a) ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO e IN respectivamente do tipo normal e indeterminada.

4.1.2.2 Distribuição de frequência dos atributos

Os atributos ALT e DAP apresentaram distribuição de frequência do tipo indeterminada, com coeficientes de assimetria negativa de -0,59 (Tabela 5). O coeficiente de curtose negativo foi de -0,62 e -0,237, respectivamente. Contudo, e independentemente de tais

coeficientes, os dados desses atributos não foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que suas respectivas probabilidades foram de 0,0090; 0,0090 e 0,0450; ou seja, distribuição de frequência indeterminada e tendendo a normal.

Os atributos RP2, UG2, Areia1, Areia2, Silte1, Silte2, Argila1 e Argila2 apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, portanto, as respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores médios, com coeficientes de assimetria positivo entre 0,10 e 0,30, assim como negativo entre -0,35 e -0,13 (Tabela 5). Os coeficientes de curtose e assimetria mostram que é possível assumir que os dados seguem distribuição normal de probabilidade. Com efeito, o coeficiente de assimetria deve se aproximar de 0, enquanto o de curtose deve ser próximo de 3. Nota-se que, para todas as variáveis analisadas, os valores de tais coeficientes se aproximaram dos padrões requeridos. O coeficiente de curtose positivo foi de 0,23, assim como os negativos entre -0,72 e -0,05, sendo que todos estes coeficientes foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade, uma vez que a respectiva probabilidade variou entre 0,2342 e 0,9421 com distribuição de frequência do tipo normal.

Os atributos de solo K2 e Al2 apresentaram distribuição de frequência tendendo a normal, sendo que deverão ser representados pelos valores medianos, com coeficientes de assimetria positivo de 0,47, assim como negativo de -0,07 (Tabela 5). Os coeficientes de curtose negativos ficaram entre -1,14 e -0,34, sendo que estes coeficientes não foram significativos a 5% de probabilidade uma vez que variaram entre 0,0249 e 0,0283 com distribuição de frequência do tipo tendendo a normal.

Os atributos RP1, UG1, P1, P2, MO1, MO2, pH1, pH2, K1, Ca1, Ca2, Mg1, Mg2, Al1, SB1, SB2, CTC1 e CTC2 apresentaram distribuição de frequência do tipo indeterminada, portanto, as respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores da mediana (Tabela 5). Os atributos apresentaram coeficientes de assimetria positiva entre 0,29 e 2,20. Enquanto que os coeficientes de curtose positivos ficaram entre 0,05 e 4,42, assim como os negativos entre -1,13 e -0,03, sendo que todos estes coeficientes não foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que a respectiva probabilidade variou entre 0,0001 e 0,0185, ou seja, distribuição de frequência do tipo indeterminada.

4.1.2.3 Valores médios dos atributos estudados

Os valores medianos encontrados para ALT e DAP foram de 3,50 e 0,031 m, respectivamente. Os valores médios encontrados para os atributos RP2 foi de (2,87 MPa),

UG2 (0,03 kg kg⁻¹), Areia1 e Areia2 (903,99; 900,10 g kg⁻¹), Silte1 e Silte2 (28,96; 28,06 g kg⁻¹) e, Argila1 e Argila2 (67,05; 71,84 g kg⁻¹). Teores estes de granulometria semelhantes aqueles encontrados por Sales et al. (2010), que avaliaram a qualidade física de um neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso e encontraram teores de areia de 9,20 g kg⁻¹, silte de 37 g kg⁻¹ e argila 43 g kg⁻¹ na camada de 0,00-0,20 m.

Os valores medianos encontrados para RP1 foi de (0,55 MPa), UG1 (0,02 kg kg⁻¹), P1 e P2 (2,00; 2,00 mg dm⁻³), MO1 e MO2 (11,00; 10,00 mg dm⁻³), pH1 e pH2 (4,00; 4,00), K1 e K2 (0,80; 0,70 mmolc dm⁻³), Ca1 e Ca2 (11,50; 5,00 mmolc dm⁻³), Mg1 e Mg2 (9,00; 4,00 mmolc dm⁻³), Al1 e Al2 (6,00; 8,00 mmolc dm⁻³), SB1 e SB2 (21,15; 10,20 mmolc dm⁻³) e, CTC1 e CTC2 (40,20; 30,25 mmolc dm⁻³), sendo estes teores inferiores àqueles preconizados por Gonçalves (1995), que a cultura do eucalipto necessita para um bom desenvolvimento, sendo que o ideal dos teores de macronutrientes para o P, K, Ca e Mg seriam de 9-13; 0,9-1,3; 6-10 e 3,5-5,0 mg dm⁻³, respectivamente.

Porém, Maciel et al. (2015) avaliando os teores químicos em um Latossolo Vermelho franco arenoso na profundidade de 0,00 – 0,10 m observaram teores diferentes para os atributos químicos do solo quando aplicado 1 t ha⁻¹ de calcário. Obtiveram teores de P e MO de 3 e 13 mg dm⁻³, respectivamente e valor de pH 5,0, sendo esses teores maiores do que os encontrados na área experimental com eucalipto. Porém, encontraram teores inferiores para K, Ca, Mg, Al e CTC de 0,5; 10,0; 4,0; 1,0 e 31,5 mmolc dm⁻³, respectivamente.

4.1.3 Lama de Cal + oxyfertil

4.1.3.1 Variabilidade dos atributos

Na Tabela 6 consta a análise descritiva dos atributos estudados para o tratamento lama de Cal + oxyfertil. A altura (ALT) apresentou média variabilidade com coeficiente de variação de 18,23%. O diâmetro altura à do peito (DAP) apresentou alta variabilidade com coeficiente de variação de 23,45%.

A variabilidade da Areia1, Areia 2, Argila1, Argila2, MO2, pH2 e CTC2 foram baixa (Tabela 6), com coeficientes de variação entre 0,73 e 8,59%, isso pode ter acontecido devido à homogeneidade da granulometria na área estudada. Para RP2, UG1, UG2, Silte1, Silte2, MO1, pH1 e CTC1 apresentaram médios coeficiente de variação entre 10,68 e 19,52%. Porém os atributos RP1, P1 e P2 apresentaram coeficientes de variação altos entre 22,04 e 22,98%. Já os coeficientes de variação para K1, K2, Ca1, Ca2, Mg1, Mg2, Al1, Al2, SB1 e SB2 foram muito altos, entre 33,59 e 93,28%.

Tabela 6 - Análise descritiva de atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha sob aplicação de Lama de Cal + Oxyfertil

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas								Probabilidade do teste ^(b)	
	Valor				Desvio Padrão	Coeficiente				
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
Atributos de planta										
ALT (m)	3,51	3,60	1,70	4,50	0,64	18,23	0,03	-0,63	0,0759	NO
DAP (m)	0,027	0,028	0,010	0,036	0,006	23,45	0,20	-0,83	0,0120	IN
Atributos Físicos do Solo										
RP1 (MPa)	2,98	3,00	5,00	2,00	0,69	22,98	1,83	0,82	0,0001	IN
RP2 (MPa)	3,38	3,47	1,80	4,86	0,66	19,52	-0,40	0,04	0,6871	NO
UG1 (kg kg ⁻¹)	0,03	0,03	0,02	0,05	0,006	18,91	-0,13	0,18	0,9504	NO
UG2 (kg kg ⁻¹)	0,04	0,04	0,03	0,06	0,004	10,68	1,04	0,25	0,0779	NO
Areia1 (g kg ⁻¹)	888,9	888,20	871,00	907,00	7,32	0,82	0,10	0,19	0,9175	NO
Areia2 (g kg ⁻¹)	883,5	883,00	871,00	897,50	6,43	0,73	-0,65	0,21	0,6169	NO
Silte1 (g kg ⁻¹)	31,91	32,90	18,60	39,70	5,72	17,91	-0,94	-0,44	0,0083	IN
Silte2 (g kg ⁻¹)	31,36	31,80	16,50	39,70	5,42	17,26	-0,29	-0,45	0,1103	NO
Argila1 (g kg ⁻¹)	79,19	78,35	70,10	97,60	5,46	6,90	1,32	0,75	0,0736	NO
Argila2 (g kg ⁻¹)	85,08	84,10	78,20	93,50	3,84	4,51	-0,85	0,46	0,0150	IN
Atributos Químicos do Solo										
P1 (mg dm ⁻³)	2,98	3,000	2,00	5,00	0,69	22,98	1,83	0,82	0,0001	IN
P2 (mg dm ⁻³)	2,10	2,000	1,00	3,00	0,46	22,04	1,65	0,39	0,0001	IN
MO1 (mg dm ⁻³)	11,52	11,00	11,00	15,00	1,29	11,13	1,09	0,98	0,0001	IN
MO2 (mg dm ⁻³)	9,78	10,00	9,00	11,00	0,76	7,81	-1,16	0,40	0,0001	IN
pH1	4,14	4,00	2,90	6,00	0,46	11,00	5,77	1,51	0,0001	IN
pH2	3,99	3,95	3,80	4,60	0,15	3,73	4,73	1,69	0,0001	IN
K1 (mmolc dm ⁻³)	0,60	0,50	0,20	1,40	0,29	48,65	0,13	0,79	0,0049	IN
K2 (mmolc dm ⁻³)	0,45	0,40	0,20	0,80	1,67	36,48	-0,17	0,47	0,0001	IN
Ca1 (mmolc dm ⁻³)	3,28	2,00	1,00	11,00	2,84	86,46	0,71	1,17	0,0001	IN
Ca2 (mmolc dm ⁻³)	1,96	1,00	1,00	8,00	1,75	89,24	5,36	2,38	0,0001	IN
Mg1 (mmolc dm ⁻³)	4,20	3,00	1,00	18,00	3,53	84,15	5,80	2,23	0,0001	IN
Mg2 (mmolc dm ⁻³)	2,18	2,00	1,00	5,00	1,17	53,79	-0,37	0,74	0,0001	IN
Al1 (mmolc dm ⁻³)	10,30	12,00	0,00	16,00	4,91	47,69	-0,57	-0,73	0,0004	IN
Al2 (mmolc dm ⁻³)	12,46	14,00	0,00	16,00	4,19	33,59	1,74	-1,54	0,0001	IN
SB1 (mmolc dm ⁻³)	8,63	5,85	2,20	43,80	8,05	93,28	7,80	2,50	0,0001	IN
SB2 (mmolc dm ⁻³)	4,42	3,45	2,20	12,80	2,50	56,49	3,01	1,70	0,0001	IN
CTC1 (mmolc dm ⁻³)	35,51	35,45	27,20	52,80	5,33	15,02	2,26	1,04	0,0014	IN
CTC2 (mmolc dm ⁻³)	29,39	28,80	23,50	34,60	2,52	8,59	-0,33	0,08	0,5471	NO

^(a) ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO e IN respectivamente do tipo normal e indeterminada.

4.1.3.2 Distribuição de frequência dos atributos

O DAP apresentou distribuição de frequência do tipo indeterminada, com coeficiente de assimetria negativo de -0,83 (Tabela 6). O coeficiente de curtose positivo foi de 0,20, não sendo significativo a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade uma vez que sua

probabilidade foi de 0,0120. A ALT apresentou distribuição de frequência do tipo normal com coeficiente de assimetria negativo de -0,63 e coeficiente de curtose positivo de 0,03. Contudo, a ALT foi significativa a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que sua respectiva probabilidade foi de 0,0759.

Os atributos RP2, UG1, UG2, Areia1, Areia2, Silte2, Argila1 e CTC2 apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, portanto, as respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores médios, com coeficientes de assimetria positivo entre 0,04 e 0,75, assim como negativo de -0,45 (Tabela 6). O coeficiente de curtose positivo entre 0,10 e 1,32, assim como as negativos entre -0,65 e -0,13, sendo que todos estes coeficientes foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que a respectiva probabilidade variou entre 0,0736 e 0,9504.

Para os atributos RP1, Silte1, Argila2, P1, P2, MO1, MO2, pH1, pH2, K1, K2, Ca1, Ca2, Mg1, Mg2, Al1, Al2, SB1, SB2 e CTC1 apresentaram distribuição de frequência do tipo indeterminada, portanto, as respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores da mediana (Tabela 6). Os atributos apresentaram coeficientes de assimetria positivo entre 0,39 e 2,50, assim como negativo entre -1,54 e -0,44. Os coeficientes de curtose positivo ficaram entre 0,13 e 7,80, assim como as negativos entre -1,16 e -0,17, sendo que todos estes coeficientes não foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965).

4.1.3.3 Valores médios dos atributos estudados

O valor médio para ALT foi de 3,51 m, enquanto que a mediana para o DAP foi de 0,027 m.

Os valores médios encontrados para os atributos RP2 foi de 3,38 MPa, para UG1 de 0,03 kg kg⁻¹, UG2 de 0,04 kg kg⁻¹, Areia1 e Areia2 de 888,9; 883,5 g kg⁻¹, Silte2 de 31,36 g kg⁻¹, Argila1 de 79,19 g kg⁻¹ e CTC2 de 29,39 mmol_c dm⁻³.

Os valores medianos para RP1 foi de 3,00 MPa, Silte1 (32,90 g kg⁻¹), Argila2 (84,10 g kg⁻¹) P1 e P2 (3,00 e 2,00 mg dm⁻³), MO1 e MO2 (11,00 e 10,00 mg dm⁻³), pH1 e pH2 (4,00 e 3,95), K1 e K2 (0,50 e 0,40 mmol_c dm⁻³), Ca1 e Ca2 (2,00 e 1,00 mmol_c dm⁻³), Mg1 e Mg2 (3,00 e 2,00 mmol_c dm⁻³), Al1 e Al2 (12,00 e 14,00 mmol_c dm⁻³), SB1 e SB2 (5,85 e 3,45 mmol_c dm⁻³) e, CTC1 de 28,80 mmol_c dm⁻³. Valores estes de fertilidade abaixo daqueles preconizados por Raij (2011) e abaixo daqueles preconizados por Gonçalves (1995) para a cultura do eucalipto.

Entretanto, Corrêa et al. (2007) após três meses da aplicação superficial do resíduo de lama de cal em um Latossolo Vermelho, observaram aumento nos valores de pH do solo até a

profundidade de 0,40 m que passou de 3,9 para 4,4 quando aplicado uma dose de 2 t ha⁻¹. Os teores de cálcio passaram de 12 para 19 mmol_c dm⁻³ e magnésio de 3 para 6 mmol_c dm⁻³. Porém, os maiores valores de pH, Ca e Mg foram proporcionados pela maior dose aplicada na área de estudo de 8 t ha⁻¹ com valores de pH 5,0; Ca de 32 mmol_c dm⁻³ e Mg de 7 mmol_c dm⁻³.

Maciel et al. (2015) avaliando Atributos químicos de um Latossolo Vermelho de textura franco-arenosa após aplicação de resíduo da extração de celulose sob aplicação de 8 t ha⁻¹ de lama de cal encontraram teores de P e MO superiores ao encontrado na presente pesquisa, sendo de 5 e 19 mg dm⁻³, respectivamente. Também encontraram menores teores de Al (7 mmol_c dm⁻³). Tais resultados podem ser explicados devido a aplicação de lama de cal ter sido em maior dose e o tempo de aplicação e avaliação dos atributos.

4.2 ANÁLISES DA SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA ENTRE OS ATRIBUTOS DOS TRATAMENTOS TESTEMUNHA, CALCÁRIO E LAMA DE CAL + OXYFERTIL

O resultado do teste F da análise da variância para os atributos produtivos do eucalipto, para os tratamentos testemunha, calcário e lama de cal + oxyfertil, mostrou-se significativo apenas para o DAP a 5% (Tabela 7). Assim, a diferença entre os três tratamentos, o DAP teve melhor desenvolvimento no tratamento com lama de cal + oxyfertil, seguido dos tratamentos testemunha e com aplicação de calcário.

Quando se aplicou o teste F aos atributos do solo para testemunha, calcário e lama de cal + oxyfertil, observou-se um efeito significativo a 1% de Shapiro & Wilk para quase todos os atributos, exceto para MO1, MO2 e CTC2 que não foram significativos (Tabela 7).

Para os atributos físicos do solo ocorreram efeitos significativos para os tratamentos e nas camadas avaliadas (Tabela 7). Os resultados da avaliação da RP mostraram que o tratamento lama de cal + oxyfertil foi o que proporcionou maiores valores de RP em relação ao tratamento calcário e a testemunha. Esses valores elevados foram devido a lama de cal + oxyfertil apresentar grânulos menores e mais reativos, fazendo com que preencham os espaços porosos do solo, aumentando assim a RP do solo. Em relação ao calcário, como apresenta grânulos maiores, a grande maioria ficou na superfície do solo, demorando um tempo maior para reagir com o solo.

Com o aumento em profundidade ocorreu, simultaneamente, o aumento da RP e UG (Tabela 7). Em ambos os tratamentos, o aumento da RP ocorreu devido a utilização dos implementos agrícolas causando o pé de grande e também devido a eluviação das partículas de argila. Apesar da semelhança dos valores da RP na camada de 0,20-0,40 m, o valor da

testemunha foi maior em profundidade, de tal modo, o calcário e a lama de cal + oxyfertil mostraram como bons condicionadores físico do solo.

Tabela 7 - Teste F aplicado aos atributos de solo e do eucalipto sob os tratamentos de testemunha, com calcário ou lama de cal + oxyfertil em área de eucalipto

Atributos ^(a)	F Calculado	Médias ^(b)		
		Testemunha	Calcário	Lama de Cal + Oxyfertil
Atributos de Planta				
ALT (m)	1,75 ^{ns}	3,24 a	3,43 a	3,51a
DAP (m)	230,95**	0,022 b	0,003 c	0,027 a
Atributos Físicos do Solo				
RP1 (MPa)	11,77**	0,94 a	0,60 c	2,98 b
RP2 (MPa)	11,92**	3,88 a	2,87 c	3,38 b
UG1 (kg kg ⁻¹)	20,17**	0,03 b	0,03 c	0,03 a
UG2 (kg kg ⁻¹)	39,92**	0,04 a	0,03 b	0,04 a
Areia1 (g kg ⁻¹)	39,14**	894,56 b	903,99 a	888,90 c
Areia2 (g kg ⁻¹)	47,28**	887,17 b	900,10 a	883,56 c
Silte1 (g kg ⁻¹)	4,79**	33,03 a	28,96 b	31,91 a
Silte2 (g kg ⁻¹)	6,97**	32,63 a	28,06 b	31,36 a
Argila1 (g kg ⁻¹)	77,24**	72,00 b	67,05 c	79,19 a
Argila2 (g kg ⁻¹)	72,54**	80,57 b	71,84 c	85,08 a
Atributos Químicos do Solo				
P1 (mg dm ⁻³)	9,66**	2,30 b	2,72 a	2,98 a
P2 (mg dm ⁻³)	25,39**	1,38 b	2,04 a	2,10 a
MO1 (mg dm ⁻³)	0,97 ^{ns}	11,30 a	11,14 a	11,52 a
MO2 (mg dm ⁻³)	1,29 ^{ns}	9,66 a	9,98 a	9,78 a
pH1	9,56**	4,28 b	4,53 a	4,14 b
pH2	25,74**	4,06 b	4,31 a	3,99 b
K1 (mmlc dm ⁻³)	5,72**	0,76 a	0,78 a	0,60 b
K2 (mmlc dm ⁻³)	14,02**	0,62 a	0,71 a	0,45 b
Ca1 (mmlc dm ⁻³)	24,27**	4,88 b	11,74 a	3,28 b
Ca2 (mmlc dm ⁻³)	21,36**	2,78 b	6,06 a	1,96 b
Mg1 (mmlc dm ⁻³)	15,93**	4,64 b	9,46 a	4,20 b
Mg2 (mmlc dm ⁻³)	25,31**	2,22 b	4,94 a	2,18 b
Al1 (mmlc dm ⁻³)	10,62**	10,14 a	6,26 b	10,30 a
Al2 (mmlc dm ⁻³)	12,55**	11,94 a	8,52 b	12,46 a
SB1 (mmlc dm ⁻³)	16,26**	10,84 b	20,74 a	8,63 b
SB2 (mmlc dm ⁻³)	27,40**	5,58 b	11,72 a	4,42 b
CTC1 (mmlc dm ⁻³)	7,70**	35,89 b	41,09 a	35,51 b
CTC2 (mmlc dm ⁻³)	3,04 ^{ns}	30,96 a	31,41 a	29,39 a

^(a) ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$); * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%; ^{ns} não significativo.

Para a umidade do solo (UG) houve diferença estatística, na Tabela 7 observa-se que a diferença nas camadas do solo foi a partir da segunda casa decimal, mas ainda significativa ao F calculado. Com isso, mesmo tendo diferença entre os tratamentos, o solo estava abaixo da

capacidade de campo, que segundo Kiehl (1979) relatou que a umidade volumétrica de um solo ideal deve variar entre 0,22 e 0,33 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Mesmo a cultura do eucalipto sendo uma cultura bastante agressiva, ou seja, que suporta diferentes variações de clima, temperatura e tipos de solos os valores baixos de UG pode interferir no desenvolvimento da cultura do eucalipto.

O fato do solo apresentar baixa UG é devido a sua granulometria apresentar teores de areia acima de 88,2% (Tabelas 4, 5 e 6). Solos com elevada porcentagem de areia secam rápido por serem muito porosos e permeáveis, chegando logo às camadas mais profundas.

Quando comparado à média do Ca, Mg e pH antes e depois da aplicação dos corretivos (Tabelas 2 e 7), observa-se que houve um aumento nos valores de Ca1, Mg1 e pH1 após a aplicação dos corretivos, sendo o maior teor observado no tratamento calcário, onde Ca1 e Ca2 foram de 11,74 e 9,46 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente e pH1 de 4,53. Resultados semelhantes foram encontrados por Simonete et al (2013) avaliando a eficiência de calcário e lama de cal em um Neossolo Quartzarênico que obtiveram os maiores aumentos nos teores de Ca, Mg e valores de pH na camada superficial do solo. O Ca e o Mg passaram de 3,0 e 1,0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, antes da aplicação do calcário, para 24,0 e 22,0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, após a aplicação do calcário. O pH passou de 3,9 para 5,9 após a aplicação do calcário. Porém, diferiu deste estudo o fato de quando aplicado lama de cal, observaram que houve um aumento semelhante ao calcário, caso que não ocorreu no presente estudo.

O teor de Al teve uma maior redução no tratamento com calcário (Tabelas 2 e 7) passando de 8 e 12 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, em ambas as profundidades, para 6,26 e 8,52 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, após a aplicação do calcário. A utilização do calcário dolomítico como corretivo do solo, exerceu função para a acidez (H+Al, Al e m). A lama de cal + oxyfertil pouco alterou a acidez do solo, confirmando que não foi capaz de neutralizar o Al.

Observando o efeito residual das fontes de calcário e lama de cal + oxyfertil aplicados no solo, verificou-se que não foi constatada diferença para os teores de P e MO em ambas as profundidades, além da CTC2 para os dois tratamentos (Tabela 7). Para os demais atributos houve diferenças entre o tratamento calcário e lama de cal + oxyfertil.

Quando comparado os três tratamentos observa-se que apenas a MO1, MO2 e CTC2 não apresentaram diferenças podendo ser explicado porque a matéria orgânica foi homogênea em toda a área, porém, muito baixa (11 mg dm^{-3}) e não foi afetada pela aplicação dos resíduos, enquanto que a CTC2, devido o solo ser classificado como um Neossolo Quartzarênico com mais de 80% de areia apresentava baixo conteúdo de colóides no solo.

A adição de calcário dolomítico proporcionou aumentos significativos nos teores de P, MO, pH, K, Ca, Mg, SB, CTC e V%. Porém, apenas o P, nas duas profundidades, apresentou aumento significativo para o calcário e lama de cal + oxyfertil em relação à testemunha.

O pH1, pH2, Ca1, Ca2, Mg1, Mg2, SB1, SB2, V1, V2 e CTC1 tiveram os maiores resultados quando aplicado o calcário ao solo, porém os tratamentos lama de cal + oxyfertil e testemunha não diferiram (Tabela 7), podendo ter ocorrido devido a lama de cal possuir baixos teores de CaO e MgO não sendo suficiente para aumentar o pH de modo significativo como o calcário.

Outro fator semelhante foi o que ocorreu com H+Al1, H+Al2, Al1, Al2, m1 e m2 onde as maiores médias foram encontradas nos tratamentos lama de cal + oxyfertil e testemunha, sendo que essas duas não diferiram, porém, ambas diferiram do tratamento calcário. O tratamento com calcário foi o que conseguiu neutralizar mais o alumínio do solo e a lama de cal + oxyfertil não conseguiu fazer tal neutralização.

4.3 MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS ATRIBUTOS DE PLANTA E SOLO

4.3.1 Testemunha

Na Tabela 8 está apresentada a matriz de correlação linear simples entre os atributos do eucalipto (ALT e DAP) e do solo (RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC) para a malha testemunha. A correlação entre o DAP e a ALT e os atributos do solo apresentaram significância exclusivamente para os pares: DAP x RP1 ($r = -0,112^{**}$), ALT x P1 ($r = 0,286^{*}$) e DAP x P1 ($r = 0,303^{*}$).

A correlação entre DAP x RP1 ($r = -0,112^{**}$) indica uma relação inversa entre as variáveis, demonstrando que quanto menor a resistência do solo à penetração maior será o diâmetro à altura do peito da árvore, dando assim uma resposta de como manejar a área em estudo. Concordando com os resultados obtidos por Rosa Filho et al. (2011), que observaram o mesmo comportamento que com o aumento da resistência do solo à penetração ocorra uma diminuição na produtividade, quando correlacionada com a produtividade de pinus e eucalipto, em diferentes tipos de solos e com idades variadas. Os pares que apresentaram correlação positiva (ALT x P1 e DAP x P1), indicam que, com o aumento do teor de fósforo (P1 e P2) nas camadas de 0,00 - 0,20 m e de 0,20 - 0,40 m ocorrerá um aumento no DAP e ALT do eucalipto. Por outro lado, a DAP x RP1 que apresentou correlação negativa indica que, com o aumento da RP1 haverá uma diminuição no desenvolvimento do DAP. Tal correlação negativa pode ser explicada pela provável compactação da camada de 0,00-0,20 m,

o que levaria a uma diminuição da absorção de água e nutrientes pelas plantas e, consequentemente da produtividade.

Tabela 8 - Matriz de correlação linear simples dos atributos de eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico na malha Testemunha

<i>Coefficiente de Correlação^(b)</i>					
<i>Atributos^(a)</i>	ALT	DAP	<i>Atributos^(a)</i>	ALT	DAP
RP1 (MPa)	-0,131	-0,112**	pH1	-0,159	-0,189
RP2 (MPa)	-0,015	-0,081	pH2	-0,119	-0,114
UG1 (kg kg ⁻¹)	0,067	0,114	K1 (mml _c dm ⁻³)	0,077	0,121
UG2 (kg kg ⁻¹)	-0,050	-0,081	K2 (mml _c dm ⁻³)	-0,116	-0,067
Areia1 (g kg ⁻¹)	-0,137	0,097	Ca1 (mml _c dm ⁻³)	-0,213	-0,188
Areia2 (g kg ⁻¹)	-0,272	-0,219	Ca2 (mml _c dm ⁻³)	-0,299	-0,276
Silte1 (g kg ⁻¹)	-0,097	-0,079	Mg1 (mml _c dm ⁻³)	-0,156	-0,152
Silte2 (g kg ⁻¹)	0,157	0,117	Mg2 (mml _c dm ⁻³)	-0,140	-0,107
Argila1 (g kg ⁻¹)	0,186	0,078	Al1 (mml _c dm ⁻³)	0,163	0,199
Argila2 (g kg ⁻¹)	0,116	0,055	Al2 (mml _c dm ⁻³)	0,169	0,166
P1 (mg dm ⁻³)	0,286*	0,303*	SB1 (mml _c dm ⁻³)	-0,163	-0,161
P2 (mg dm ⁻³)	0,131	0,149	SB2 (mml _c dm ⁻³)	-0,143	-0,113
MO1 (mg dm ⁻³)	0,106	0,137	CTC1 (mml _c dm ⁻³)	-0,231	-0,202
MO2 (mg dm ⁻³)	0,021	0,062	CTC2 (mml _c dm ⁻³)	-0,243	-0,227

^(a) ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

4.3.2 Calcário

Na Tabela 9 está apresentada a matriz de correlação linear simples entre os atributos do eucalipto (ALT e DAP) e do solo (RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC) para tratamento calcário. Não houve correlação significativa entre os atributos da planta com os do solo, não havendo assim relação direta entre os atributos envolvidos. As correlações lineares entre os atributos de planta e os atributos do solo foram baixas e não significativas pelo fato do baixo número de observações (n = 50).

Tabela 9 - Matriz de correlação linear simples dos atributos de eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico sob aplicação de Calcário

<i>Coefficiente de Correlação^(b)</i>					
<i>Atributos^(a)</i>	ALT	DAP	<i>Atributos^(a)</i>	ALT	DAP
RP1 (MPa)	0,094	0,090	pH1	0,112	0,112
RP2 (MPa)	-0,193	-0,193	pH2	-0,013	-0,013
UG1 (kg kg ⁻¹)	-0,051	-0,054	K1 (mml _c dm ⁻³)	0,131	0,131
UG2 (kg kg ⁻¹)	0,020	0,020	K2 (mml _c dm ⁻³)	0,059	0,059
Areia1 (g kg ⁻¹)	0,098	0,098	Ca1 (mml _c dm ⁻³)	0,044	0,044
Areia2 (g kg ⁻¹)	-0,009	-0,009	Ca2 (mml _c dm ⁻³)	0,186	0,186
Silte1 (g kg ⁻¹)	-0,109	-0,109	Mg1 (mml _c dm ⁻³)	0,124	0,124
Silte2 (g kg ⁻¹)	-0,063	-0,063	Mg2 (mml _c dm ⁻³)	0,129	0,129
Argila1 (g kg ⁻¹)	-0,001	-0,001	Al1 (mml _c dm ⁻³)	-0,164	-0,164
Argila2 (g kg ⁻¹)	0,089	0,089	Al2 (mml _c dm ⁻³)	-0,057	-0,057
P1 (mg dm ⁻³)	0,090	0,090	SB1 (mml _c dm ⁻³)	0,038	0,038
P2 (mg dm ⁻³)	0,027	0,027	SB2 (mml _c dm ⁻³)	0,166	0,166
MO1 (mg dm ⁻³)	-0,069	-0,069	CTC1 (mml _c dm ⁻³)	0,011	0,011
MO2 (mg dm ⁻³)	-0,115	-0,115	CTC2 (mml _c dm ⁻³)	0,105	0,105

^(a) ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

4.3.3 Lama de Cal + oxyfertil

Na Tabela 10 está apresentada a matriz de correlação linear simples entre os atributos do eucalipto (ALT, DAP e VOL) e do solo (RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC) para tratamento Lama de Cal + oxyfertil.

A correlação entre os atributos da planta e do solo foi significativo apenas para o par ALT x Silte1 ($r = -0,296^*$). Essa correlação indireta indica uma variação inversamente proporcional entre a causa e o efeito da planta e do solo, isto é, a altura e o volume individual das árvores apresentam-se maiores nas áreas com menores teores de silte na camada de 0,00-0,20 m. A relação inversa entre tais atributos atestou que com o aumento de um atributo do solo ocorreu uma diminuição no outro atributo correlacionado, ficando esse fato de acordo com Kiehl (1979), Carvalho et al. (1999), Secco et al. (2005) e Rosa Filho et al. (2011).

Tabela 10 - Matriz de correlação linear simples dos atributos de eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico sob aplicação de Lama de Cal + Oxyfertil

<i>Coeficiente de Correlação^(b)</i>					
<i>Atributos ^(a)</i>	ALT	DAP	<i>Atributos ^(a)</i>	ALT	DAP
RP1 (MPa)	-0,071	0,143	pH1	-0,060	0,083
RP2 (MPa)	-0,014	-0,015	pH2	-0,105	-0,015
UG1 (kg kg⁻¹)	0,199	-0,023	K1 (mmlc dm⁻³)	-0,005	0,026
UG2 (kg kg⁻¹)	0,201	0,066	K2 (mmlc dm⁻³)	-0,052	0,135
Areia1 (g kg⁻¹)	0,250	0,218	Ca1 (mmlc dm⁻³)	-0,123	-0,142
Areia2 (g kg⁻¹)	0,025	0,055	Ca2 (mmlc dm⁻³)	0,003	-0,073
Silte1 (g kg⁻¹)	-0,296*	-0,282	Mg1 (mmlc dm⁻³)	-0,192	-0,242
Silte2 (g kg⁻¹)	-0,052	-0,075	Mg2 (mmlc dm⁻³)	0,064	0,101
Argila1 (g kg⁻¹)	-0,025	0,003	Al1 (mmlc dm⁻³)	0,094	0,126
Argila2 (g kg⁻¹)	0,031	0,012	Al2 (mmlc dm⁻³)	0,044	0,136
P1 (mg dm⁻³)	0,098	0,111	SB1 (mmlc dm⁻³)	-0,100	-0,088
P2 (mg dm⁻³)	0,003	0,077	SB2 (mmlc dm⁻³)	0,008	-0,019
MO1 (mg dm⁻³)	0,007	-0,216	CTC1 (mmlc dm⁻³)	-0,053	-0,079
MO2 (mg dm⁻³)	-0,124	-0,086	CTC2 (mmlc dm⁻³)	-0,005	-0,040

^(a) ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

4.4 REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS ATRIBUTOS DE PLANTA E SOLO

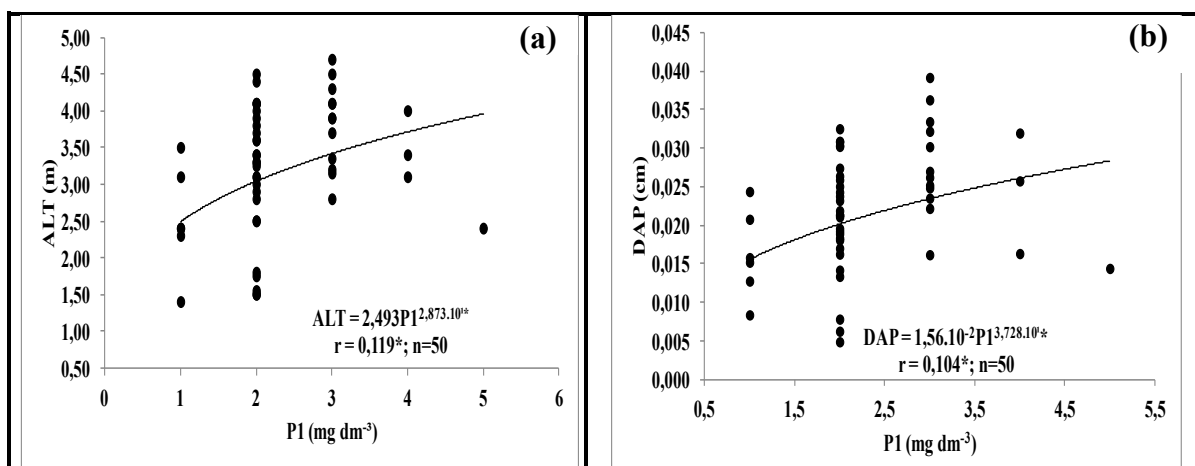
4.4.1 Testemunha

As principais equações de regressão linear simples entre os atributos pesquisados, no âmbito das correlações estabelecidas entre planta *versus* solo para o tratamento testemunha, estão apresentadas na Figura 6. Portanto, os modelos foram exclusivamente apresentados para os pares de atributos que proporcionaram correlações significativas, assim como também apresentaram coeficientes adjuntos significativos para as variáveis independentes.

A correlação entre atributos da planta *versus* solo foi observado que, a equação de regressão da ALT em função do P1 foi representada por um modelo potencial (Figura 6a),

com um baixo, entretanto, significativo, coeficiente de correlação ($r = 0,119^*$). Portanto, a variação da altura individual das árvores pode ser explicada por apenas 26,58 % da variação dos dados do teor de fósforo na profundidade de 0,00 – 0,20 m (P1). Dessa forma, quando o P1 variar entre 1,0 a 5,0 mg dm^{-3} , a ALT aumenta entre 1,4 a 4,7 m. Quando adotado o valor médio de 2,30 mg dm^{-3} do P1 pode ser estimada a ALT média de 3,24 m.

Figura 6 - Equações de regressão entre os atributos de desenvolvimento do eucalipto em um Neossolo Quartzarênico sob o tratamento Testemunha



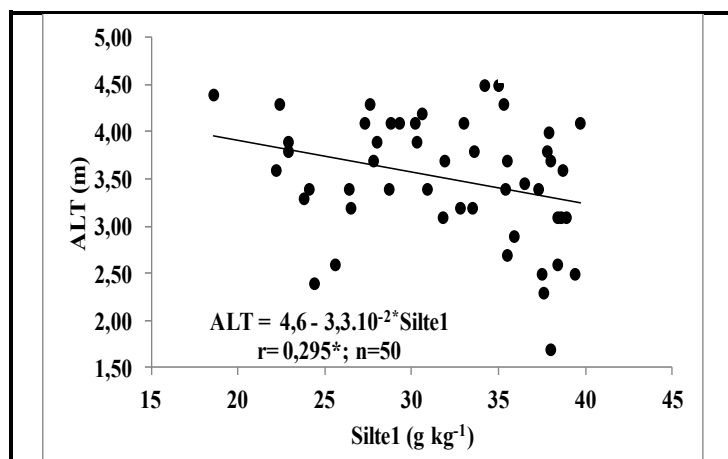
Fonte: Elaboração do próprio autor

O DAP apresentou uma variação potencial direta com o P1 (Figura 6b) com um baixo, entretanto, significativo coeficiente de correlação ($r = 0,104^*$). Portanto, a variação do DAP das árvores pode ser explicada por 34,63% da variação dos dados do teor de fósforo na profundidade de 0,00 – 0,20 m (P1). Assim, quando ocorrer o teor de P1 (5,0 mg dm^{-3}) implica num valor estimado do DAP igual a 0,040 m. Assim, para o mínimo do P1 (1,0 mg dm^{-3}), o valor mínimo do DAP será de 0,005 m. Quando adotado o valor médio do P1 de 2,30 mg dm^{-3} pode ser estimado o DAP médio de 0,023 m.

4.4.2 Lama de Cal + Oxyfertil

A principal equação de regressão linear simples entre os atributos pesquisados, para as correlações estabelecidas entre planta *versus* solo para o tratamento lama de cal + oxyfertil são apresentadas na Figura 7. Portanto, os modelos foram exclusivamente apresentados para os pares de atributos que proporcionaram correlações significativas, assim como também apresentaram coeficientes adjuntos significativos para as variáveis independentes.

Figura 7 - Equação de regressão entre os atributos de desenvolvimento do eucalipto em um Neossolo Quartzarênico sob o tratamento Lama de Cal + Oxyfertil



Fonte: Elaboração do próprio autor

Para as correlações dos atributos da planta *versus* solo (Figura 7) houve significativa regressão da ALT em função do teor de Silte1 apresentando baixo coeficiente de correlação ($r = 0,295^*$). Foi verificado que, a ALT apresentou uma variação potencial indireta com o Silte1. Assim, quando ocorrer o máximo valor do Silte1 ($39,7 \text{ g kg}^{-1}$) implicará na mínima ALT estimada (1,70 m). Com a diminuição do Silte1 há um aumento no crescimento individual das árvores de eucalipto, sendo que essa relação não pode ser explicada por informações da literatura nem por meio dos demais atributos estudados. Provavelmente, para as condições ambientais do local do experimento, houve alguma influência de outros fatores físico-químicos e/ou biológicos não avaliados.

4.5 ANÁLISES GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS ESTUDADOS

4.5.1 Análises semivariográfica simples

4.5.1.1 Testemunha

Na Tabela 11 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples e suas respectivas validações cruzadas ajustadas para os atributos de planta e de um Neossolo Quartzarênico, em Três Lagoas (MS), sob o tratamento testemunha. Assim, a análise geoestatística atestou que, ALT, DAP, RP1, Areia1, Silte1, Silte2, Arg1, Arg2, P2, MO2, Ca1, Ca2, Mg1, Mg2, SB1, SB2 e CTC2 apresentaram efeito pepita puro, os demais atributos apresentaram dependência espacial.

Tabela 11 - Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas ajustadas para os atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico no tratamento Testemunha

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo ^(b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance		SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
				(A ₀) (m)	r ²		%	Classe	a	b	r
Atributos de Planta											
ALT (m)	epp.	0,727	0,727	-	-	-	-	-	-	-	
DAP (m)	epp	6.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴	-	-	-	-	-	-	-	
Atributos Físicos do Solo											
RP1 (MPa)	epp	0,33	0,33	-	-	-	-	-	-	-	
RP2 (MPa)	exp (19)	0,449	2,026	15,0	0,378	0,585	77,8	AL	-0,552	1,123	0,456
UG1 (kg kg ⁻¹)	exp (36)	2.10 ⁻⁴	5,4.10 ⁻⁴	34,8	0,917	6,6.10 ⁻¹¹	82,4	MA	0,00	0,935	0,545
UG2 (kg kg ⁻¹)	exp (41)	2,2.10 ⁻⁴	7,9.10 ⁻⁴	25,5	0,956	3,6.10 ⁻¹¹	72,9	AL	0,06	-0,361	0,138
Areia1 (g kg ⁻¹)	epp	61,2	61,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Areia2 (g kg ⁻¹)	exp (31)	5,3	41,54	12,6	0,185	356	87,2	MA	585,25	0,340	0,114
Silte1 (g kg ⁻¹)	epp	23,68	23,68	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte2 (g kg ⁻¹)	epp	14,85	14,85	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila1 (g kg ⁻¹)	epp	27,8	27,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila2 (g kg ⁻¹)	epp	25,39	25,39	-	-	-	-	-	-	-	-
Atributos Químicos do Solo											
P1 (mg dm ⁻³)	exp (16)	0,17	0,733	29,7	0,393	6,1.10 ⁻¹	76,8	AL	1,55	0,315	0,130
P2 (mg dm ⁻³)	epp	0,493	0,493	-	-	-	-	-	-	-	-
MO1 (mg dm ⁻³)	exp (16)	1,554	3,109	71,4	0,954	3,9.10 ⁻¹	50,0	ME	18,22	-0,613	0,161
MO2 (mg dm ⁻³)	epp	1,494	1,494	-	-	-	-	-	-	-	-
pH1	exp (42)	2,6.10 ⁻¹	0,218	20,1	0,829	1,5.10 ⁻³	88,3	MA	0,40	0,904	0,465
pH2	exp (40)	2,1.10 ⁻²	4,5.10 ⁻¹	21,6	0,586	2,8.10 ⁻⁴	95,3	MA	2,48	0,389	0,148
K1 (mmol _c dm ⁻³)	exp (41)	7,4.10 ⁻²	87.10 ⁻¹	13,5	0,333	9,4.10 ⁻⁴	91,5	MA	0,71	-0,023	0,000
K2 (mmol _c dm ⁻³)	exp (46)	1,1.10 ⁻¹	0,109	27,9	0,511	2,9.10 ⁻³	89,7	MA	-0,10	1,164	0,765
Ca1 (mmol _c dm ⁻³)	epp	36,70	36,70	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca2 (mmol _c dm ⁻³)	epp	9,95	9,95	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg1 (mmol _c dm ⁻³)	epp	22,68	22,68	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg2 (mmol _c dm ⁻³)	epp	2,44	2,44	-	-	-	-	-	-	-	-
Al1 (mmol _c dm ⁻³)	exp (21)	0,29	31,75	17,1	0,787	58,4	99,1	MA	0,40	0,980	0,559
Al2 (mmol _c dm ⁻³)	exp (39)	0,81	12,75	14,1	0,552	9,992	93,6	MA	11,51	0,094	0,032
SB1 (mmol _c dm ⁻³)	epp	14,47	14,47	-	-	-	-	-	-	-	-
SB2 (mmol _c dm ⁻³)	epp	21,88	21,88	-	-	-	-	-	-	-	-
CTC1 (mmol _c dm ⁻³)	exp (15)	1,84	23,00	14,10	0,330	135	92,0	MA	25,46	0,268	0,095
CTC2 (mmol _c dm ⁻³)	epp	11,84	11,84	-	-	-	-	-	-	-	-

^(a) ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) epp = efeito pepita puro; exp = exponencial; esf = esférico; gau = gaussiano. ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos. ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial.

Diante do exposto, Corrêa et al. (2009) encontraram resultados semelhantes de dependência espacial para os atributos físicos do solo, que segundo os autores o modelo exponencial sempre é aplicado para esse tipo de solo estudado. Silva Neto et al. (2011) verificaram modelo esférico para a maioria dos atributos químicos estudados em um Neossolo

Quartzarênico sob o cultivo de pastagem, diferindo do presente estudo. O fato de o modelo exponencial modelar todos os semivariogramas indica que o patamar é atingido de forma assintótica, diferentemente do que ocorre com o modelo esférico, no qual a estabilização é atingida no valor do alcance (VIEIRA, 2000).

Em relação ao desempenho dos semivariogramas, a relação decrescente deles, analisada pela grandeza do coeficiente de determinação espacial (r^2), foi a seguinte: UG2 (0,956), MO1 (0,954), UG1 (0,917), pH1 (0,829), Al1 (0,787), pH2 (0,586), Al2 (0,552), K2 (0,511), P1 (0,393), RP2 (0,378), K1 (0,333), CTC1 (0,330) e Areia2 (0,185). Assim, em relação aos três primeiros (UG2, MO1 e UG1), que tiveram elevados coeficientes de determinação espacial, observou-se o seguinte, conforme relatado em sequência.

O valor do r^2 para a UG2 foi de 0,956 indicando ser tal atributo com o melhor ajuste semivariográfico. Em relação ao ADE, apresentou uma média dependência verificada (ADE=72,9%) ajustado pelo modelo exponencial com 41 pares no primeiro lag e um alcance de 25,5 m. A MO1, seu valor do r^2 (0,954), indicou ser tal atributo de segundo melhor ajuste semivariográfico, com ADE de 50% e portanto de média dependência, ajustado pelo modelo exponencial com 16 pares no primeiro lag e com alcance de 71,4 m. E, a UG1, seu valor do r^2 (0,917) indicou ser tal atributo o terceiro de melhor ajuste semivariográfico, com o ADE de 82,4%, ou seja, muito alta dependência espacial, ajustado pelo modelo exponencial com 36 pares no primeiro lag e alcance de 34,8 m (Tabela 11).

A análise do grau de dependência espacial (ADE) (Tabela 11) permitiu classificar o atributo MO1 com média dependência espacial; o atributo P1 como alta dependência espacial e, pH1 e pH2 como dependência espacial muito alta. De acordo com Castrignanò et al. (2000), a dependência espacial muito alta de atributos químicos do solo pode ser atribuída a fatores intrínsecos tais como a mineralogia e a textura e, a dependência espacial alta, está atribuída a fatores extrínsecos como o manejo do solo adotado.

Na Tabela 11, a relação decrescente dos alcances (m) foi a seguinte: MO1 (71,4), UG1 (34,8), P1 (29,7), K2 (27,9), UG2 (25,5), pH2 (21,6), pH1 (20,1), Al1 (17,1), RP2 (15,0), Al2 (14,1), CTC1 (14,1), K1 (13,5) e Areia2 (12,6). Portanto, nas condições da presente pesquisa, assim como, visando auxiliar pesquisas futuras, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na silvicultura de precisão, no geral, não deverão ser menores do que 12,6 m.

O alcance (A) de um atributo garante que todos os pontos dentro de uma área com este raio são tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre

eles (MACHADO et al., 2007). A maioria dos atributos químicos do solo apresentaram diferentes alcances (Tabela 11), no entanto, os valores de pH nas duas profundidades se mantiveram similares e apresentaram os menores valores de alcances (20,1 e 21,3 m), dados semelhantes foram encontrados por Silva Neto et al. (2011), que obtiveram os menores alcances para o pH e descreveram que, a menor continuidade espacial do pH pode ser explicada pelas práticas de adubação e correção do solo de forma descontínua, pois as áreas de cerrado não receberam nenhum tipo de fertilização e correção.

Os parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens para os atributos de planta e de um Neossolo Quartzarênico no tratamento testemunha encontra-se na Tabela 17. A relação decrescente delas, analisada pela grandeza do coeficiente de correlação (r), foi a seguinte: K2 (0,765), Al1 (0,559), UG1 (0,545), pH1 (0,465), RP2 (0,456), MO1 (0,161), pH2 (0,148), UG2 (0,138), P1 (0,130), Areia2 (0,114), CTC1 (0,095) e Al2 (0,032). Assim, as cinco melhores validações cruzadas foram estabelecidas para os atributos K2, Al1, UG1, pH1 e RP2, cujos coeficientes de correlação variaram de 0,765 a 0,456.

Tais atributos foram ranqueados aleatoriamente, apresentando uma sequência relativamente semelhante que aquela estabelecida para a grandeza decrescente dos seus alcances, estabelecidos na Tabela 11. Pode-se ressaltar que o atributo UG1 resultou o maior coeficiente de determinação espacial (r^2) e foi o terceiro maior coeficiente de correlação (r) para a validação cruzada. Dessa forma, quando do ponto de vista da análise geoestatística, o UG1 apresentou-se como um plausível indicador da qualidade física do solo quando sem nenhum tratamento corretivo. Por outro lado, os coeficientes angulares (b) das validações cruzadas variaram entre -1,441 (DP1) e 1,164 (K2).

4.5.1.2 Calcário

Na Tabela 12 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples e suas respectivas validações cruzadas ajustadas para os atributos de planta e de um Neossolo Quartzarênico, em Três Lagoas (MS), sob o tratamento com aplicação de calcário. Assim, a análise geoestatística atestou que, DAP, VOL, RP1, RP2, Silte1, Silte2, Arg1, Arg2, P1, P2, MO2, pH1, K2, Ca1, Ca2, Mg1, Mg2, Al1, SB1, SB2, CTC1 e CTC2 apresentaram efeito pepita puro e os demais atributos apresentaram dependência espacial.

Em relação ao desempenho dos semivariogramas, a relação decrescente deles, analisada pela grandeza do coeficiente de determinação espacial (r^2), foi a seguinte: Areia1 (0,840), Areia2 (0,670), ALT (0,486), UG2 (0,458), MO1 (0,432), UG1 (0,181), K1 (0,156), pH2 (0,120), e Al2 (0,089). Assim, em relação aos três primeiros (Areia1, Areia2 e ALT), que

tiveram elevados coeficientes de determinação espacial, observou-se o seguinte, conforme relatado em sequência.

Tabela 12 - Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas ajustadas para os atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha sob aplicação de Calcário

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo ^(b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
Atributos de Planta											
ALT (m)	exp (36)	8,1.10 ⁻¹	0,472	15,9	0,486	1,9.10 ⁻¹⁴	82,8	MA	2,09	0,393	0,167
DAP (m)	epp	4,7.10 ⁻⁷	4,7.10 ⁻⁷	-	-	-	-	-	-	-	-
Atributos Físicos do Solo											
RP1 (MPa)	epp	9,8.10 ⁻²	9,8.10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
RP2 (MPa)	epp	0,659	0,659	-	-	-	-	-	-	-	-
UG1 (kg kg ⁻¹)	exp (122)	9.10 ⁻⁵	4,3.10 ⁻⁴	22,5	0,181	5,4.10 ⁻¹⁰	78,1	AL	0,00	0,907	0,382
UG2 (kg kg ⁻¹)	exp (41)	4.10 ⁻⁵	2,3.10 ⁻⁴	12,3	0,458	2,9.10 ⁻¹¹	81,7	MA	0,03	0,162	0,055
Areia1 (g kg ⁻¹)	exp (37)	51,40	59,18	48,9	0,840	184	50,0	ME	111,88	0,876	0,404
Areia2 (g kg ⁻¹)	esf (115)	80,4	160,9	55,1	0,670	1866	50,0	ME	88,47	0,900	0,428
Silte1 (g kg ⁻¹)	epp	81,21	81,21	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte2 (g kg ⁻¹)	epp	69,95	69,95	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila1 (g kg ⁻¹)	epp	14,80	14,80	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila2 (g kg ⁻¹)	epp	56,7	56,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Atributos Químicos do Solo											
P1 (mg dm ⁻³)	epp	0,675	0,675	-	-	-	-	-	-	-	-
P2 (mg dm ⁻³)	epp	0,328	0,328	-	-	-	-	-	-	-	-
MO1 (mg dm ⁻³)	esf (41)	0,631	1,426	20,6	0,432	0,321	55,8	ME	2,16	0,807	0,366
MO2 (mg dm ⁻³)	epp	0,886	0,886	-	-	-	-	-	-	-	-
pH1	epp	0,189	0,189	-	-	-	-	-	-	-	-
pH2	exp (114)	8,6.10 ⁻²	7,9.10 ⁻¹	11,7	0,120	6,1.10 ⁻⁴	89,2	MA	3,71	0,939	0,045
K1 (mmolc dm ⁻³)	exp (132)	4,9.10 ⁻⁴	7,1.10 ⁻²	22,2	0,156	6,1.10 ⁻⁴	81,4	MA	0,18	0,765	0,324
K2 (mmolc dm ⁻³)	epp	3,8.10 ⁻¹	3,8.10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca1 (mmolc dm ⁻³)	epp	81,849	81,849	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca2 (mmolc dm ⁻³)	epp	19,547	19,547	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg1 (mmolc dm ⁻³)	epp	43,161	43,161	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg2 (mmolc dm ⁻³)	epp	10,327	10,327	-	-	-	-	-	-	-	-
Al1 (mmolc dm ⁻³)	epp	18,595	18,595	-	-	-	-	-	-	-	-
Al2 (mmolc dm ⁻³)	exp (115)	3,56	15,2	17,4	0,089	69,9	76,6	AL	5,90	0,312	0,109
SB1 (mmolc dm ⁻³)	epp	182,49	182,49	-	-	-	-	-	-	-	-
SB2 (mmolc dm ⁻³)	epp	54,699	54,699	-	-	-	-	-	-	-	-
CTC1 (mmolc dm ⁻³)	epp	125,33	125,33	-	-	-	-	-	-	-	-
CTC2 (mmolc dm ⁻³)	epp	39,16	39,16	-	-	-	-	-	-	-	-

^(a)ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) epp = efeito pepita puro; exp = exponencial; esf = esférico; gau = gaussiano. ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos. ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial.

O valor do r^2 para Areia1 foi de 0,840 indicando ser o atributo de melhor ajuste semivariográfico para o solo avaliado. Em relação ao ADE, apresentou uma média dependência espacial (ADE = 50,0%) ajustado pelo modelo exponencial com 37 pares no primeiro lag e um alcance de 48,9 m. A Areia2, seu valor do r^2 (0,670), indicou ser o atributo de segundo melhor ajuste semivariográfico, com ADE de 59,9% com média dependência espacial, ajustado pelo modelo gaussiano com 37 pares no primeiro lag e com alcance de 15,6 m. A ALT, seu valor do r^2 (0,486), indicou ser o atributo de terceiro de melhor ajuste semivariográfico, com o ADE de 82,8% com muito alta dependência espacial ajustado pelo modelo exponencial com 36 pares no primeiro lag e de 15,9 m (Tabela 12).

Na Tabela 12, a relação decrescente dos alcances (m) foi a seguinte: Areia2 (55,1), Areia1 (48,9), UG1 (22,5), K1 (22,2), MO1 (20,6), Al2 (17,4), ALT (15,9), UG2 (12,3) e pH2 (11,7). Portanto, nas condições da presente pesquisa, assim como, visando auxiliar pesquisa futuras, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na silvicultura de precisão, no geral, não deverão ser menores do que 11,7 m quando utilizado do corretivo calcário.

Os parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens para os atributos de planta e de um Neossolo Quartzarênico no tratamento com aplicação de calcário são apresentados na Tabela 12. A relação decrescente delas, analisada pela grandeza do coeficiente de correlação (r), foi a seguinte: Areia2 (0,428), Areia1 (0,404), UG1 (0,382), MO1 (0,366), K1 (0,324), ALT (0,167), Al2 (0,109), UG2 (0,055) e pH2 (0,045). Assim, as cinco melhores validações cruzadas foram estabelecidas para os atributos Areia2, Areia1, UG1, MO1 e K1, cujos coeficientes de correlação variaram de 0,428 a 0,324.

Tais atributos foram ranqueados aleatoriamente, apresentando uma sequência semelhante que aquela estabelecida para a grandeza decrescente dos seus alcances, estabelecidos na Tabela 12. Pode-se ressaltar que o atributo Areia2 resultou no segundo maior coeficiente de determinação espacial (r^2) e foi o segundo maior coeficiente de correlação (r) para a validação cruzada. Dessa forma, quando do ponto de vista da análise geoestatística, a Areia1 apresentou-se como um plausível indicador da qualidade física do solo quando sob a aplicação de calcário pra correção do solo. Por outro lado, os coeficientes angulares (b) das validações cruzadas variaram entre 0,162 (UG2) e 0,939 (pH2).

4.5.1.3 Lama de Cal + Oxyfertil

Na Tabela 13 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples e suas respectivas validações cruzadas ajustadas para os atributos de planta e de solo de um Neossolo Quartzarênico, em Três Lagoas (MS), sob o tratamento com aplicação de lama de cal + oxyfertil. Assim, ficou atestado que, com exceção da ALT, DAP, VOL, RP1, RP2, UG1, Areia1, Areia2, Silte1, Silte2, Arg2, P1, MO2, pH1, Ca2, Al2, SB1, SB2 e CTC2 que apresentaram efeito pepita puro, todos os demais atributos apresentaram dependência espacial.

Em relação ao desempenho dos semivariogramas, a relação decrescente deles, analisada pela grandeza do coeficiente de determinação espacial (r^2), foi a seguinte: MO1 (0,806), Arg1 (0,764), K1 (0,764), K2 (0,577), Al1 (0,572), P2 (0,538), Ca1 (0,519), Mg2 (0,380), UG2 (0,374), CTC1 (0,339), Mg1 (0,156) e pH2 (0,107). Assim, em relação aos três primeiros (MO1, Arg1 e K1), que tiveram elevados coeficientes de determinação espacial, observou-se o seguinte, conforme relatado em sequência:

O valor do r^2 para MO1 foi de 0,806 indicando ser o atributo de melhor ajuste semivariográfico. Em relação ao ADE, apresentou uma alta dependência espacial (ADE = 73,8%) ajustado pelo modelo esférico, com 46 pares no primeiro lag e um alcance de 17,4 m. A Arg1, seu valor do r^2 (0,764), indicou ser o atributo de segundo melhor ajuste semivariográfico, com ADE de 50,0% com média dependência espacial, ajustado pelo modelo exponencial, com 45 pares no primeiro lag e com alcance de 29,43 m. O K1, seu valor do r^2 (0,764), indicou ser o atributo de terceiro melhor ajuste semivariográfico, porém com o mesmo r^2 da Arg1, com o ADE de 83,2% com muito alta dependência espacial ajustado pelo modelo exponencial, com 84 pares no primeiro lag e um alcance de 23,4 m (Tabela 19).

Na Tabela 13, a relação decrescente dos alcances (m) foi a seguinte: Arg1 (59,1), P2 (28,2), K2 (25,5), K1 (23,4), MO1 (17,4), Ca1 (16,8), Mg1 (15,6), pH2 (14,4), UG2 (13,2), Al1 (11,7), CTC1 (11,7) e Mg2 (11,4). Portanto, nas condições da presente pesquisa, assim como, visando auxiliar pesquisa futuras, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na silvicultura de precisão, no geral, não deverão ser menores do que 11,4 m quando utilizado o corretivo lama de cal + oxyfertil.

Os parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens para os atributos de planta e de um Neossolo Quartzarênico, no tratamento com aplicação de lama de cal + oxyfertil são apresentados na Tabela 19. A relação decrescente delas, analisada pela grandeza do coeficiente de correlação (r), foi a seguinte: K2 (0,545), UV2 (0,415), DP2 (0,392), CTC1

(0,375), MO1 (0,336), K1 (0,232), Arg1 (0,221), DP1 (0,219), Al1 (0,195), Ca1 (0,114), P2 (0,109), UG2 (0,095), pH2 (0,077), H+Al2 (0,063) e Mg1 (0,032). Assim, as cinco melhores validações cruzadas foram estabelecidas para os atributos K2, UV2, DP2, CTC1 e a MO1, cujos coeficientes de correlação variaram de 0,545 a 0,336.

Tabela 13 - Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas ajustadas para os atributos do eucalipto e de um Neossolo Quartzarênico, na malha sob aplicação Lama de Cal + Oxyfertil

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo ^(b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance		SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
				(A ₀) (m)	r ²		%	Classe	a	b	r
Atributos de Planta											
ALT (m)	epp	0,335	0,335	-	-	-	-	-	-	-	-
DAP (m)	epp	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	-	-	-	-	-	-	-	-
Atributos Físicos do Solo											
RP1 (MPa)	epp	5,1.10 ⁻¹	5,1.10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
RP2 (MPa)	epp	0,444	0,444	-	-	-	-	-	-	-	-
UG1 (kg kg ⁻¹)	epp	4,7.10 ⁻⁵	4,7.10 ⁻⁵	-	-	-	-	-	-	-	-
UG2 (kg kg ⁻¹)	exp (80)	3.10 ⁻⁵	2,9.10 ⁻⁴	13,2	0,374	3,3.10 ⁻¹¹	88,1	MA	0,03	0,234	0,095
Areia1 (g kg ⁻¹)	epp	46,58	46,58	-	-	-	-	-	-	-	-
Areia2 (g kg ⁻¹)	epp	41,82	41,82	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte1 (g kg ⁻¹)	epp	30,21	30,21	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte2 (g kg ⁻¹)	epp	29,18	29,18	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila1 (g kg ⁻¹)	exp (45)	14,71	29,43	59,1	0,764	30,00	50,0	ME	154,3	0,945	0,221
Argila2 (g kg ⁻¹)	epp	14,75	14,75	-	-	-	-	-	-	-	-
Atributos Químicos do Solo											
P1 (mg dm ⁻³)	epp	0,467	0,467	-	-	-	-	-	-	-	-
P2 (mg dm ⁻³)	exp (30)	3,1.10 ⁻¹	0,167	28,2	0,538	4,9.10 ⁻³	81,4	MA	1,41	0,319	0,109
MO1 (mg dm ⁻³)	esf (46)	0,358	1,368	17,4	0,806	5,6.10 ⁻¹	73,8	AL	2,60	0,776	0,336
MO2 (mg dm ⁻³)	epp	0,598	0,598	-	-	-	-	-	-	-	-
pH1	epp	0,222	0,222	-	-	-	-	-	-	-	-
pH2	exp (89)	6,1.10 ⁻²	2,4.10 ⁻¹	14,4	0,107	9,9.10 ⁻⁵	74,6	AL	4,97	-0,247	0,077
K1 (mmolc dm ⁻³)	exp (84)	1,5.10 ⁻¹	9,1.10 ⁻¹	23,4	0,764	2,5.10 ⁻⁴	83,2	MA	0,29	0,534	0,232
K2 (mmolc dm ⁻³)	exp (49)	3,7.10 ⁻²	2,4.10 ⁻¹	25,5	0,577	7,4.10 ⁻⁵	84,6	MA	-0,08	0,307	0,545
Ca1 (mmolc dm ⁻³)	exp (51)	0,82	5,951	16,8	0,419	3,71	86,2	MA	2,07	0,307	0,114
Ca2 (mmolc dm ⁻³)	epp	2,463	2,463	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg1 (mmolc dm ⁻³)	exp (89)	2,64	13,28	15,6	0,156	33,3	80,1	MA	3,81	0,094	0,032
Mg2 (mmolc dm ⁻³)	exp (67)	0,208	1,43	11,4	0,380	6,9.10 ⁻¹	85,4	MA	2,40	-0,176	0,001
Al1 (mmolc dm ⁻³)	exp (64)	2,46	22,36	11,7	0,572	9,91	89,0	MA	17,97	-0,722	0,195
Al2 (mmolc dm ⁻³)	epp	18,07	18,07	-	-	-	-	-	-	-	-
SB1 (mmolc dm ⁻³)	epp	61,72	61,72	-	-	-	-	-	-	-	-
SB2 (mmolc dm ⁻³)	epp	6,436	6,436	-	-	-	-	-	-	-	-
CTC1 (mmolc dm ⁻³)	exp (66)	2,79	18,63	11,7	0,339	14,9	85,0	MA	-5,43	1,156	0,375
CTC2 (mmolc dm ⁻³)	epp	6,20	6,20	-	-	-	-	-	-	-	-
V1 (%)	epp	500,8	500,8	-	-	-	-	-	-	-	-

^(a)ALT = altura das árvores; DAP = diâmetro altura do peito; RP, UG, Areia, Silte, Argila, P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, SB e CTC de 1 a 2, são respectivamente a resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, areia, silte, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases e capacidade de troca catiônica coletados nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m do solo; ^(b) epp = efeito pepita puro; exp = exponencial; esf = esférico; gau = gaussiano. (c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos. (d) ADE = avaliador da dependência espacial.

Tais atributos foram ranqueados aleatoriamente, apresentando uma sequência semelhante que aquela estabelecida para a grandeza decrescente dos seus alcances, estabelecidos na Tabela 13. Pode-se ressaltar que os atributos K2, DP2 e MO1 foram aqueles que resultaram em maior coeficiente de determinação espacial (r^2) e em maior coeficiente de correlação (r) para a validação cruzada. Dessa forma, quando do ponto de vista da análise geoestatística, tais atributos apresentaram-se como plausíveis indicadores da qualidade física e química do solo quando sob aplicação de lama de cal + oxyfertil pra correção do solo. Por outro lado, os coeficientes angulares (b) das validações cruzadas variaram entre 0,000 (m2) e 0,545 (K2).

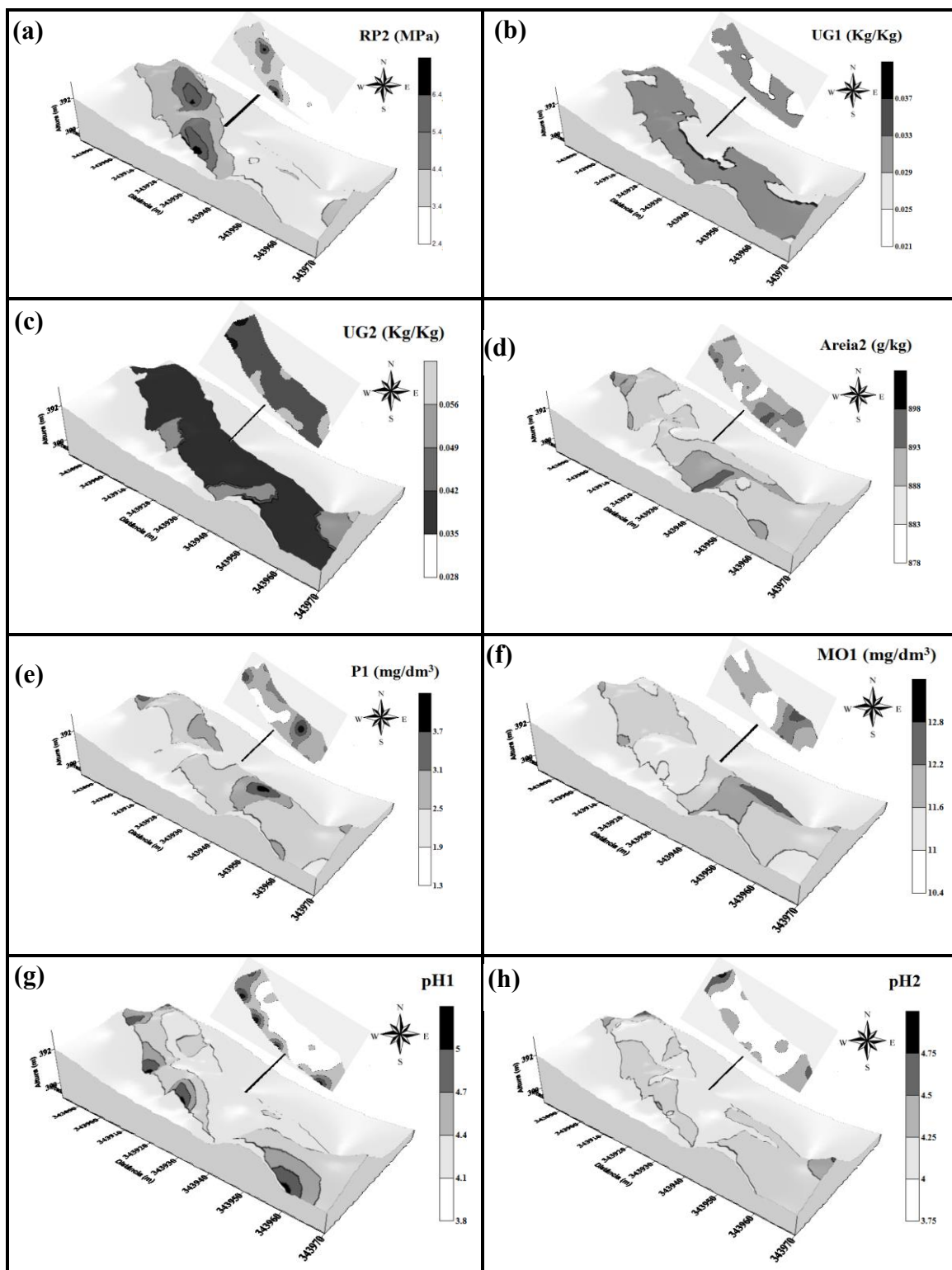
4.5.2 Mapas de krigagem dos atributos estudados

4.5.2.1 Testemunha

Nas Figuras 8 e 9 são apresentados os mapas de krigagem simples para os atributos de um Neossolo Quartzarênico, em Três Lagoas (MS) sob o tratamento testemunha. Em relação aos mapas apresentados aqueles que apresentaram elevada semelhança espacial para efeito prático de manejo do solo foram a RP2, UG2, Areia2, P1 e MO1. Dessa forma, foi observada semelhança entre o mapa do P1 e MO1 (Figuras 8e e f), mostrando que na região leste estão concentrados os maiores teores de MO1 (11,6 – 12,8 mg dm⁻³) e P1 (2,5 – 3,7 mg dm⁻³), ou seja, as regiões que apresentaram maiores teores de matéria orgânica na profundidade de 0,00 - 0,20 m também apresentaram os maiores teores de fósforo na mesma profundidade de vido a MO ser a principal fonte de nutrientes no solo.

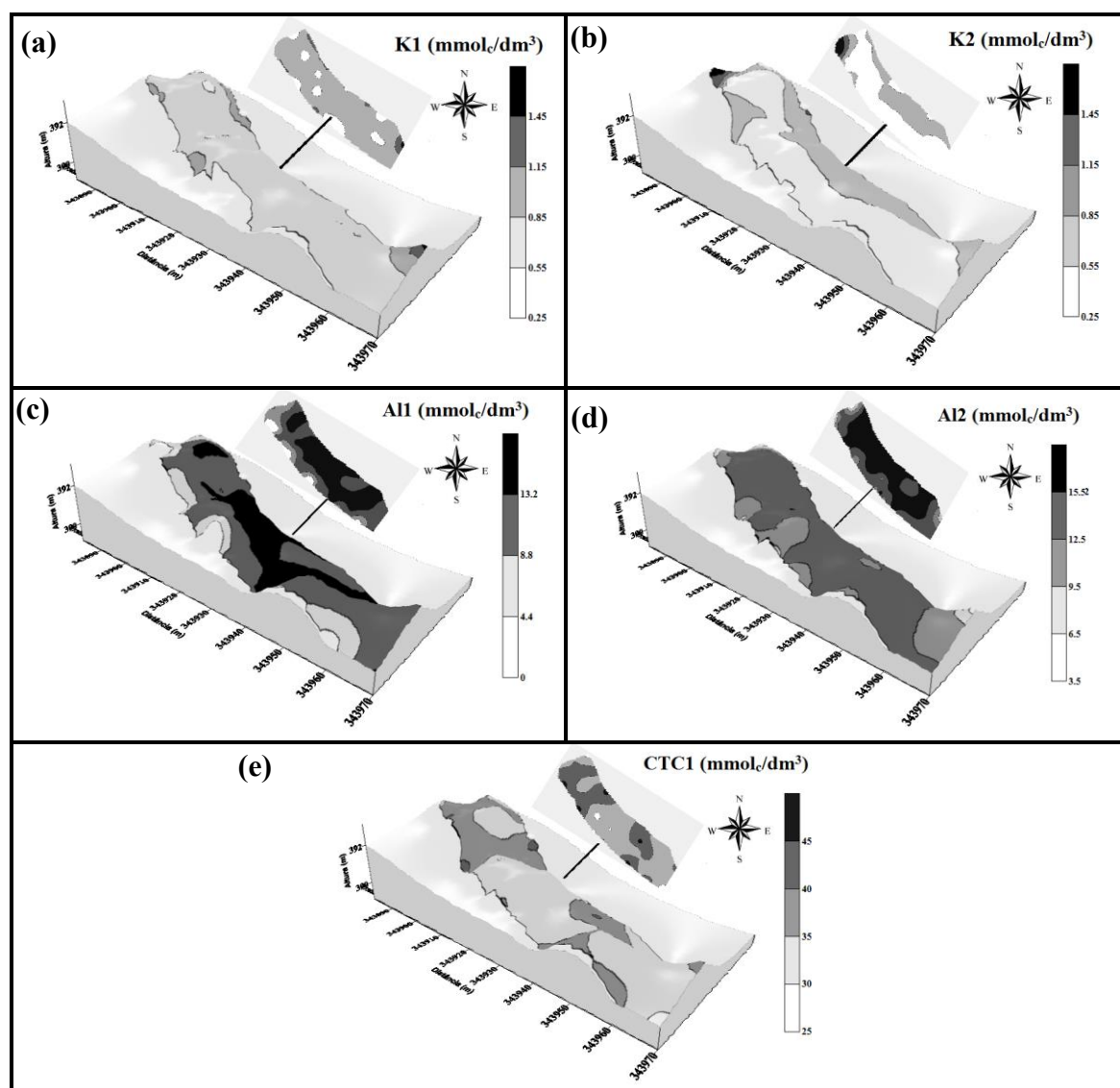
A semelhança entre a UG2 e Areia2 (Figuras 8c e d) ocorreu na região oeste onde está presente a maior quantidade de Areia2 (893 g kg⁻¹) e a menor UG2 (0,035 kg kg⁻¹) demonstrando que, com o aumento da quantidade de Areia2 houve uma diminuição no teor da UG2. O pH apresentou em ambos os mapas de krigagem (Figuras 8g e h) semelhanças entre si apresentando os maiores teores (4,5 - 5,0) na região noroeste do mapa enquanto que na região sudeste os menores valores (3,75 – 4,4) representando a maior parte da área.

Figura 8 - Mapas de krigagem dos atributos RP2, UG1, UG2, Areia2, P1, MO1, pH1 e pH2 sob o tratamento Testemunha



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 9 - Mapas de krigagem dos atributos K1, K2, Al1, Al2 e CTC1 sob o tratamento Testemunha



Fonte: Elaboração do próprio autor

4.5.2.2 Calcário

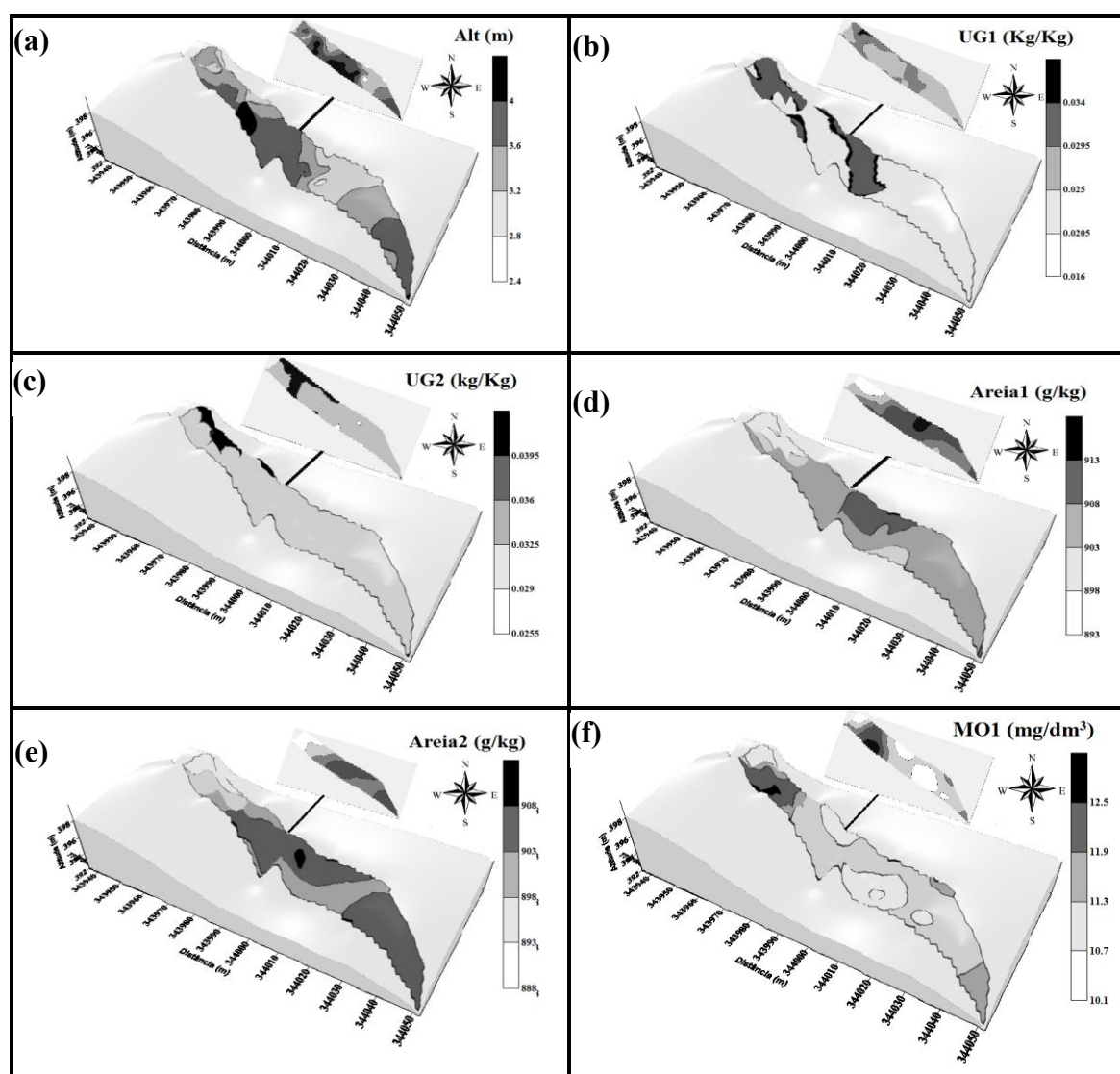
Nas Figuras 10 e 11 são apresentados os mapas de krigagem para os atributos de planta e de um Neossolo Quartzarênico, em Três Lagoas (MS), sob o tratamento com aplicação de calcário. Em relação aos mapas apresentados, aqueles que apresentaram elevada semelhança espacial para efeito prático de manejo do solo foram os de ALT, UG1, UG2, Areia1, Areia2, MO1, pH2 (Figuras 24a, b, c, d, e, f e g) e Al2 (Figura 11a).

Assim, na Figura 10a, é observado o mapa de krigagem da altura do eucalipto (ALT) que apresentou as maiores alturas (3,6 – 4,0 m) localizados em sua maioria na região centro-oeste e sul do mapa. Por outro lado, nas demais regiões, tal altura variou entre 2,4 e 3,4 m.

Dessa forma pode-se observar que onde ocorreram as maiores alturas das árvores de eucalipto são regiões onde ocorreram as maiores UG1 ($0,0295 - 0,0340 \text{ kg kg}^{-1}$) (Figura 10b). Ainda nessa região observa-se uma menor quantidade de Areia1 ($898 - 903 \text{ g kg}^{-1}$), tal fato que justifica o aumento da umidade gravimétrica na profundidade de $0,00 - 0,20 \text{ m}$.

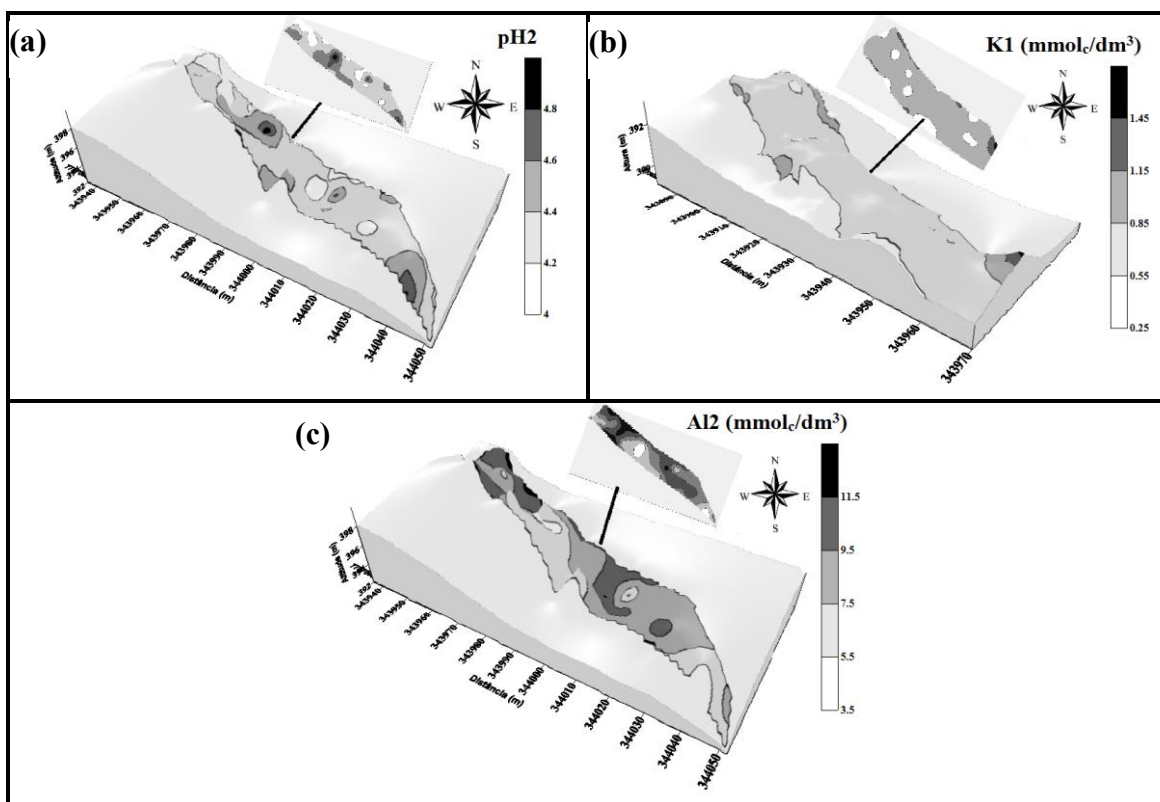
Houve semelhança entre os mapas de krigagem MO1, pH2 e Al2 na região central dos respectivos mapas. Nota-se que nessa região central encontra-se os menores teores de MO1 ($10,1 - 11,3 \text{ mg dm}^{-3}$), pH2 ($4,0 - 4,4$) e os maiores teores de Al2 ($7,5 - 9,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) devido a MO ser a principal condicionador de nutrientes do solo.

Figura 10 - Mapas de krigagem dos atributos ALT, UG1, UG2, Areia1, Areia2 e MO1 sob o tratamento com Calcário



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 11 - Mapas de krigagem dos atributos pH2, K1 e Al2 sob o tratamento Calcário



Fonte: Elaboração do próprio autor

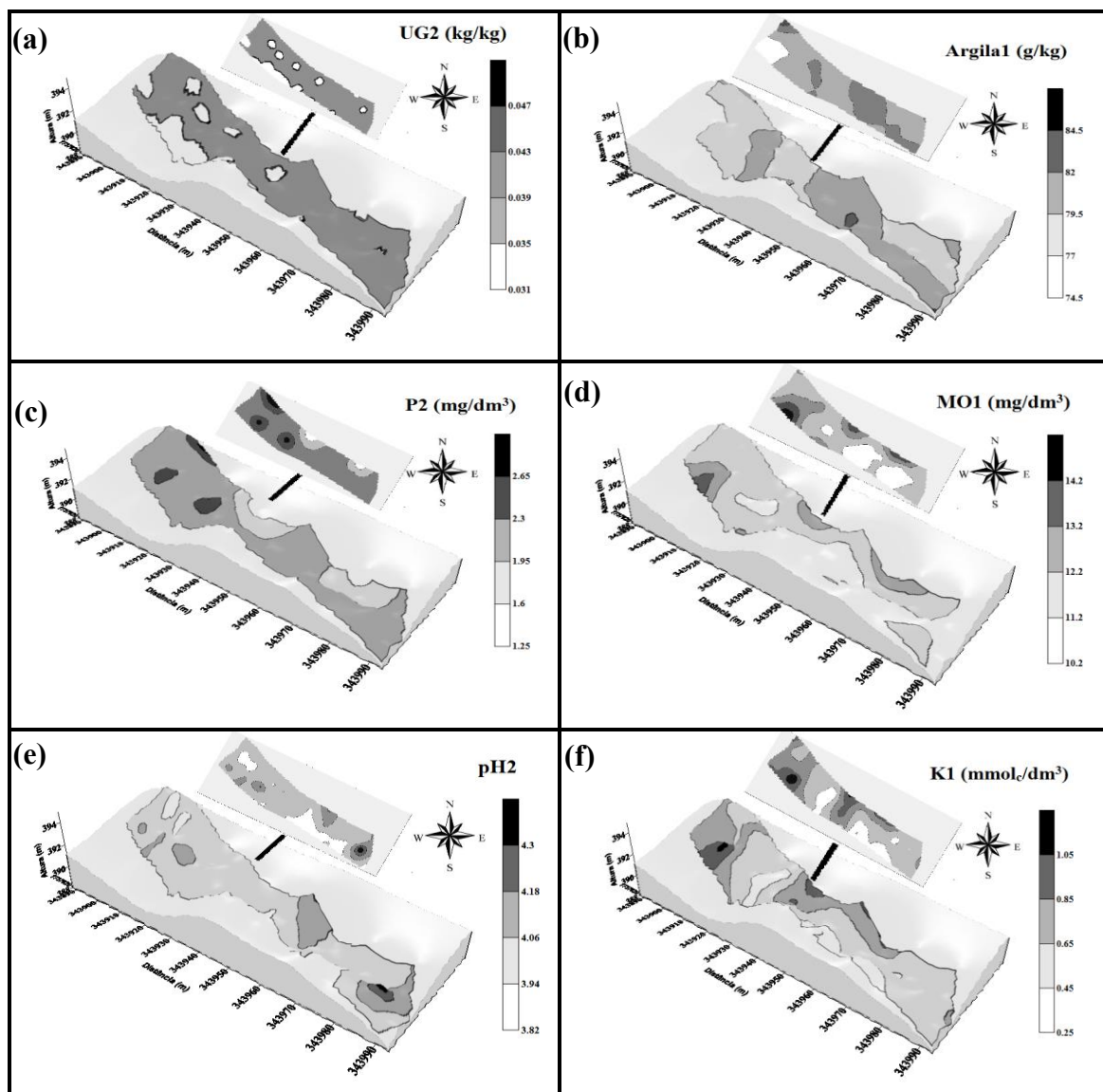
4.5.2.3 Lama de Cal + Oxyfertil

Nas Figuras 12 e 13 são apresentados os mapas de krigagem para os atributos de um Neossolo Quartzarênico, em Três Lagoas (MS), sob o tratamento com aplicação de lama de cal + oxyfertil. Em relação aos mapas de isolinhas, aqueles que apresentaram elevada semelhança espacial para efeito prático de manejo do solo foram os de MO1 (Figura 12d), K1 (Figura 12f), Ca1 (Figura 13b) e Mg1 (Figura 13c). As referidas semelhanças entre tais mapas de krigagem ocorreram na região leste, onde se concentram os maiores teores de matéria orgânica ($12,2 - 14,2 \text{ mg dm}^{-3}$) na profundidade de $0,00-0,020$ e consequentemente os maiores teores de potássio ($0,65 - 1,05 \text{ mmolc dm}^{-3}$), cálcio ($4,6 - 8,2 \text{ mmolc dm}^{-3}$) e magnésio ($4,0 - 13,0 \text{ mmolc dm}^{-3}$) devido a MO ser a principal condicionador de nutrientes do solo, principalmente nos arenosos.

Na Figura 13f está apresentada a CTC1 ($35,5 - 42,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$) sendo que seu maior teor está concentrado na região noroeste do mapa de krigagem. Em consequência dessa alta CTC1, nas Figuras 12c, d e f, assim como nas Figuras 13a, b c e d, houve também uma alta concentração nos teores de P2 ($2,3 - 2,5 \text{ mg dm}^{-3}$), MO1 ($13,2 - 14,2 \text{ mg dm}^{-3}$), K1 ($0,65 - 1,05 \text{ mmolc dm}^{-3}$), K2 ($0,58 - 0,70 \text{ mmolc dm}^{-3}$), Ca1 ($4,6 - 8,2 \text{ mmolc dm}^{-3}$), Mg1 ($7,0 - 10$

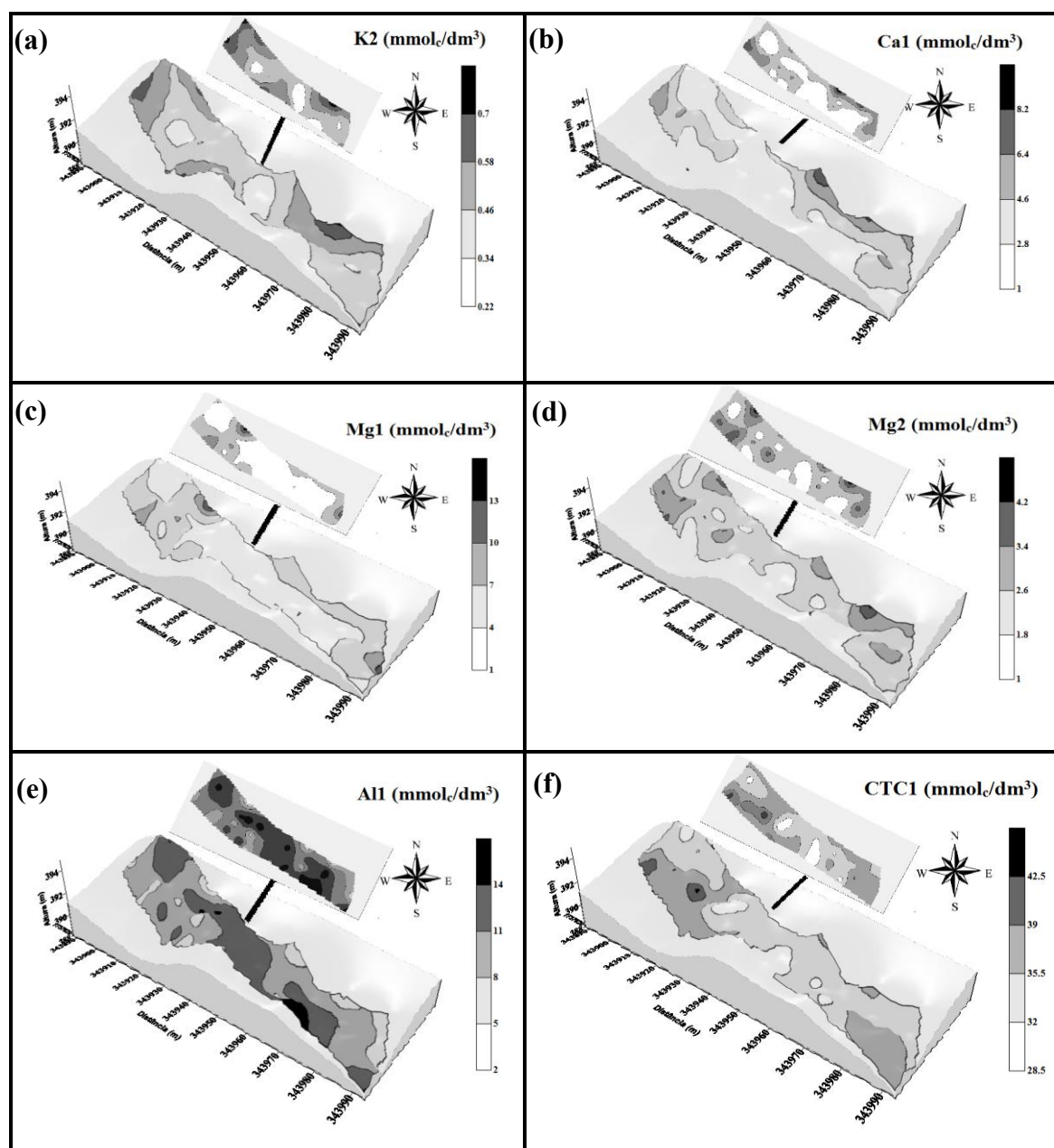
$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Mg^{2+} ($3,4 - 4,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Nessa mesma região noroeste do mapa (Figura 13e) está concentrado o menor teor de Al^{3+} ($2,0 - 8,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), isso porque uma maior CTC, há uma predominância que maior será a disponibilidade e absorção dos nutrientes pelas plantas.

Figura 12 - Mapas de krigagem dos atributos UG2, Arg1, P2, MO1, pH2 e K1 sob o tratamento com Lama de Cal + Oxyfertil



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 13 - Mapas de krigagem dos atributos K2, Ca1, Mg1, Mg2, Al1 e CTC1 sob o tratamento com Lama de Cal + Oxyfertil



Fonte: Elaboração do próprio autor

5 CONCLUSÕES

1. A aplicação do composto lama de cal + oxyfertil não foi superior estatisticamente em relação ao calcário dolomítico devido ao pouco tempo de reação do corretivo no solo. Apenas os teores de P, MO e CTC2 foram estatisticamente semelhantes entre si em ambos os tratamentos. O composto lama de cal + oxyfertil não se diferiu do tratamento testemunha para os atributos pH, Ca, Mg e Al nas profundidades 0,00-0,20 e 0,20 a 0,40 m.
2. Uma análise dos mapas de isolinhas gerados permitiu identificar zonas homogêneas em função da classe de uso e manejo de fertilização do solo. Essa divisão em zonas permite a utilização de manejos de adubação e correção específicos de modo a garantir um uso racional das áreas sob influência de diferentes situações de uso.
3. Os mapas de isolinhas confeccionados permitiram visualizar a distribuição dos elementos físico-químicos no solo e a influência no desenvolvimento inicial do eucalipto cultivado em Três Lagoas – MS, se tornando uma importante ferramenta para o planejamento da produção dessas áreas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. C.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; MACABÔ JÚNIOR, J.; ALMEIDA, D. Influência da adição de um resíduo alcalino da Indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 4, p.1775-1784, 2008.
- ARRUDA, O. G.; TARSITANO, M. A. S.; ALVES, M. C.; GIACOMO, R. G. Comparação de custos de implantação de eucalipto com resíduo celulósico em substituição ao fertilizante mineral. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 576-583, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Florestas Plantadas**. São Paulo: [s.n.], 2014. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/shared/iba_2014_pt.pdf <http://bracelpa.org.br/bra2/index.php>>. Acesso em: 18 nov. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Agenda estratégica do setor de florestas plantadas**. Brasília: ABRAF, 2009. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/agenda/agenda_silvicultura_web.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2014.
- BARBOSA, C. E. M.; FERRARI, S.; CARVALHO, M. P.; PICOLII, P. R. F.; CAVALLINI, M. C.; BENETT, C. G. S.; SANTOS, D. M. A. Inter-relação da produtividade de madeira do pinus com atributos físico-químicos de um latossolo do cerrado brasileiro. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 25-35, 2012.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C.; Resíduos da indústria da celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 37, p. 99–106, 1998.
- BELLOTE, A. F. J.; NEVES, E. J. M.; **Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural**. Colombo: [s.n.], 2001. 6 p. (Circular Técnica). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/306311/1/CT0054.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2015.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico hídrico de um Podzóllico Vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 257-265, 1999.
- CARVALHO, M. P.; MENDONÇA, V. Z. ; PEREIRA, F. C. B. L.; ARF, M. V.; KAPPES, C.; DALCHIAVON, F. C. Produtividade de madeira do eucalipto correlacionada com atributos do solo visando ao mapeamento de zonas específicas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1797-1803, 2012.
- CASTRIGNANÒ, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R.; MARTINELLI, N. Study of spatial relationships among some soil physicochemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 97, p. 39-60, 2000.

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

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1307-1317, 2007.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBEOPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.

COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, 2014.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 908-916, 2011.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 383-390, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2011. 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013. 306 p.

GAMMA DESIGN SOFTWARE: GS+. **Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Michigan: Gamma Desing Software, 2004. 159 p.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for windows version 8.0**. Colorado: Golden, 2002.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (propagação sexuada)**. Viçosa: UFV, 2004.

GONÇALVES, J. L. M. **Recomendações de adubação para eucalyptus, pinus e espécies típicas da Mata Atlântica**: documentos florestais. Piracicaba: Editora ESALq, 1995. 23 p.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427 p.

GUEDES, L. P. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A.; SOUZA, E. G. Anisotropia no estudo da variabilidade espacial de algumas variáveis químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2217-2226, 2008.

GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP-FCA, 1994. p. 188-215.

HARRISON, R. B.; GUERRINI, I. A.; HENRY, C. L.; COLE, D. W. Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. **Circular Técnica**, Piracicaba, n. 198, p. 1-20, 2003.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G.; QUEIROZ, H. A. Atributos físico-químicos de um latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 163-173, 2010.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUIMARÃES GUILHERME, L. R. **Correção da acidez do solo**. São Paulo: ANDA, 1991. 22 p.

MACIEL, T. M. S.; ALVES, M. C.; SILVA, F. C. Atributos químicos da solução e do solo após aplicação de resíduo da extração de celulose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 1, p. 84-90, 2015.

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

MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2004. 209 p.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; BATISTELLA, F.; GRAH, J. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1657-1665, 2009.

MONTANARI, R. **Aspectos da produtividade do feijoeiro correlacionados com atributos do solo sob sistema de manejo de elevado nível tecnológico**. 2009. 172 f. Tese (Doutorado em Sistema de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MONTANARI, R.; ZAMBIANCO, E. C.; CORRÊA, A. R.; PELLIN, D. M. P.; CARVALHO, M. P.; DALCHIAVON, F. C. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.1, p.407-410, 2012.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, K. J. G.; MOREIRA, F. P. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás, v. 1, n. 1, p. 01-12, 2005.

PAIM, R. M. **Efeito do uso de lama de cal e cloreto de potássio no solo, estado nutricional e crescimento do Pinus taeda L., sobre latossolo**. 2007. 124 f. Dissertação (Mestrado em Conservação da Natureza)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R.; SANTOS, V. S. Modelagem geoestatística da dinâmica espacial da altura dominante de *Tectona grandis* L.f. (Teca). **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 1249-1260, 2012.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em povoamento de *Tectona grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 377-384, 2014.

PIMENTEL-GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PINCELLI, A. L. P. S. M.; SEIXAS, F.; NUNES, R. Compactação e fertilidade do solo após colheita do eucalipto utilizando feller buncher e skidder. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 191-198, 2014.

PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 523-533, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 15-28, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for statistical Computing, 2010. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em 20 nov. 2014.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

RODRIGUES, C. M.; BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; GOMES, F. S. Alterações na nutrição e na produtividade do *Pinus taeda* provocadas pela aplicação de resíduo celulósico. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 51, p. 131-143, 2005.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; SILVA, J. M.; SIQUEIRA, G. M.; ZAMBIANCO, E. C. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 439-446, 2011.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C., & FERREIRA, M. M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 667-674, 2010.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2723-2733, 2008.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. S.; FONTES JÚNIOR, R. V. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 16, n. 8, p.828–835, 2012.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS: system for elementary statistical analysis**. 2. ed. Cary: SAS, 1997.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. **As florestas plantadas**. Brasília: SFB, 2014. Disponível em: < <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 4 nov. 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

SILVA, P. H. M.; ANGELI, A. **Implantação e manejo de florestas comerciais: documentos florestais**. Piracicaba: IPEF, 2006. 16 p. Disponível em: < <http://www.rsflorestal.com.br/arquivos/artigos/f/df18.pdf>>. Acesso em: 9 fev. 2015.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; SILVA, J. E. C. Variabilidade espacial da fertilidade de neossolo quartzarênico em função da substituição do cerrado por pastagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 4, p. 334-347, 2011.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; SILVA, J. E. C.; DIM, V. P.; ARAÚJO, A. S. Atributos químicos de um neossolo quartzarênico sob capim marandu adubado com resíduo líquido de frigorífico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1099-1110, 2013.

SIMONETE, M. A.; CHAVES, D. M.; TEIXEIRA, C. F. A.; MORO, L.; NEVES, C. U. Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1343-1351, 2013.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Alterações nas frações do carbono em um neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Revista Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28 n. 3. p. 305-311, 2006.

STAPPE, J. L.; BALLONI, E. A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal. **IPEF**, Piracicaba, n. 40, p. 33-37, 1988.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 229-35, 1991.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 309-316, 2010.

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

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. v. 1, p. 1-53.

WEBSTER, R. Is soil variation random? **Geoderma**, Amsterdam, v. 97, n. 1-2, p. 149-163, 2000.