



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CAMILA SANTOS DA SILVA

**COMPARAÇÃO DE MODELOS ESPACIAIS NA DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES
FINAS EM FUNÇÃO DO TEOR DE ARGILA TOTAL EM UM SISTEMA
AGROFLORESTAL**

Prof. Dr. EDUARDO VINICIUS DA SILVA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CAMILA SANTOS DA SILVA

**COMPARAÇÃO DE MODELOS ESPACIAIS NA DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES
FINAS EM FUNÇÃO DO TEOR DE ARGILA TOTAL EM UM SISTEMA
AGROFLORESTAL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. EDUARDO VINICIUS DA SILVA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2015

**COMPARAÇÃO DE MODELOS ESPACIAIS NA DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES
FINAS EM FUNÇÃO DO TEOR DE ARGILA TOTAL EM UM SISTEMA
AGROFLORESTAL**

CAMILA SANTOS DA SILVA

Monografia aprovada em 30 de novembro de 2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Vinicius da Silva – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Marcos Gervasio Pereira – UFRRJ
Membro

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado – UFRRJ
Membro

*Dedico este trabalho ao Criador.
Aos meus pais, Sônia e Jocinei, e a minha avó, Maria José,
pela educação que me deram e por terem moldado o meu caráter.
Ao meu companheiro, Israel, pelo apoio e compreensão.*

*“O homem é a espécie mais insana de todas.
Adora a um Deus invisível e massacra a Natureza tão visível,
sem dar-se conta de que essa Natureza que massacra
é esse Deus invisível a que adora.”*

Hubert Reeve

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela qualidade de ensino e experiências que marcaram a minha vida.

Ao professor Eduardo Vinicius da Silva pela oportunidade, paciência e confiança.

Aos companheiros do SAF, Andre, Dayane, Marcela, Ramon e Renato pela ajuda para a coleta dos dados.

Ao mestrando Carlos Magno pela disponibilidade em ensinar e ajudar no georreferenciamento.

Aos professores Rafael Coll Delgado e Marcos Gervásio Pereira pela disponibilidade do laboratório e concepção dos dados.

Aos membros do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, em especial ao Anderson e Vanessa Freo pela ajuda e paciência.

Ao professor Emanuel José Gomes de Araújo pela ajuda na interpretação dos dados.

Ao Instituto de Tecnologia, especialmente ao curso de Agrimensura, pela disponibilidade dos aparelhos.

A Fazendinha Agroecológica pela disponibilidade da área em estudo.

Ao Grupo NIA e CNPq pela bolsa concedida.

As moradoras e ex-moradoras do F1 23, Natália, Fabi, Luciana, Célia, Bruna, Thaís e Débora, pela amizade, apoio e companheirismo.

Aos amigos de curso, especialmente Rosiane, Jardel, Francisco, Darlan e Ari, pela amizade e apoio.

A todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui.

RESUMO

Os sistemas agroflorestais são uma alternativa para recomposição de áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente, pois unem a produção de alimentos, preservação e conservação dos recursos naturais. O objetivo deste estudo foi comparar três modelos espaciais na distribuição de densidade de raízes finas em função do teor de argila total em um sistema agroflorestal. Foram coletadas 31 amostras de solo em um sistema agroflorestal localizado na Fazendinha Agroecológica do km 47, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, sendo cada ponto de coleta georreferenciado. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas através de uma peneira com malha de 2 mm e o teor de argila total (%) foi determinado. As raízes foram classificadas com diâmetro de até 2 mm, secas na estufa e pesadas para determinação da densidade. Foram calculadas as médias ponderadas das variáveis entre as profundidades de cada ponto. Para espacialização da vegetação na área, foi realizado um inventário florestal, em que foram classificadas em estrato arbóreo e regeneração sendo coletadas as coordenadas cartesianas de cada indivíduo. O software ArcGIS 10.2 foi utilizado para fazer a análise variográfica e ajuste dos modelos de semivariância e, posteriormente, empregar a interpolação espacial através da Krigagem Ordinária de primeira ordem para analisar a espacialização da densidade de raízes finas e teor de argila total. O programa também foi utilizado para verificar a distribuição dos componentes vegetais na área. Foram utilizados três modelos teóricos transitivos, sendo eles, exponencial, esférico e gaussiano. O melhor modelo foi selecionado a partir de suas estatísticas de precisão. De acordo com os resultados, o modelo exponencial foi o que apresentou melhor desempenho para as duas variáveis analisadas. O mapa do modelo exponencial para o teor de argila total apresentou uma maior distribuição na região com menor declividade, tal fato pode ter ocorrido devido a erosão na área. Para a densidade de raízes finas observou maior crescimento radicular nos locais com maior concentração de regenerações e menor teor de argila, visto que a espacialização das raízes é influenciada pelo tipo de espécie e as condições edafoclimáticas do local. O modelo exponencial pode ser empregado neste SAF para avaliar a distribuição espacial do teor de argila total e da densidade de raízes finas.

Palavras-chave: geoestatística, modelagem, interpolação.

ABSTRACT

The agroforest systems are an alternative for the protected and preserved areas recovery, since they link the food production, preservation and the conservation of natural resources. The objective of this study was to compare three spatial models in the density distribution of fine roots as a function of the total clay content in an agroforest system. In an agroforest system, which is located at Fazendinha Agroecológica in the km 47, were collected 31 soil samples, in established depth classes of 0-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm, in which each point collected was georeferenced. The soil samples were air dried, grounded, and sieved through a sieve with a 2 mm grid for posterior total clay content determination (%). The fine roots were classified with diameters until 2 mm, dried at a greenhouse and weighted to the density determination. The weighted averages of the variables between the depth of each point were calculated. For the spatialization of the area vegetation, a forest inventory, classifying in tree layers and regeneration, was accomplished, and the cartesian coordinates were collected to each individual. ArcGIS 10.2 software was used to interpolate and adjust the semi variance models, and later employing the spatial interpolation through the first order ordinary Kriging to analyze the spatialization of the fine roots density and the total clay quantity. Also, the program was used to the vegetal components distribution in the area. The best model was selected through its statistics accuracy. According to the results, the exponential model was the one in which represented the best performance for the two analyzed variables. The exponential model map to the total clay content presented the major distribution in the lower slope region, this fact probably occurred because of the erosion in the place. About the fine roots density, it was observed a higher root growth in regions with higher concentration of regenerations and lower clay content, as the root spatialization is influenced by the species type and the region edaphoclimatic conditions. The exponential model could be applied in this agroforest system to analyze the spatial distribution of the clay content and the fine roots density.

Keywords: geostatistics, modeling, interpolation.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	1
3. REVISÃO DE LITERATURA	2
3.1 Sistemas Agroflorestais	2
3.2 Contribuição dos SAFs para os atributos físicos e químicos do solo	3
3.3 Geoestatística	4
3.3.1 Principais modelos espaciais	6
3.4 Estatística descritiva	6
4. MATERIAL E MÉTODOS	7
4.1 Caracterização da área	7
4.2 Histórico da área	7
4.3 Coleta de solo	8
4.4 Georreferenciamento	10
4.5 Determinação da argila total	11
4.6 Determinação de densidade de raízes finas	11
4.7 Análise geoestatística	11
4.7.1 Modelos matemáticos teóricos espaciais	12
4.7.2 Espacialização dos dados	12
4.8 Espacialização da vegetação no SAF	12
4.9 Estatística descritiva	12
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	13
5.1 Argila Total	13
5.2 Densidade de raízes finas	15
6. CONCLUSÃO	18
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatística descritiva da variável argila total para os modelos teóricos transitivos, exponencial, esférico e gaussiano, no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica km 47	14
Tabela 2: Estatística descritiva da densidade de raízes finas para os modelos teóricos transitivos, exponencial, esférico e gaussiano, no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica km 47	16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do sistema agroflorestal (SAF) da Fazendinha Agroecológica do km 47 no município de Seropédica.	7
Figura 2: Esquema de instalação das parcelas no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47.....	9
Figura 3: Coleta de solo com o auxílio da sonda no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47.....	10
Figura 4: GPS modelo Promark II utilizado para georreferenciar os pontos de coleta de solo no sistema agroflorestal.	11
Figura 5: Mapa da distribuição espacial do teor de argila total pelo modelo exponencial, no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47, por meio da Krigagem Ordinária de primeira ordem.	15
Figura 6: Mapa da distribuição espacial de densidade de raízes finas pelo modelo exponencial, no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47, por meio da Krigagem Ordinária de primeira ordem.....	16
Figura 7: Mapa da distribuição das árvores e da regeneração no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47.	17

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) vêm sendo implantados em várias regiões do Brasil (MATOS *et al.*, 2012), tornando-se uma alternativa para a geração de produtos agrícolas, recuperando áreas degradadas, melhorando as características do solo e a vegetação nele presente (LIMA *et al.*, 2011). O uso dos SAFs para recomposição de áreas de reserva legal (RL) e áreas de preservação permanente (APP) é uma alternativa que une a produção de alimentos com a manutenção da capacidade produtiva a médio e longo prazo. Além disso, preservam os recursos naturais, conservam a biodiversidade e protegem o solo contra os processos de degradação (FROUFE e SEOANE, 2011).

Ao se estudar os sistemas agroflorestais, é necessário verificar como os atributos do solo e as práticas de manejo o interfere (LIMA *et al.*, 2011). Existem vários estudos que mostraram tais efeitos, como o trabalho de Silva *et al.* (2011) que comparou as alterações físicas e químicas do solo em SAFs compostos por espécies arbóreas, frutíferas e produtoras de corante natural, com cultivo convencional de mamão e floresta nativa. Já Nogueira *et al.* (2008) estimaram as variáveis carbono orgânico e fósforo em sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais através da interpolação dos dados pelo método da krigagem e concluiu que os SAFs possuem uma melhor redistribuição de carbono orgânico e fósforo no solo do que o outros sistemas de cultivo.

A textura do solo é um dos atributos mais importantes, pois interfere diretamente no crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais (SOUSA, 2012). Existem estudos que correlacionam a vegetação com a textura do solo. Calle-Rendón *et al.* (2011) verificou que quanto mais arenosa a textura, mais completa e diversa é a estrutura da floresta, o que reflete em uma maior distribuição do sistema radicular nesses sítios. Além das características físicas, os atributos químicos, biológicos do solo e o relevo influenciam também na relação entre o solo com a vegetação (FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2012).

Verifica-se atualmente a inexistência de estudos que relacionam a textura do solo com o arranjo dos componentes arbóreos e regenerativos nos sistemas agroflorestais, bem como sua influência na distribuição de raízes finas. Desta forma, este trabalho foi desenvolvido a partir da hipótese de que a textura do solo influencia na distribuição de densidade de raízes finas e das espécies vegetais em um sistema agroflorestal sem manejo por um longo período.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo comparar três modelos espaciais, o exponencial, esférico e gaussiano, na distribuição de densidade de raízes finas em função do teor de argila total em um sistema agroflorestal com quinze anos de instalação, não manejado há sete anos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sistemas Agroflorestais

O crescimento da produção agrícola e da pastagem no Brasil contribuiu para o avanço da fronteira agrícola sobre as áreas naturais (RODIGHERI, 2000). Esta maior produção deve-se principalmente pelo aumento da área e não pelo seu incremento na área já utilizada. A ampliação da produção e na produtividade da agricultura e pecuária, no entanto, provocou a substituição das florestas pela agropecuária, assim diminuindo os produtos florestais e aumentando a erosão do solo e poluição das águas. A substituição das florestas pela agropecuária tem gerado diversos problemas ambientais, destacando-se o aumento de processos erosivos do solo e poluição das águas (RODIGHERI, 2000).

Rodigheri (2000) afirma que a modernização da agricultura e da pecuária no país, causou a perda da capacidade de competitividade, do emprego e da renda no meio rural, principalmente, dos pequenos e médios produtores. Assim, a forte atividade antrópica, através do cultivo agrícola e o extrativismo vegetal, tem provocado uma degradação do meio ambiente (FRANCO e CAMPELLO, 2005). Isto se deve pela carência de planejamento para realização de tais atividades, ocorrendo, principalmente a perda de solo nas camadas com maior teor de matéria orgânica, chegando a $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (FRANCO e CAMPELLO, 2005).

Portanto, para diminuição da degradação do ecossistema é essencial o aperfeiçoamento e a utilização de novas técnicas de produção que se adaptam a diferentes condições ambientais. Havendo uma união da produção de alimento com a conservação ambiental, a recuperação da biodiversidade, a qualidade da água e do solo e ajuda no sequestro de carbono (CAMPELLO *et al.*, 2006).

Através desse cenário, os sistemas agroflorestais (SAFs) vêm sendo utilizados em diversos países, tanto em regiões tropicais como em subtropicais (VIANA, 1992). Esses sistemas fundamentam-se em consórcios de espécies comerciais, em que aproveitam o espaço, água, luz e os nutrientes, baseando-se na sucessão florestal, mas existem SAFs, por exemplo, na Europa, que aproveitam ao máximo os benefícios financeiros, com o consórcio de grãos plantados em faixas e monocultura silvicultural em aleias (PENEIREIRO, 2007).

Porém para Götsh (1995), esses sistemas precisam ter um manejo com os fundamentos da agroecologia, que é a ciclagem de nutrientes através da deposição da serrapilheira, a sucessão natural e a biodiversidade de espécies.

De uma forma resumida, os SAFs são um consórcio entre árvores, cultivos agrícolas e/ou animais, surgindo naturalmente ou planejados pelo homem, ocupando o mesmo espaço, sendo implantados simultaneamente ou sequencial, onde o manejo dependerá da finalidade do sistema, com o propósito de se obter um resultado mais eficiente e a conservação dos recursos naturais presentes na produção (DUBOIS, 1998; YARED *et al.*, 1998; SALGADO *et al.*, 2006; DEVIDE, 2013; MAGALHÃES *et al.*, 2013).

Os benefícios dos sistemas agroflorestais são diversos: diminuem os efeitos antrópicos, sendo uma alternativa na produção agropecuária (CARVALHO *et al.*, 2004); conservam e diminuem a degradação do solo e os desmatamentos (SMITH *et al.*, 1998); protegem o solo e as bacias hidrográficas dos efeitos da erosão, contribui para a melhoria do clima, aumentam a biodiversidade, ampliam o sequestro de carbono através das áreas degradadas e das pastagens (PERFECTO *et al.*, 2005; MÉIER *et al.*, 2011); recuperam áreas degradadas, melhorando as características físicas, químicas e biológicas dos solos degradados

e aumentando as fontes de matéria orgânica no solo (REINERT, 1998; PENEIREIRO, 1999; MENDONÇA *et al.*, 2001).

Pode-se observar tais benefícios em um estudo de Menezes *et al.* (2008), apontando que em uma área com floresta natural, que posteriormente foi queimada, foi estabelecido culturas agrícolas e depois foram retiradas para a implantação de um SAF. O mesmo conseguiu manter ou até mesmo melhorar algumas propriedades químicas do solo por pelo menos cinco anos e meio. Desta maneira, os sistemas agroflorestais são indicados para áreas com baixa fertilidade, relevo montanhoso e baixo pH, pois eles podem aumentar a fertilidade do solo e recuperar o local (MENDONÇA e STOTT, 2003).

A presença de árvores na agricultura ajuda na diminuição da erosão e da perda de água, promovendo a ciclagem de nutrientes e a conservação da matéria orgânica (FRANCO, 2000) e aumentando parte das raízes (CUENCA *et al.*, 1983). Assim, suas raízes profundas conseguem absorver os nutrientes lixiviados que estão acumulados nas camadas mais profundas do solo, fazendo com que eles voltem ao solo na forma de serrapilheira, desta forma, as culturas conseguem absorvê-los (PENEIREIRO, 1999).

Árvores pertencentes à família fabaceae (leguminosas) são indicadas no uso em SAFs, sendo importantes na recuperação de áreas degradadas e conservação dos solos em regiões tropicais, pois possuem relação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio e com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), auxiliando na absorção e na fixação de nutrientes e água (CAMPELLO e FRANCO, 2000).

No entanto, Goedert e Oliveira (2007) afirmam que em um sistema agroflorestal, as plantas irão crescer umas próximas as outras, podendo interagir de modo positivo. Segundo os autores, uma auxilia no desenvolvimento da outra, ou de modo negativo, quando ocorre competição entre elas. Portanto, é muito importante o manejo dessas plantas, fazendo com que ocorra uma interação por luz, água e nutrientes entre as espécies, para que aconteça uma boa rentabilidade na produção.

Segundo Hildreth (2008), os sistemas agroflorestais têm atraído muitos produtores interessados em reproduzi-los, pois observam que muitas propriedades estão obtendo benefícios ecológicos, financeiros, aumentando a produtividade agrícola e florestal. De acordo com Passos e Couto (1997) esta técnica proporciona aos produtores rurais benefícios ecológicos, sociais e econômicos.

Rodigheri (2000) estudou indicadores de custos, produtividade e de rentabilidade econômica de plantios florestais e SAFs, comparando com cultivos agrícolas anuais. O autor concluiu que os plantios florestais são economicamente lucrativos para os produtores, aumentando a renda e gerando um rendimento contínuo a longo prazo.

Apesar dos benefícios, existem desafios a serem superados, estando estes relacionados a falta de conhecimento técnico e de informação por parte dos agricultores (RODIGHERI, 2000).

3.2 Contribuição dos SAFs para os atributos físicos e químicos do solo

A degradação do solo é causada pelo uso intensivo e a mecanização do solo, prejudicando suas propriedades físicas e químicas, resultando na redução da produção de biomassa (MATIAS, 2003; CARVALHO *et al.*, 2004). Outra forma de degradar o solo se dá pela poluição causada pelo uso indiscriminado de fertilizantes e inseticidas, podendo interferir na atividade microbiana, causando em muitos casos a eutrofização de rios (ALVARENGA e SOUZA, 1995). Portanto, com o propósito de conservar a produtividade do solo, é importante

adotar práticas culturais que mantenham e/ou restabelecem a fertilidade do solo, sendo estas primordiais para uma agricultura e produção florestal sustentável (ALVARENGA, 1996).

De acordo com Altieri (2002), uma solução para conservar ou melhorar a fertilidade do solo, é o emprego de culturas que adicionam matéria orgânica, havendo um equilíbrio entre o acréscimo e a perda ou retirada desse material através das culturas. Segundo Marin (2002), a matéria orgânica contribui para as propriedades físicas, biológicas e químicas do solo; reduz a densidade do solo e a erosão; auxilia na infiltração da água e fornece energia para os microrganismos, assim aumentam a mineralização da matéria orgânica, liberando nutrientes às plantas, como o N, P, K, Ca, S, Mg e micronutrientes.

Diante disso, uma boa alternativa é a implantação de sistemas agroflorestais, pois de acordo com Costa *et al.* (2004) as plantas arbóreas presentes nesses sistemas aumentam o acúmulo de carbono e a distribuição de matéria orgânica no solo. Porém, existem poucas pesquisas referente a capacidade de estoque de nutrientes no solo pelos SAFs (MAGALHÃES *et al.*, 2013). Loss *et al.* (2009) verificou elevados valores de fósforo e potássio em uma área de figo em um estudo dos atributos físicos e químicos do solo em um sistema integrado de produção agroecológica. Segundo os autores, isso certamente ocorreu pela reciclagem de nutrientes através da deposição das folhas no solo.

Alguns autores afirmam que as características físicas do solo, geralmente, tem uma maior atuação na produtividade da área do que as características químicas (GONÇALVES, 1990). Deste modo, os atributos físicos do solo, como a textura, profundidade e estrutura influenciam na infiltração da água (AMARAL, 2000).

Segundo Ortiz (2003), a composição granulométrica do solo afeta a capacidade de campo, portanto quanto mais argiloso for o solo, maior será o armazenamento de água. Para Prezotti (1985), a textura do solo influencia na disponibilidade de potássio, em que um solo mais argiloso mantém a concentração de potássio por mais tempo na solução no solo, já nos solos arenosos, essa concentração diminui mais rápido, devido à baixa CTC (capacidade de troca catiônica).

Magalhães *et al.* (2013) avaliando o estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso, verificou os maiores estoques de nitrogênio total nos sistemas com mata atlântica e em um sistema agroflorestal com teca com cinco anos, sendo que a mata atlântica armazenou 2068 kg ha⁻¹ na camada de 0 a 5 cm. Nas profundidades de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm o sistema agroflorestal com teca de cinco anos foi o que mais colaborou no armazenamento do nitrogênio, com valores entre 1241 e 883 kg ha⁻¹.

Lima *et al.* (2011) encontrou resultados semelhantes ao avaliar mudanças nas características químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes idades de sistemas agroflorestais. De acordo com os autores, o aumento do estoque de nitrogênio total no solo deve-se ao manejo dos SAFs. Sendo assim, as interações entre as espécies florestais e agrícolas são as responsáveis pelo maior aporte de biomassa aliado ao não revolvimento do solo, melhorando a condição para os organismos se desenvolverem, pois são eles os agentes que fragmentam o material vegetal e viabilizam a ciclagem de nutrientes.

3.3 Geoestatística

A interação entre as características físicas e químicas do solo afetam diretamente o desenvolvimento das culturas (SILVA *et al.*, 2010). Assim, quando a adubação é realizada em doses inadequadas, pode-se obter resultados irregulares, modificando o rendimento das culturas, podendo ocasionar problemas ambientais e financeiros para os produtores (SILVA e

LIMA, 2012). Portanto, com o conhecimento da distribuição espacial das características do solo e da cultura, é possível avaliar a variabilidade do rendimento das plantações e melhorar o manejo nas áreas de cultivos (SILVA *et al.*, 2003; AMADO *et al.*, 2009), estabelecendo os locais específicos para o manejo e consequentemente conservando o solo (DALCHIAVON *et al.*, 2012).

Deste modo, o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo é muito significativo, pois auxilia na escolha de um local experimental; no posicionamento das unidades experimentais; na coleta de amostras; na explicação dos resultados; no levantamento e na classificação de solos; no uso adequado das adubações e em locais com distintos manejos (SILVA *et al.*, 2003).

No entanto, para se conhecer a disponibilidade espacial dos atributos do solo, deve-se coletar os dados no local de interesse, porém as vezes fica impossível de coletar muitos dados, pois gasta muito tempo e mão de obra, consequentemente, o custo aumenta, mas existem métodos que estimam valores em áreas não amostradas, fazendo com que o local fique bem representado (SILVA *et al.*, 2010). Deste modo, a geoestatística é definida como a técnica de estimar um valor de uma variável em locais não amostrados, através de valores conhecidos (BURROUGH, 1986).

Recentemente no Brasil, as pesquisas em geoestatística com propósito de conhecer melhor a variabilidade espacial das características do solo, vêm obtendo destaque e importância (ZONTA *et al.*, 2014). A geoestatística permite avaliar as características físicas e químicas do solo, através de uma estimativa não tendenciosa e uma variância mínima para os valores não amostrados (QUEIROZ *et al.*, 1997). Esta ferramenta também possibilita gerar mapas desses atributos da área estudada através da krigagem (DALCHIAVON *et al.*, 2012; LEMOS FILHO *et al.*, 2008; NOGUEIRA *et al.*, 2008). De acordo com Fuks (1998), para a elaboração desses mapas deve ser feita a coleta das coordenadas nos pontos amostrados, possibilitando realizar a análise estatística e também verificar a dependência espacial dos dados.

Em comparação, a estatística tradicional, quando analisa esses atributos, geralmente, ignora a heterogeneidade espacial, além de subestimar ou superestimar as variáveis em interesse (TRANGMAR *et al.*, 1985; SOUZA *et al.*, 2001).

As ferramentas geoestatísticas são muito usadas na agricultura e silvicultura de precisão, relacionando o sistema de produção com a variabilidade espacial (CARVALHO *et al.*, 2002). Desta forma, é possível estudar a dependência espacial das características físicas e químicas do solo, permitindo relacioná-las com o crescimento e distribuição das plantas, possibilitando a interpretação e projeção dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural (VIEIRA, 2000; ORTIZ, 2003). Para Silva *et al.* (2003), a geoestatística aliada à agricultura de precisão possibilita aumentar a eficiência das adubações, dos tratos culturais e da colheita.

Segundo Saraiva *et al.* (2000), a utilização de ferramentas da agricultura de precisão com objetivo de mapear e manejar a variabilidade das características químicas do solo, é uma novidade nos plantios. Nesse sistema uma área é dividida em parcelas ou zonas de manejo, onde possuem propriedades particulares, deixando de considerar a área igualmente, assim cada fragmento é avaliado separadamente quanto ao tipo e quantidade de nutriente a adubar.

Em áreas que são empregados diferentes manejos, como é o caso dos SAFs, é importante estudar a variabilidade espacial das características do solo. Para isso, a principal ferramenta é a adoção da geoestatística, pois ela pode ser determinante na escolha de possibilidades de manejo, diminuindo os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção dos cultivos (TRANGMAR *et al.*, 1985).

3.3.1 Principais modelos espaciais

Existem três grandes modelos, um deles são os modelos estatísticos de efeitos locais e globais, denominados também de krigagem, em que consistem de técnicas que estimam e predizem dados, promovendo estimadores com peculiaridades de imparcialidade e eficácia (CAMARGO *et al.*, 2002). A krigagem e a co-krigagem são técnicas de interpolação espacial da geoestatística e são as mais usadas em pesquisas, pois possuem melhor eficiência que as outras técnicas de interpolação (VIEIRA, 2000).

De acordo com Brus (1993), o uso de um modelo de variabilidade espacial, pode aumentar a eficiência da amostragem do solo. Assim, os dados são preditos a partir de um modelo espacial, logo, para a escolha do mesmo, é realizado primeiramente o ajuste de cada modelo, e dependendo desse ajuste, o (s) modelo (s) é (são) escolhido (s) (CAMARGO *et al.*, 2002). Existem vários modelos espaciais, porém o exponencial, esférico e gaussiano são os mais utilizados para ajustar as características do solo (SOUZA *et al.*, 2001; SOUZA *et al.*, 2004a; SOUZA, *et al.*, 2004b; LEMOS FILHO *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2012; BOTTEGA *et al.*, 2013).

3.4 Estatística descritiva

A estatística descritiva pode ser utilizada como forma de verificar o desempenho dos modelos teóricos espaciais, ou seja, averiguar qual (is) modelo (s) estima (m) melhor a variável estudada. A estatística descritiva tem como objetivo principal resumir uma série de valores de mesma natureza, sendo possível verificar as variações desses valores, podendo ser observados e descritos através de medidas descritivas (GUEDES *et al.*, 2005). Existem vários tipos de medidas descritivas, como: a média aritmética, moda, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, erro padrão da média e outros (PETERNELLI, 2005).

Em diversos estudos a estatística descritiva é aplicada para verificar o desempenho de metodologias, como no trabalho de Martin *et al.* (2013) que utilizaram medidas descritivas para caracterizar e comparar métodos de estimativas de áreas foliares da cultura de feijão com o uso do software IMAGEJ, utilizando o desvio padrão (DP), coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação (r^2), índice de concordância de Willmott (d) e outros.

Santos *et al.* (2012) também utilizaram parâmetros da estatística descritiva clássica para verificar os dados, como a média, desvio padrão, coeficiente de variação e outros, para avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos, hidráulicos e de resistência à penetração em solos de um vale aluvial, no semiárido de Pernambuco.

Segundo Gois *et al.* (2015), existem poucas pesquisas que utilizam os modelos teóricos transitivos, esférico, exponencial e gaussiano, juntamente com a estatística descritiva para avaliar qual (is) modelo (s) deve (m) ser ajustado (s). Com isso, os mesmos autores avaliaram o desempenho desses modelos e escolheram o (s) melhor (es) na análise de um índice de severidade de seca (Standardized Precipitation Index) em episódios de El Niño forte, do período de 1976-2012, nas regiões ocidental e oriental do estado do Tocantins de acordo com a estatística descritiva.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado em um sistema agroflorestal (SAF), com área aproximadamente de 3.397 m², localizado no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), conhecido como “Fazendinha Agroecológica do km 47”, nos limites da Embrapa Agrobiologia, município de Seropédica, Rio de Janeiro, com coordenadas centrais de 22°44’ latitude e 43°42’ longitude (Figura 1).

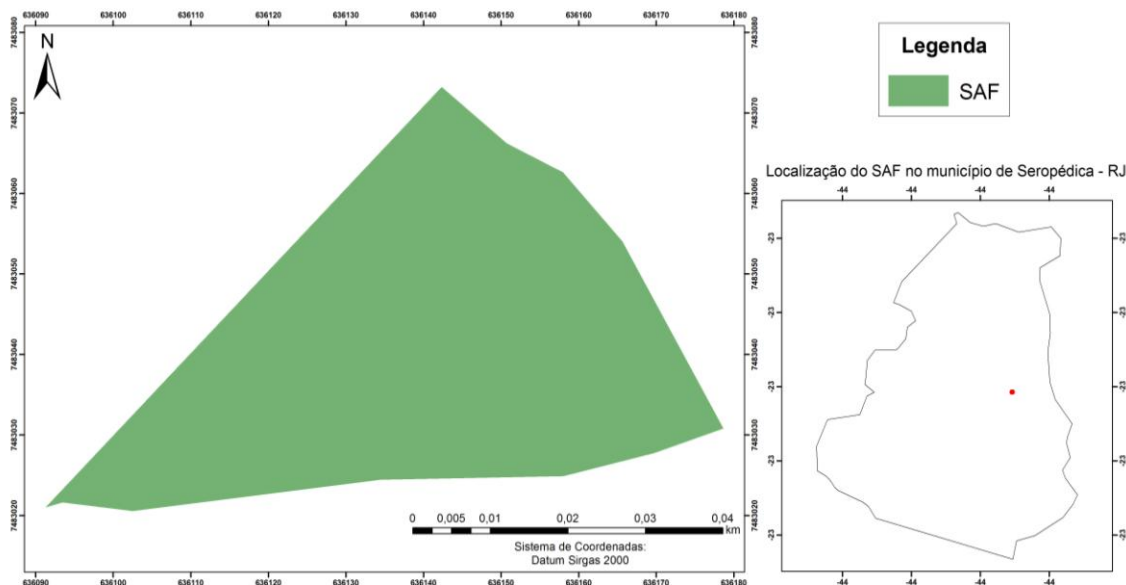


Figura 1: Localização do sistema agroflorestal (SAF) da Fazendinha Agroecológica do km 47 no município de Seropédica.

A área está localizada no bioma Mata Atlântica, com predomínio da formação florestal Ombrófila Densa. O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Aw, com verões úmidos e invernos secos, precipitação média anual de 1.250 mm, com temperaturas médias mensais variando de 16°C (junho e julho) a 32°C (janeiro a março) e com umidade relativa média anual de 73%. A altitude média da área é de 26 m.

O local estudado possui relevo predominantemente suave ondulado (< 5% de declividade) e o solo é classificado como Planossolo Háptico (EMBRAPA, 2013), sendo caracterizado por apresentar horizonte superficial arenoso e horizonte subsuperficial B plânico, com textura mais argilosa e pela influência do lençol freático em pontos mais baixos da topossequência.

4.2 Histórico da área

Antes do sistema agroflorestal ser implantado, havia no local monocultivo de *Musa sapientum* L. juntamente com *Carica papaya* L., sendo estas culturas adubadas somente com esterco bovino.

O SAF foi implantado em meados do ano 2000, em que foram plantadas espécies como: cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), grumixama,

(*Eugenia brasiliensis* Lam.), citrus (*Citrus* sp.) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake), juntamente com cultivo de couve, intercalando-se com o plantio de amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) como adubação verde. Algumas espécies que já existiam no local foram aproveitadas, como o flamboyant (*Delonix regia* (Bojer ex Hook)), pela sua beleza cênica.

Nos primeiros cinco anos, foram cultivadas palmeiras em todo o local do SAF. Sendo que nas cotas inferiores da área, classificada como sítio de pior qualidade, plantaram-se algumas espécies mais resistentes para descompactar o solo, esperando um melhor desenvolvimento do sistema radicular. Além destas espécies foram plantadas laranjeiras e espécies arbóreas como o tucandeiro (*Citharexylum myrianthum* Cham.), gliricidia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.), jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) e a carrapeta (*Guarea guidonea* L.).

O sistema agroflorestal recebeu manejo durante os oito primeiros anos, sendo mais intensivo nos dois primeiros anos (até 2002), realizando-se plantios de enriquecimento, podas, roçadas, adubação com esterco, colheitas e capinas. Nos outros seis anos (de 2002 até 2008), houve manejos pontuais, ocorrendo principalmente o plantio de novas espécies. Após esses oito anos não existe nenhum relato de manejo na área, sendo contabilizados sete anos sem nenhuma atividade.

4.3 Coleta de solo

A área foi dividida em parcelas de 10 x 10 m (100 m²), sendo demarcadas com estacas e barbantes. Foram instaladas 31 unidades amostrais dentro do padrão determinado, porém três pontos amostrais não possuíram tal dimensão, devido à área possuir um formato irregular (Figura 2), deste modo essas parcelas ficaram com tamanhos diferentes (50 m², 101 m² e 146 m²).

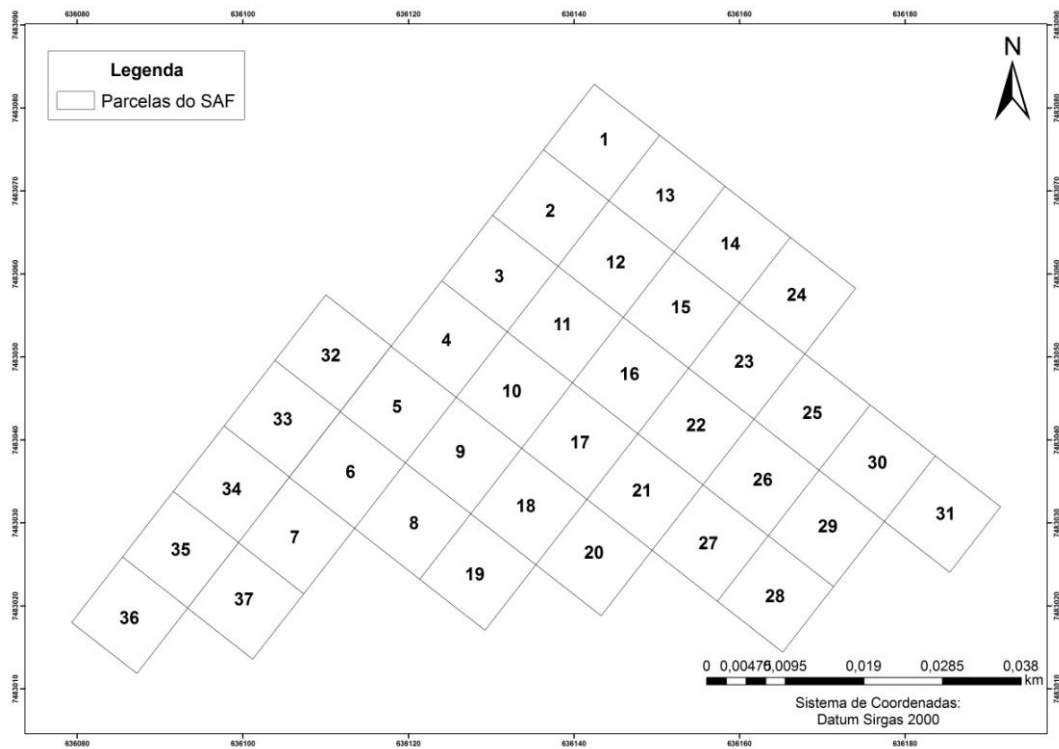


Figura 2: Esquema de instalação das parcelas no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47.

As amostras de solo foram coletadas no centro de cada parcela, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, com o auxílio de uma sonda, com dimensão de 4,5 cm diâmetro e 130 cm de comprimento (Figura 3). Esse tipo de ferramenta foi utilizada, pois além da coleta de solo, é recomendada para a avaliação do crescimento de raízes finas (SILVA *et al.*, 2009).



Figura 3: Coleta de solo com o auxílio da sonda no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47.

As amostras coletadas foram armazenadas em sacos plásticos e devidamente identificadas de acordo com a profundidade e a parcela.

Posteriormente, as amostras de solo foram levadas para o Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (LAPER/UFRRJ) para a secagem à sombra do material, onde todos os sacos foram deixados abertos por duas semanas.

4.4 Georreferenciamento

Depois das coletas, foi colocada uma estaca com fita zebrada em cada ponto de coleta para depois georreferenciá-lo. Para isso, utilizou-se um GPS Geodésico modelo Promark II, possuindo precisão estática horizontal de até 5 mm (Figura 4).



Figura 4: GPS modelo Promark II utilizado para georreferenciar os pontos de coleta de solo no sistema agroflorestal.

4.5 Determinação da argila total

Após as amostras de solo estarem secas, elas foram destorroadas com o auxílio de um rolo. O material foi peneirado em uma peneira de malha de 2 mm, assim obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras foram levadas para o Laboratório de Gênese e Classificação do solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (LGCS/UFRRJ), em que foi realizada a determinação granulométrica, obtendo-se assim a argila total (%), de acordo com o método descrito pela EMBRAPA (1997).

4.6 Determinação de densidade de raízes finas

O material vegetal (fragmentos vegetais em decomposição e raízes) obtido durante o preparo de solo de cada amostra foi armazenado. Posteriormente, este foi colocado em uma bandeja branca para que, com auxílio de um paquímetro digital, as raízes finas com diâmetro máximo de 2 mm fossem separadas. As raízes finas foram pesadas e colocadas dentro de sacos de papel com devida identificação e levadas para estufa a 65°C por três dias. Após as raízes finas estarem secas, elas foram pesadas novamente, obtendo-se sua biomassa seca e assim calculada a densidade de raízes finas de cada amostra (g cm^{-3}), a partir da razão entre peso seco de raízes finas pelo volume da sonda.

4.7 Análise geoestatística

Os dados obtidos de argila total (%) e da densidade de raízes finas (g cm^{-3}) foram tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel, sendo calculadas as médias ponderadas em função da espessura da camada de solo coletada para cada parcela.

Em seguida, associou-se as coordenadas geográficas para cada amostra, permitindo a espacialização dos dados.

4.7.1 Modelos matemáticos teóricos espaciais

Foram ajustados três modelos teóricos transitivos (exponencial, esférico e gaussiano), de acordo com as equações utilizadas por Gois *et al.* (2015), com objetivo de verificar qual o modelo que melhor representa a distribuição das variáveis estudadas.

4.7.2 Espacialização dos dados

Para espacialização e elaboração dos mapas de distribuição das variáveis, argila total e densidade de raízes finas, foi utilizado o software ArcGIS 10.2, sendo empregado o método de interpolação espacial por Krigagem Ordinária de primeira ordem.

4.8 Espacialização da vegetação no SAF

No sistema agroflorestal foi realizado o inventário florestal, em que a área foi dividida em 37 parcelas de 10 x 10 m. Foram registrados em uma planilha manual os indivíduos encontrados ao longo do sistema, sendo classificados em estrato arbóreo e regeneração. Em um croqui milimetrado foram coletadas as coordenadas cartesianas desses indivíduos.

Os dados do inventário florestal e as coordenadas de cada indivíduo foram tabulados no Microsoft Excel e posteriormente foi possível obter a distribuição de cada componente na área através do software ArcGIS 10.2.

4.9 Estatística descritiva

A estatística descritiva foi aplicada no SAF, com a finalidade de avaliar o desempenho dos modelos matemáticos teóricos transitivos, baseados nos seguintes parâmetros existentes na literatura: índice de concordância (d), erro padrão da estimativa (EPE), coeficiente de correlação de Pearson (r) e coeficiente de determinação (r^2).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (r^2) retratam a precisão (denominado também de fidedignidade ou reprodutibilidade) dos dados, em que uma medida será precisa, quando em repetidas vezes, expressar resultados similares (LIMA JUNIOR *et al.*, 2012).

O índice de concordância (d) (Equação 1), segundo Willmott e Matsuura (2005), pode ser definido matematicamente como a dispersão dos valores estimados em relação aos observados. O seu valor varia de 0 a 1, sendo a precisão maior quanto mais próximo de 1 e menor precisão quando próximo de 0. Este índice retrata a exatidão (ou acuidade) dos dados definidos como o grau de concordância de uma medida com seu valor alvo (LIMA JUNIOR *et al.*, 2012).

$$d = 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)^2} \quad (1)$$

O EPE, r e r² são definidos por:

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n-2}}, \quad r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}) \times (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \times \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}},$$

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}) \times (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \times \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \right)^2 \quad (2)$$

em que, O_i é o valor observado na i-ésima observação, P_i é o valor estimado na i-ésima observação, \bar{O} média dos valores observados na i-ésima observação, \bar{P} média dos valores estimados na i-ésima observação e n é o número de amostras, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Embora existam outros parâmetros para comparar modelos, o índice de concordância (d) é o mais adequado, pois ele quantifica o grau de concordância com que a variável observada é estimada pelas variáveis acumuladas. Já o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (r²) são estimados em função do número de dados avaliados (WILLMOTT, 1981).

O erro padrão da estimativa (EPE) mensura o desvio médio entre os valores observados e os valores estimados, informando o erro obtido entre os dados reais e os estimados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Argila Total

De acordo com a estatística descritiva gerada para a variável argila total (Tabela 1) é possível observar que o modelo exponencial é o mais adequado para estimar a argila no sistema agroflorestal estudado. Isso se deve pelo índice de concordância (d) ter sido maior para o modelo exponencial, sendo este próximo de 1, o que indica que o modelo é mais exato do que o esférico e o gaussiano.

O r e r² foram maiores no modelo exponencial (0,60 e 0,36, respectivamente), apontando que os valores observados estão próximos aos estimados para esse modelo. Estas estatísticas variam entre 0 e 1, significando que, quanto mais próximo de 1, os valores observados estão próximos dos valores estimados (CAMPOS e LEITE, 2013).

Os valores de r² para o modelo que apresentou melhor desempenho e para os outros dois modelos foram baixos, isso acontece porque os dados observados não são similares entre si, demonstrando que a área estudada é heterogênea.

O EPE foi maior também para o modelo exponencial, mas de acordo com Torres (2007), deve-se escolher o modelo com menor valor de EPE. Porém, como a análise ocorreu através de um conjunto de indicadores, o melhor parâmetro considerado foi o índice de concordância (d), sendo o EPE utilizado como um indicador secundário.

Tabela 1: Estatística descritiva da variável argila total para os modelos teóricos transitivos, exponencial, esférico e gaussiano, no sistema agroflorestral da Fazendinha Agroecológica km 47

Parâmetros	Modelos		
	Exponencial	Esférico	Gaussiano
d	0,65	0,56	0,57
r	0,60	0,51	0,52
r²	0,36	0,26	0,27
EPE (%)	2,66	2,59	2,66

Existem poucos estudos que utilizam a estatística descritiva para avaliar os modelos matemáticos teóricos transitivos (exponencial, esférico e gaussiano). Gois *et al.* (2015) aplicaram a análise descritiva para determinar o modelo que poderia ser usado na avaliação de índice de SPI (Standardized Precipitation Index) em episódios de El Niño forte, na região oriental e ocidental do estado do Tocantins, utilizando o Índice de Concordância (d), Erro Padrão da Estimativa (EPE), Variância dos Dados Observados (S^2), Desvio Padrão dos Dados Observados (S_x) e outros. Os autores mostram que é possível utilizar a análise descritiva para verificar o desempenho dos modelos, em que para o modelo exponencial, entre os anos de 1982 a 1998, encontraram valores do índice de concordância variando de 0,62 a 0,07 para a região oriental do Tocantins e para ocidental variou de 0,68 a 0,17.

Rabah (2002) realizando um levantamento semidetalhado da análise de solo na região de Brotas utilizou a estatística descritiva para avaliar os atributos físicos e químicos do solo, como desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de determinação (r^2) e soma dos quadrados dos resíduos (SMQ). De acordo com seus resultados, o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou para o teor de argila (%), nas camadas de 0-20 cm e 60-80 cm de profundidade, apresentando r^2 de 0,415 e 0,524 respectivamente.

Outros estudos também ajustaram o modelo exponencial para variáveis inerentes ao solo. Gonçalves *et al.* (2001), descrevendo a distribuição espacial dos valores das frações granulométricas em um campo experimental de irrigação no campus da ESALQ/USP, verificaram que o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou para a variável argila.

McBratney & Webster (1986) descreveram que os modelos exponencial e esférico são os mais encontrados em ajuste de modelos para as propriedades do solo. Shorupa *et al.* (2012) ajustaram o modelo esférico para teor de argila e carbono orgânico do solo em um estudo buscando identificar os padrões de distribuição e avaliar a variabilidade espacial da fertilidade e textura do solo sob diferentes vegetações nativas e bacias hidrográficas em Minas Gerais.

Para Souza *et al.* (2001), o modelo exponencial também foi o que melhor se ajustou na verificação da distribuição espacial da resistência mecânica à penetração de raízes (MPa) em um Latossolo Vermelho Distrófico localizado em Selvíria, Minas Gerais.

Através do método de interpolação espacial por Krigagem Ordinária de primeira ordem foi possível gerar o mapa da distribuição espacial da argila total (%) pelo modelo exponencial (Figura 5).

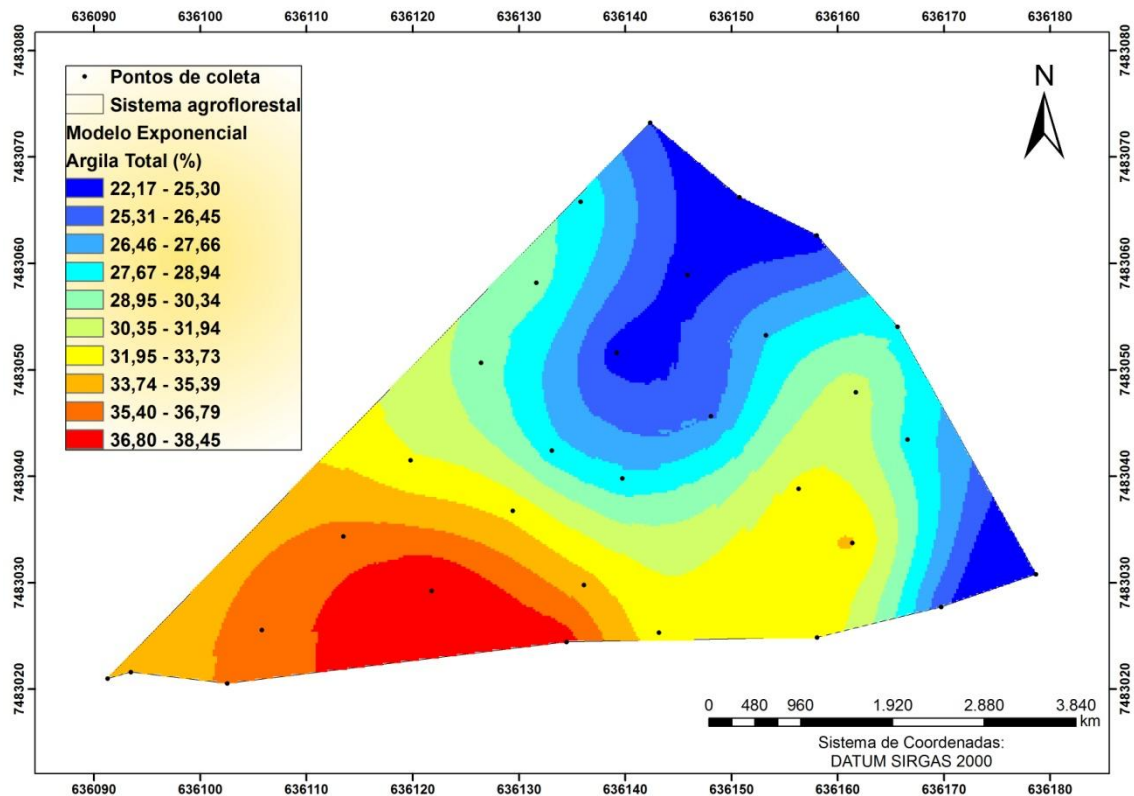


Figura 5: Mapa da distribuição espacial do teor de argila total pelo modelo exponencial, no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47, por meio da Krigagem Ordinária de primeira ordem.

Desta forma, na região que foi encontrada maior concentração de argila, é a parte mais baixa do SAF, região esta de menor declividade. Este resultado foi semelhante ao obtido por Souza *et al.* (2004), os quais observaram que o maior teor de argila estava presente nos pontos mais baixos da área, devido a maiores taxas de erosão nos terços mais altos da paisagem, ocorrendo o carregamento das partículas.

A posição topográfica dos solos na paisagem, influência na drenagem, sendo um dos principais fatores que regula a variabilidade espacial dos solos (MACHADO, 1994). Assim, pode-se considerar que em uma mesma classe de solo, pode haver uma variabilidade espacial dos atributos granulométricos.

Observando-se a ocorrência de teores diferentes de argila total na área, sugere-se que a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes também devem ser diferentes podendo interferir na distribuição de densidade de raízes finas no sistema agroflorestal.

5.2 Densidade de raízes finas

O modelo que estima mais adequadamente a densidade de raízes finas também foi o exponencial, pois seu índice de concordância (d) foi o mais próximo de 1 (Tabela 2).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) e o de determinação (r^2) foram maiores para o modelo exponencial, indicando que esse modelo é o que descreve melhor essa variável, sendo seus valores estimados os mais próximos dos observados. O Erro Padrão da Estimativa (EPE) foi igual para todos os modelos ($0,0002 \text{ g cm}^{-3}$).

Tabela 2: Estatística descritiva da densidade de raízes finas para os modelos teóricos transitivos, exponencial, esférico e gaussiano, no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica km 47

Parâmetros	Modelos		
	Exponencial	Esférico	Gaussiano
d	0,64	0,62	0,61
r	0,32	0,30	0,29
r²	0,10	0,09	0,08
EPE (g cm⁻³)	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}

Não existem estudos que utilizam a geoestatística para estimar a distribuição de densidade de raízes finas em sistemas produtivos, tampouco em sistemas agroflorestais. Deste modo, essa ferramenta pode ser utilizada para análise dessa variável no solo.

Através do método de interpolação espacial por Krigagem Ordinária de primeira ordem foi possível gerar o mapa da distribuição espacial da variável densidade de raízes finas (g cm⁻³) pelo modelo exponencial (Figura 6).

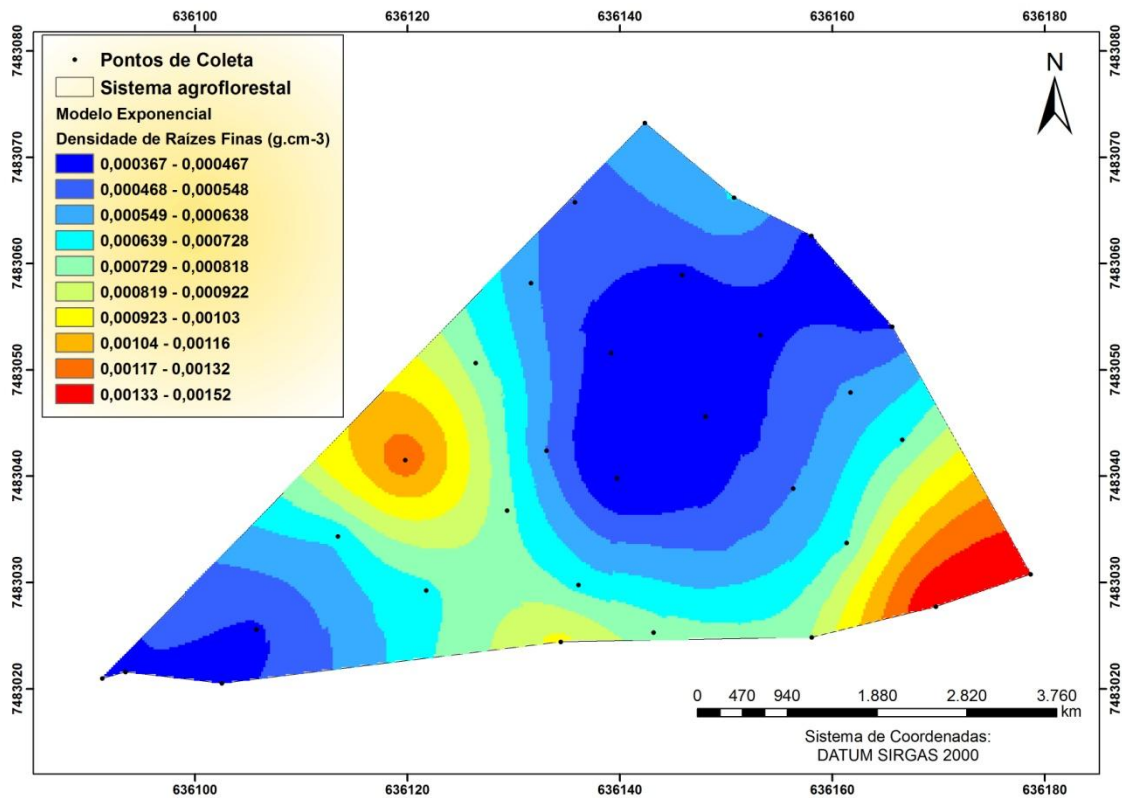


Figura 6: Mapa da distribuição espacial de densidade de raízes finas pelo modelo exponencial, no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47, por meio da Krigagem Ordinária de primeira ordem.

Somando-se a isso, ao observar o mapa de distribuição de árvores e regeneração do SAF (Figura 7), onde o teor de argila foi maior, a densidade de plantas (árvores e regeneração) foi menor. Segundo Menezes *et al.*, (2010) a distribuição do sistema radicular,

assim como o seu crescimento e produção, é influenciado pela interação da genética do vegetal com uma variedade de características relativas ao solo.

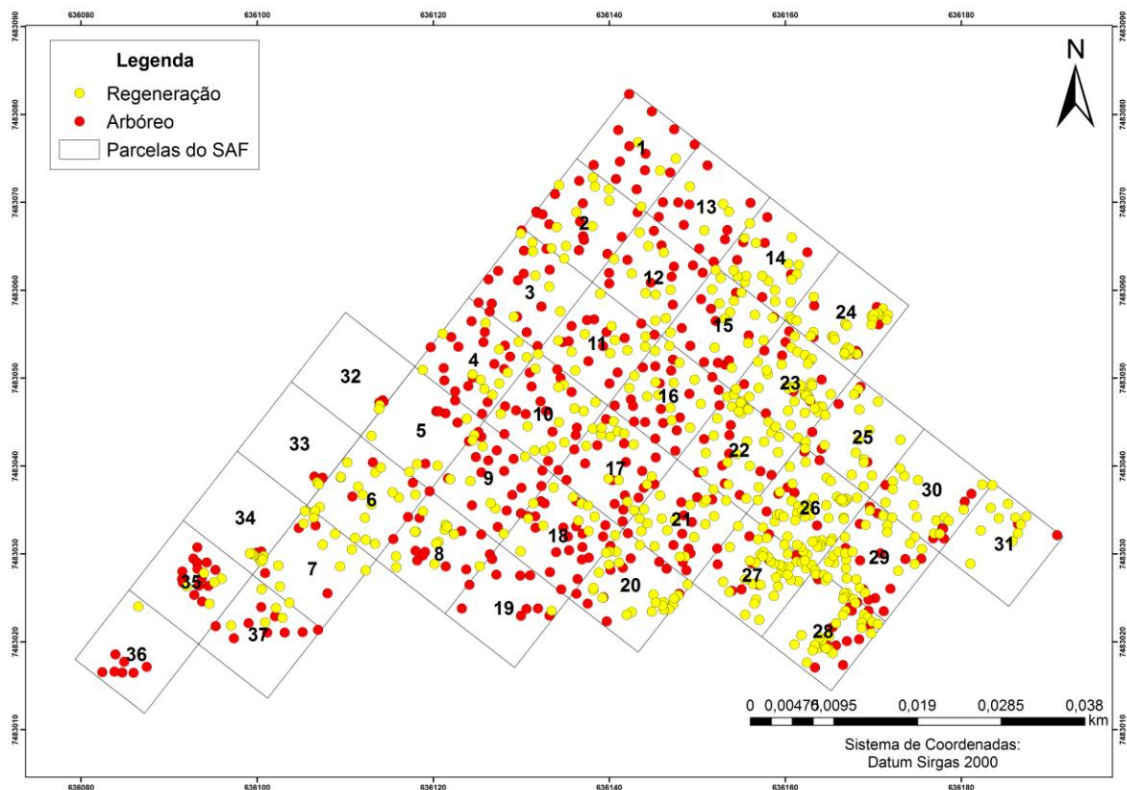


Figura 7: Mapa da distribuição das árvores e da regeneração no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47.

A área de maior crescimento radicular, além de ser um local de menor teor de argila, foi onde ocorreu a maior concentração de regenerações. O crescimento radicular é influenciado pelo tipo de espécie plantada ou material genético e sua relação com as condições edafoclimáticas (MELLO *et al.*, 1998; MORENO *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2009; CHRISTINA *et al.*, 2011). Nesta área de maior densidade de raízes finas foram encontradas espécies pertencentes à família Arecaceae, como a pupunha, açaí e juçara. Segundo Veiga *et al.* (2000) e Sampaio (2007), a pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth.) apresenta o sistema radicular fasciculado e superficial, não sendo tolerante à seca e solos encharcados.

É importante observar que também existe uma área no SAF que o crescimento radicular foi menor em uma área de baixo teor de argila, sendo esta uma região com um predomínio de árvores e menor quantidade de regenerações.

A distribuição das raízes finas ao longo da profundidade efetiva de solos, tanto naqueles de textura arenosa quanto nos mais argilosos, expressam regularmente um decréscimo no crescimento radicular com o aumento da profundidade (SILVA *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2011; CHRITINA *et al.*, 2011). Já na distribuição horizontal dessa variável, podem ser encontrados agrupamentos de raízes concentradas em rachaduras, gretas ou covas de animais, podendo ocorrer naturalmente em certas regiões, particularmente com sistemas radiculares que possuem alta quantidade de ramificações curtas (ZONTA *et al.*, 2006). Porém, tanto o crescimento horizontal como o crescimento vertical do sistema radicular pode ser

influenciado pela competição por recursos edáficos entre os componentes do SAF (MORENO *et al.*, 2005).

6. CONCLUSÃO

O modelo exponencial foi o que melhor se ajustou para a variável argila total e para a densidade de raízes finas, podendo ser utilizado para retratar a continuidade espacial dessas variáveis no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47.

A distribuição de densidade de raízes finas no solo é influenciada tanto por fatores edafoclimáticos, principalmente pelos atributos físicos, e pelas características de crescimento das espécies implantadas.

Assim, mesmo o teor de argila total não ser o único fator que pode explicar o crescimento radicular, ele mostrou uma relação na qual quanto maior o teor de argila na área considerada, menor a densidade raízes finas.

Em pesquisas futuras, será realizado o semivariograma das variáveis avaliadas neste presente estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba-RS: Agropecuária, 2002.

ALVARENGA, M. I. N. **Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas**. 1996. 211f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

ALVARENGA, M. I. N.; SOUZA, J. A. **Atributos do solo e o impacto ambiental**. 1995. 140p. (Especialização – Tutoria à distância em Solos e Meio Ambiente) – Escola Superior de Lavras, Lavras, 1995.

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

AMARAL, G. **Características químicas e físicas de diferentes classes de solo da zona metalúrgica mineira e produtividade de eucalipto**. 2000. 98p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

BAESSO, R. S.; SOUZA, A. A. O coeficiente de determinação é uma medida confiável do poder explicativo de modelos de estimação do valor intrínseco das ações negociadas na Bovespa? In: CONGRESSO USP DE CONTROLADORIA E CONTABILIDADE, 10., São Paulo, 2010. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.congressosp.fipecafi.org/web/artigos102010/261.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. S. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.44, n.1, p.1-9, jan./mar. 2013.

BRASIL, F. C. **Estudos de características radiculares de uma pastagem de *Brachiaria humidicola* com auxílio de análise digital de imagens**. 2001. 137p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

BRUS, D. **Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil**. 1993. 211p. Tese (Doutorado) – Agricultural University, Wageningen, 1993.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information Systems for Land Resources Assessment**. New Work: Oxford University Press, 1986.

CALLE-RENDÓN, B. R.; MORENO, F.; CÁRDENAS-LÓPEZ, D. Relación entre suelos y estructura Del bosque em La Amazonía colombiana. **Revista de Biología Tropical**, Costa Rica, v.59, n.3, p.1307-1322, 2011.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: FUKS, S. D.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2002. 37p.

CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Importância da fixação biológica de nitrogênio na recuperação e sustentabilidade de pastagens nas áreas montanhosas da Mata Atlântica. In: **Atividades Silvopastoris em Sistemas Sustentáveis de Produção de Leite na Região da Mata Atlântica**. Juiz de Fora: Embrapa, 2000.

CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, G. T. A.; NÓBREGA, P. O.; VIEIRA, A. L. M.; FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. Implantação e Manejo de SAF's na Mata Atlântica: A Experiência da Embrapa Agrobiologia. In: GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; FREITAS, M. S. M.; VIANA, A. P.; JASMIN, J. M.; MARCIANO, C. R.; CARNEIRO, J. G. A (eds). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. Cap.1, p.33-42.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2013. 605 p.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, ago. 2002.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, nov. 2004.

CHRISTINA, M.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, v.2, n.3, p.1-10, 2011.

- COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. Aumento da matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.587-589, 2004.
- CUENCA, G.; ARANGUREN, J.; HERRERA, R. Root growth and litter decomposition in a coffee plantation under shade trees. **Plant and Soil**, [S.I.], v.71, p.477-486, 1983.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.3, p.453-461, jul./set. 2012.
- DEVIDE, A. C. P. **Adubos verdes para sistemas agroflorestais com guanandi cultivado em várzea e terraço fluvial**. 2013. 37p. Tese (Doutorado em Fitotecnia – Área de Concentração Agroecologia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Till. Res.**, v.11, p.199-238, 1988.
- DUBOIS, J. C. L. **Manual Agroflorestal para a Amazônia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: REBRAAF/Fundação Ford, 1998.
- FERREIRA JUNIOR, W. G.; SCHEFER, C. E. G. R.; SILVA, A. F. Uma visão pedogeomorfológica sobre as formações florestais da Mata Atlântica. In: MARTINS, S. V. (Org). **Ecologia de Florestas Tropicais no Brasil**. Viçosa, MG. Ed.: UFV, 2012. 371p.
- FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Manejo integrado na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas produtivos utilizando a fixação biológica de nitrogênio como fonte de nitrogênio. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. eds. **Processos biológicos no sistema solo-planta**: Ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.201-220.
- FRANCO, F. S. **Sistemas agroflorestais**: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na zona da mata de Minas Gerais. 2000. 148f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Levantamento fitossociológico comparativo entre sistema agroflorestal multiestrato e capoeiras como ferramentas para a execução da reserva legal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.67, p.203-225, jul./set. 2011.
- FUKS, S. D. Novos modelos para mapas derivados de informações de solos. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (Ed.) **Sistemas de Informações Geográficas**. 2 ed. Brasília: Serviço de Produção de Informação/Embrapa, 1998. Cap.19, p.373-410.
- GOEDERT, W. J. ; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 18, p.992-1017.

- GOIS, G.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. Modelos teóricos transitivos aplicados na interpolação espacial do índice de precipitação padronizada (SPI) para episódios de El Niño forte no estado do Tocantins. **Irriga**, Botucatu, v.20, n.2, p.371-387, abr./jun. 2015.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. C.; MATA, J. D. V. Análises exploratórias e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p.1149-1157, 2001.
- GONÇALVES, J. L. M. **Interações genótipo-ambiente e relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo**. 1990. 135p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- GÖTSH, E. **Break-trough in Agricultures**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1995.
- GUEDES, T. A.; ACORSI, C. R. L.; MARTINS, A. B. T.; JANEIRO, V. **Estatística descritiva**. Projeto de ensino: aprender fazendo estatística, 2005. Disponível em: <http://www.ime.usp.br/~rvicente/Guedes_et al_Estatistica_Descritiva.pdf>. Acesso em: 28 out. 2015.
- HILDRETH, L. A. The economic impacts of agroforestry in the Northern Plains of China. **Agrofor Syst**, [S.I.], v.72, p.119-126, 2008.
- KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.361-369, 2007.
- KUHLMANN, E. **O domínio da Caatinga**. Boletim Geográfico. n.33. Rio de Janeiro -RJ: UFRJ, 1984. p.65-72.
- LEMOS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; ANDRADE, L. A. B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.39, n.2, p.193-202, abr./jun.2008.
- LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte de Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.1, p.51-60, 2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.68-75, jan. 2009.
- MACHADO, R. V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrossequência de solos bem a muito mal drenados**. 1994. 88p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1994.

- MAGALHÃES, S. S. A.; WEBER, O. L. S.; SANTOS, C. H.; VALADÃO, F. C. A. Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do Oeste - RO. **Acta Amazonica**, Manaus, v.43, n.1, p.63-72, 2013.
- MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.
- MARTIN, T. N.; MARCHESI, J. A.; SOUSA, A. K. F.; CURTI, G. L.; FOGOLARI, H. CUNHA, V. S. Uso do *software* IMAGEJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Interciência**, São Paulo, v.38, n.12, p.843-848, dez. 2013.
- MATIAS, M. I. A. S. **Influência de cobertura vegetal na disponibilidade de nutrientes e na distribuição do sistema radicular em Latossolo Amarelo coeso de Tabuleiro Costeiro**. 2003. 78p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2003.
- MATOS, F. O.; CASTRO, R. M. S.; RUIVO, M. L. P.; MOURA, Q. L. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.19, n.3, p.257-266, jul./set. 2012.
- MC BRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **J. Soil Sci.**, v.37, p.617-639, 1986.
- MÉIER, M.; TEIXEIRA, H. M.; FERREIRA, M. G.; FERRARI, E. A.; LOPES, S. I.; LOPES, R.; CARDOSO, I. M. Sistemas agroflorestais em áreas de preservação permanente. **Revista Agriculturas: experiências em agroecologia**, Botafogo, v.8, n.2, p.12-17, 2011.
- MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; OLIVEIRA, L. E. G. Características do sistema radicular em povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. **Scientia Forestalis**, São Paulo, n.54, p.17-28, dez. 1998.
- MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.3, p.375-383, 2001.
- MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, [S.I.], v. 57, n.2, p.117-125, 2003.
- MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C.; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. Aporte e decomposição da serrapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.3, p.439-452, jul.-set., 2010.
- MENEZES, J. M. T.; LEEUWEN, J.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; LEANDRO, R. C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no Norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.2, p.893-898, mar./abr. 2008.
- MORENO, G.; OBRADOR, J. J.; CUBERA, E.; DUPRAZ, C. Fine root distribution in Dehesas of Central-Western Spain. **Plant and Soil**, v.227, p.153-162, 2005.

NOGUEIRA, R. S.; OLIVEIRA, T. S.; TEXEIRA, A. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Redistribuição de carbono orgânico e fósforo pelo escoamento superficial em sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais no semiárido cearense. **Revista Ceres**, Viçosa, v.55, n.4, p.327-337, 2008.

ORTIZ, J. J. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. 2003. 205f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PASSOS, C. A. M.; COUTO, L. Sistemas agroflorestais potenciais para o Estado do Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS FLORESTAIS PARA O MATO GROSSO DO SUL, 1., 1997, Doutorados. *Resumos...* Doutorados: Embrapa - CPAO, 1997. p.16-22. (Embrapa - CPAO. Documentos, 10).

PENEIREIRO, F. M. **Agroflorestas sucessionais**: princípios para implantação e manejo (texto elaborado para contribuir com um capítulo no Manual Agroflorestal da Mata Atlântica – no prelo). Revisão: Mutirão Agroflorestal. 14p. nov. 2007. Disponível em:<http://tctp.cpatu.embrapa.br/bibliografia/1_Principios%20da%20agrofloresta.pdf>. Acesso em: 7 jun 2015.

PENEIREIRO, F. M. **Sistemas Agroflorestais dirigidos pela sucessão natural**: um estudo de caso. 1999. 138p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J.; MAS, A.; SOTO-PINTO, L. Biodiversity, yield and shade coffee certification. **Ecological Economics**, v.54, n.4, p.435-446, 2005.

PETERNELLI, L. A. **Estatística descritiva**. INF 162. 2005. Cap. 2, p.13-27. Disponível em: <http://www.each.usp.br/rvicente/Paternelli_Cap2.pdf>. Acesso em: 28 out. 2015.

PREZOTTI, L. C. **Nível crítico de potássio no solo para a adubação de mudas de eucalipto**. 1985. 45p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Eds). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. p.69-111.

RABAH, F. A. **Dependência espacial de atributos do solo obtidos por meio de semivariograma e autocorrelogramas**. 2002. 90p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus Botucatu, Botucatu, 2002.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, SOBRADE, 1998, p.163-176.

RODIGHERI, H. R. Rentabilidade econômica comparativa entre plantios florestais, sistemas agroflorestais e cultivos agrícolas. In: GALVÃO, A. P. M (org.). **Reflorestamento de**

propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. Cap.17, p.323-332.

SALGADO, B. G.; MACEDO, R. L. G.; ALVARENGA, M. I. N.; VENTURIN, N. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.343-349, abr. 2006.

SAMPAIO, L. C. **Análise técnica e econômica do cultivo de pupunha e de palmeira-real para produção de palmito em Cachoeiras de Macacu, RJ.** 2007. 58p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

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**, Campina Grande, v.16, n.8, p.828-835, 2012.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. C. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R., VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão.** Viçosa: UFV, 2000.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R. & ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, p.265-68, 1984.

SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v.13, n.1, p.77-86, jan./jun. 2011.

SILVA, E. V.; BOUILLET, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; ABREU JUNIOR, C. H.; TRIVELIN, P. C. O.; HINSINGER, P.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P. Functional specialization of *Eucalyptus* fine roots: contrasting potential uptake rates for nitrogen, potassium and calcium tracers at varying soil depths. **Functional Ecology**, v.25, p.996-1006, 2011.

SILVA, E. V.; GONÇALVES, J. L. M.; COELHO, S. R. F.; MOREIRA, R. M.; MELLO, S. L. M.; BOUILLET, J. P.; JOURDAN, C.; LACLAU, J. P. Dynamics of fine root distribution after establishment of monospecific and mixed-species plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium*. **Plant and Soil**, v.325, p. 305-318, 2009.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Multivariate analysis and geostatistics of the fertility of a humic Rhodic Hapludox under coffee cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.2, p.467-474, 2012.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.1, p.1-8, jan./mar. 2010.

- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.
- SKORUPA, A. L. A.; GUILHERME, L. R. G.; CURTI, N.; SILVA, C. P. C.; SCOLFARO, J. R. S.; SÁ, J. J. G.; MARQUES, M. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.11-22, 2012.
- SMITH, N.; DUBOIS, J.; CURRENT, D.; CLEMENT, C. **Experiências agroflorestais na Amazônia Brasileira: restrições e oportunidades**. Brasília: Banco Mundial, 1998.
- SOUSA, K. L. **Efeito da textura do solo no crescimento inicial de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2012. 38p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2012.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.491-499, maio 2004.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho Eutroférrico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.309-319, maio/ago. 2004.
- SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.699-707, 2001.
- TORRES, N. R. **Análise de regressão: notas de aula**. São Paulo: Apostila FAU – USP, 2007.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, n.1, p.45-93, 1985.
- VEIGA, J. B.; ALVES, C. P.; MARQUES, L. C. T.; VEIGA, D. F. **Sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 62p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 56).
- VIANA, V. Conceitos sobre sistemas agroflorestais In: **Dossiê sobre sistemas agroflorestais no domínio da Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 64p.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; SHAEFER, E. E. R. **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.2-54.
- VIEIRA, S.R. **Geoestatística aplicada à agricultura de precisão**. In: BOREM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Editora UFV, 2000. p.93-108.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Palm Beach, v.2, n.2, p.184-194, 1981.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, Oldendorf/Luhe, v.30, p.79-82, 2005.

YARED, J. A. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; MARQUES, L. C. T.. **Agrossilvicultura: conceitos, classificação e oportunidades para a aplicação na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 39p.(Embrapa-CPATU.Documentos, 104).

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2.ed. Wallingford: ICRAF and CAB International, 1997.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S. (editor) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Cap. 2, p.7-52.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; SOFIATTI, V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.6, p.595-602, 2014.