

UFRRJ

INSTITUTO DE FLORESTAS

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

DISSERTAÇÃO

**Espacialização de Atributos do Solo e Indicadores
Fitossociológicos em Sistemas Florestais no Bioma
Mata Atlântica**

Camila Santos da Silva

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**ESPACIALIZAÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO E INDICADORES
FITOSSOCIOLÓGICOS EM SISTEMAS FLORESTAIS NO BIOMA
MATA ATLÂNTICA**

CAMILA SANTOS DA SILVA

Sob a Orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Co-orientação do Professor
Rafael Coll Delgado

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2018

S586e Silva, Camila Santos da, 1991-
Espacialização de atributos do solo e indicadores fitossociológicos em sistemas florestais no bioma Mata Atlântica / Camila Santos da Silva. - 2018.
67 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.
Coorientador: Rafael Coll Delgado.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, 2018.

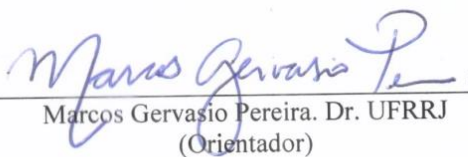
1. Sistemas agroflorestais. 2. Restauração ecológica. 3. Geoestatística. 4. Atributos químicos, físicos e biológicos do solo. 5. Inventário florestal. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-, orient. II. Delgado, Rafael Coll, -, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

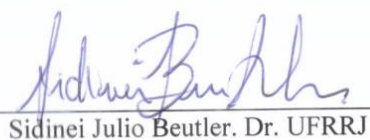
CAMILA SANTOS DA SILVA

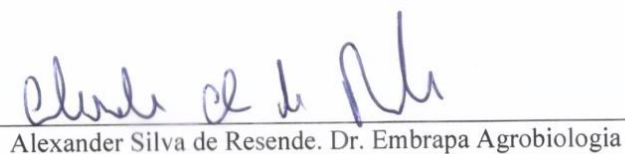
Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Ciências, no Programa de Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/02/2018.


Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
(Orientador)


Emanuel José Gomes de Araújo. Dr. UFRRJ


Sidinei Julio Beutler. Dr. UFRRJ


Alexander Silva de Resende. Dr. Embrapa Agrobiologia

*À Vida, ao Universo e tudo mais,
aos meus pais, Sônia e Jocinei, e a minha avó, Maria José,
pela educação que me deram e por terem moldado o meu caráter,
e ao meu companheiro, Israel, pelo apoio, compreensão e incentivo.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelo ensino e pela experiência de vida que continuamente me proporciona.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, pelo ensino de excelência e por me formar no campo técnico e científico.

A CAPES pela bolsa concedida.

Ao meu orientador, Marcos Gervasio Pereira, por todos os ensinamentos, pela amizade, por ser tão solícito e paciente.

Ao meu co-orientador, Rafael Coll Delgado, por sempre estar disponível e participativo.

Aos professores Emanuel José Gomes de Araújo, Eduardo Vinicius da Silva e Daniel Costa de Carvalho, pela ajuda em campo, pelas dúvidas sanadas e pela disponibilidade.

Aos membros do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo por serem solícitos, pela amizade e pelas conversas durante o cafezinho da tarde. Aos amigos Shirlei, Deyvid, Luiz, Mel, Ari, Anderson e Vanessa Freo, que me ajudaram em inúmeras análises.

À Cris e suas estagiárias por me ajudarem nas análises dos atributos biológicos e pela disponibilidade.

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

Ao Instituto de Tecnologia da UFRRJ, especialmente ao curso de Agrimensura, pela disponibilidade dos aparelhos e ao Engenheiro de Agrimensura, Souhayl Ayoubi, pelo trabalho em georreferenciar as áreas de estudo.

À Fazendinha Agroecológica por disponibilizar a área do SAF para o nosso estudo.

À empresa Acácia Amarela, em especial ao Alysson, por sempre estar disposto em nos ajudar e ser tão solícito.

Ao Sérgio, proprietário da propriedade em Magé, que sempre disponibilizava a área pra gente trabalhar.

As amigas Nat e Fabi, pela amizade, amparo e pelas longas conversas e risadas.

Enfim, a todos que me ajudaram de alguma forma a chegar até aqui.

Muito obrigada!

RESUMO GERAL

SILVA, Camila Santos da. **Espacialização de atributos do solo e indicadores fitossociológicos em sistemas florestais no bioma Mata Atlântica**. 2018. 67p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

O sistema agroflorestal (SAF) e a restauração ecológica são tipos de uso do solo que promovem sua cobertura, promovendo melhorias nos seus atributos químicos, físicos e biológicos, aumentam a biodiversidade, ampliam e/ou melhoram os serviços ecossistêmicos, entre outras funções. A geoestatística é uma ferramenta que pode ser utilizada para estimar e correlacionar os atributos do solo e os parâmetros fitossociológicos, auxiliando no manejo, na tomada de decisão, na compreensão da distribuição e relação entre essas variáveis. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo espacializar os atributos do solo no SAF e correlacionar espacialmente estes e os aspectos fitossociológicos em um área em processo de restauração ecológica, ambas áreas na Mata Atlântica. No SAF, localizado em Seropédica – RJ, foram alocados 31 pontos amostrais, no qual em cada ponto foram coletadas amostras de terra na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, nos quais foram avaliados a fertilidade do solo, densidade de raízes finas, fracionamento químico e físico da matéria orgânica do solo (MOS). Na área de restauração ecológica, esta localizada em Magé – RJ, foram alocados 49 pontos amostrais, no qual em cada ponto foram coletadas amostras de terra na profundidade de 0-10 cm, em que foram realizados o fracionamento físico da MOS, carbono oxidável permanganato, nitrogênio total, proteína do solo relacionada à glomalina – facilmente extraível e abundância de esporos de fungos micorrízicos arbusculares. Na área de restauração também foram avaliados altura, área basal, riqueza, densidade, índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e número de indivíduos pertencentes à família Fabaceae para o componente arbóreo, e riqueza, densidade, índice de diversidade H' e número de indivíduos pertencentes à família Fabaceae para os indivíduos regenerantes. Foi realizada a análise semivariográfica de cada variável nas duas áreas, no qual os modelos de semivariograma testados foram: esférico, exponencial e gaussiano. Para a escolha do melhor modelo foram utilizados diferentes parâmetros, a título de exemplo: grau de dependência espacial (GDE %), coeficiente de correlação e determinação (r e r^2), índice de concordância de Willmott (d), critério de informação de Akaike (AIC), entre outros. Comprovada a estrutura de dependência espacial, foi realizado o mapeamento por meio da Krigagem Ordinária. A maioria das variáveis apresentou dependência espacial. Aquelas que apresentaram efeito pepita puro (EPP), fato ocorrido apenas no SAF, foi sugerido utilizar outros métodos geoestatísticos que não necessitam da presença da dependência espacial ou voltar em campo e aumentar o número de pontos amostrais e/ou diminuir o espaçamento entre eles. Através dos mapas foi possível analisar a distribuição espacial das variáveis. No SAF eles podem auxiliar em futuros manejos realizados na área. Enquanto que na restauração ecológica, o mapeamento possibilitou a verificação da relação espacial entre as variáveis, visto que atributos de mesma natureza possuíram maiores relações entre si. Além disso, verificou-se que as variáveis do estudo podem ser utilizadas como indicadoras em avaliações e monitoramentos de áreas em processo de restauração ecológica.

Palavras-chave: sistema agroflorestal, restauração ecológica, geoestatística.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, Camila Santos da. **Espacialization of soil attributes and phytosociological indicators in forest systems in the Atlantic Forest biome**. 2018. 67p. Dissertation (Masters in Environmental Science and Forestry). Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

The agroforestry system (AFS) and ecological restoration are types of land use that promote its coverage, promoting improvements in its chemical, physical and biological attributes, increase biodiversity, increase and/or improve ecosystem services, among other functions. Geostatistics is a tool that can be used to estimate and correlate soil attributes and phytosociological parameters, assisting in management, decision making, understanding of the distribution and relationship between these variables. Therefore, the present study aimed to spatialize the soil attributes in the AFS and to correlate spatially these and the phytosociological aspects in an area in process of ecological restoration, both areas in the Atlantic Forest. In the AFS, located in Seropédica – RJ, 31 sample points were allocated, in which at each point soil samples were collected at depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm, in which were evaluated soil fertility, density of fine roots, chemical and physical fractionation of soil organic matter (SOM). In the area of ecological restoration, located in Magé – RJ, 49 sample points were allocated, in which at each point soil samples were collected at 0-10 cm depth, in which were evaluated the physical fractionation of SOM, permanganate oxidizable carbon, total nitrogen, easily extractable glomalin-related soil protein and spores abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. In the restoration area were also evaluated height, basal area, richness, density, diversity index of Shannon-Weaver (H') and number of individuals belonging to the Fabaceae family for the arboreal component, and richness, density, diversity index H' and number of individuals belonging to the Fabaceae family to the regenerating individuals. Semivariographic analysis of each variable in the two areas was performed, in which the semivariogram models tested were spherical, exponential and Gaussian. For the choice of the best model, different parameters were used, for instance: degree of spatial dependence (DSD %), correlation coefficient and determination (r , r^2), Willmott concordance index (d), Akaike information criterion (AIC), among others. After proving the structure of spatial dependence, the mapping was carried out by means of the Ordinary Kriging. Most of the variables presented spatial dependence. Those that had a pure nugget effect (PEP), which occurred only in AFS, were suggested to use other geostatistical methods that do not require the presence of spatial dependence or to return to the field and increase the number of sample points and/or reduce the spacing between them. Through the maps it was possible to analyze the spatial distribution of the variables. At AFS they can assist in future management in the area. While in the ecological restoration, the mapping enabled the verification of the spatial correlation between the variables, since attributes of the same nature have higher correlations. In addition, it was verified that the study variables can be used as indicators in evaluations and monitoring of areas in process of ecological restoration.

Keywords: agroforestry system, ecological restoration, geostatistics.

ÍNDICE DE TABELAS

- Tabela 1.** Parâmetros dos modelos de semivariância para as variáveis do solo, no sistema agroflorestal do Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, Seropédica, RJ. 9
- Tabela 2.** Análise estatística dos atributos químicos e físicos do solo, no sistema agroflorestal do Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, Seropédica, RJ. 10
- Tabela 3.** Análise descritiva dos teores de COT, CO_p e CO_{am} (g kg⁻¹) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, e C-FAF, C-FAH e C-HUM (g kg⁻¹) de 0-10 cm de um SAF, na Mata Atlântica. 25
- Tabela 4.** Estimativas dos parâmetros e modelos dos semivariogramas ajustados dos teores de COT, CO_p e CO_{am} (g kg⁻¹) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, e C-FAF, C-FAH e C-HUM (g kg⁻¹) de 0-10 cm, de um SAF, na Mata Atlântica. 26
- Tabela 5.** Caracterização das propriedades químicas e físicas do solo da área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica. 39
- Tabela 6.** Análise descritiva dos atributos do solo, componente arbóreo e regenerante na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica. 41
- Tabela 7.** Parâmetros e modelos teóricos ajustados para as variáveis na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica. 42

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do sistema agroflorestal no Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, em Seropédica, RJ. 6
- Figura 2.** Mapas da distribuição espacial do pH (A), H+Al (B), Ca²⁺ (C), Al³⁺ (D), Na⁺ (E), K⁺ (F), P (G) e C (H), no sistema agroflorestal do Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, Seropédica, RJ. 12
- Figura 3.** Mapas da distribuição espacial de argila total (A), areia total (B), silte (C), densidade de raízes finas (D) e Valor T (E), no sistema agroflorestal do Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, Seropédica, RJ. 13
- Figura 4.** Mapas de distribuição espacial das variáveis carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de um SAF, na Mata Atlântica. 27
- Figura 5.** Mapas de distribuição espacial do carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH) e humina (C-HUM) de 0-10 cm, em um SAF, na Mata Atlântica. 28
- Figura 6.** Localização do plantio florestal no município de Magé, Rio de Janeiro, Brasil. 38
- Figura 7.** Mapas com as distribuições dos atributos do solo na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica. 44
- Figura 8.** Mapas com as distribuições das variáveis do componente arbóreo na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica. 45
- Figura 9.** Mapas com as distribuições das variáveis do componente regenerante na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica. 45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
2	CAPÍTULO I	2
2.1	RESUMO	3
2.2	ABSTRACT	4
2.3	INTRODUÇÃO	5
2.4	MATERIAL E MÉTODOS	6
2.4.1	Área de estudo	6
2.4.2	Coleta de amostras e georreferenciamento	7
2.4.3	Análises dos atributos químicos e físicos	7
2.4.4	Determinação da densidade de raízes finas	7
2.4.5	Análise geoestatística	7
2.4.6	Análise estatística	8
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
2.5.1	Semivariograma	9
2.5.2	Análise estatística	10
2.5.3	Distribuição espacial	11
2.6	CONCLUSÕES	15
2.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
3	CAPÍTULO II	19
3.1	RESUMO	20
3.2	ABSTRACT	21
3.3	INTRODUÇÃO	22
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.6	CONCLUSÕES	30
3.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
4	CAPÍTULO III	34
4.1	RESUMO	35
4.2	ABSTRACT	36
4.3	INTRODUÇÃO	37
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41

4.6	CONCLUSÕES	48
4.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
5	CONCLUSÕES GERAIS	53
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1 INTRODUÇÃO GERAL

As regiões tropicais foram marcadas no passado pela exploração florestal, a cafeicultura, pecuária leiteira e de corte, causando a degradação dos solos e a perda de serviços ecossistêmicos (MATEUS et al., 2013). Atualmente, existem práticas que podem reverter ou reduzir os efeitos negativos do desmatamento de vários biomas brasileiros. Estas são capazes de conciliar a produção de alimentos e a continuidade da capacidade produtiva a médio e longo prazo, com a efetuação de leis para conservação dos recursos naturais, da biodiversidade e proteção do solo contra a degradação (FROUFE; SEOANE, 2011).

Existem dois tipos de uso do solo que podem promover o aumento da cobertura florestal: os Sistemas Agroflorestais (SAFs) e a restauração ecológica. Os SAFs contribuem para conservar o solo, recuperar áreas degradadas, proteger as bacias hidrográficas, aumentar o sequestro de carbono e a biodiversidade, além de favorecer o controle climático (MÉIER et al., 2011) e promover a produção sustentável (LIMA et al., 2011). A restauração ecológica, segundo a *Society for Ecological Restoration – SER* (2004), é um processo de subsídio à recuperação de um ecossistema que foi suprimido, degradado ou danificado. Portanto, com a restauração do ecossistema pretende-se conservar a biodiversidade, restaurar as funções de proteção e de habitat dos ecossistemas e controlar as vazões de bacias (LOURO, 2010).

Os programas de recuperação de áreas degradadas envolvem operações onerosas e complexas. Logo, a determinação de zonas de recuperação específicas pode permitir a utilização de diferentes métodos de intervenção para restaurar o ambiente (AMARAL et al., 2013). Porém, é necessário compreender o padrão espacial e temporal dos atributos do solo (SANTOS et al., 2013) e a presença de estrutura de dependência espacial que as variáveis biológicas possuem (ODA-SOUZA et al., 2008). A geoestatística pode ser utilizada para detectar a dependência espacial e espacializar essas variáveis, pois possui importantes instrumentos de modelagens espaciais, auxiliando no estudo de uma dada variável no espaço e/ou no tempo (AMARAL et al., 2013).

Atualmente, há poucas pesquisas que utilizam a geoestatística como ferramenta para potencializar o manejo em sistemas agroflorestais e na restauração ecológica, como modo de entender a distribuição dos atributos do solo e dos parâmetros fitossociológicos, bem como correlacioná-los. Portanto, esta ferramenta pode ser empregada no estudo da variabilidade dos atributos do solo e da fitossociologia, com a finalidade de monitorar o processo de recuperação de áreas a serem restauradas ou de áreas degradadas. Diante do exposto, este trabalho está dividido em três capítulos:

O capítulo I, intitulado “Espacialização dos atributos químicos e físicos do solo em um sistema agroflorestal, Seropédica, RJ”, teve como objetivo espacializar os atributos físicos (argila total, areia total e silte) e químicos (pH, H+Al, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, Na⁺, K⁺, fósforo, carbono orgânico total (COT), Valores T e V) do solo e densidade de raízes finas no SAF.

No capítulo II, “Espacialização das frações da matéria orgânica do solo sob um sistema agroflorestal, na Mata Atlântica” foram espacializadas as frações químicas (humina, ácido fúlvico e húmico) e físicas (carbono orgânico particulado e associado aos minerais) da matéria orgânica do solo e carbono orgânico total (COT).

O capítulo III, que tem por título “Relação espacial entre indicadores edáficos e fitossociológicos em uma restauração ecológica no bioma Mata Atlântica” objetivou avaliar a relação espacial entre os indicadores edáficos (COT, carbono orgânico particulado e associado aos minerais, carbono oxidável permanganato, nitrogênio total, proteína do solo relacionada à glomalina – facilmente extraível e abundância de esporos de fungos micorrízicos arbusculares) e fitossociológicos (componente arbóreo e regenerante) em uma área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica.

2 CAPÍTULO I

ESPACIALIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL, SEROPÉDICA, RJ¹

¹Capítulo foi publicado na forma de artigo na Revista Cerne, v. 22, n. 4, p. 407-414, 2016.

2.1 RESUMO

Neste trabalho, objetivou-se espacializar os atributos químicos e físicos do solo em um sistema agroflorestal no município de Seropédica, Rio de Janeiro. Foram coletadas 31 amostras de terra, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo cada ponto de coleta georreferenciado. Foram determinados pH (em H₂O), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), fósforo (P), carbono orgânico total (C), capacidade de troca catiônica do solo (Valor T), saturação por bases (Valor V), argila total, areia total, silte e densidade de raízes finas. O software ArcGIS 10.2 foi utilizado para fazer a análise semivariográfica e o ajuste dos modelos e, posteriormente, foi empregado a interpolação espacial através da Krigagem Ordinária de primeira ordem de três modelos espaciais, esférico, exponencial e gaussiano. De acordo com os resultados, apenas os modelos exponencial e gaussiano foram ajustados para as variáveis, exceto para as variáveis Mg²⁺ e Valor V, pois não apresentaram dependência espacial, assim expressando efeito pepita puro (EPP). Foram gerados os mapas de distribuição para as variáveis (exceto para aquelas que exibiram EPP), onde ocorreu uma correlação entre as variáveis pH e Al³⁺, C e cátions, fósforo e argila total, e silte e areia. A geoestatística pode ser aplicada para espacializar os atributos químicos e físicos do solo no sistema agroflorestal, exceto no caso do Mg²⁺ e Valor V.

Palavras-chave: modelos espaciais, conservação do solo, sustentabilidade.

2.2 ABSTRACT

The purpose of this study was to spatialize the chemical and physical attributes of the soil in an agroforestry system in Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil. Thirty-one soil samples were collected from 0–10, 10–20, and 20–40 cm depths, and each sampling point was georeferenced. The pH (in H₂O), potential acidity (H+Al), calcium (Ca⁺²), magnesium (Mg⁺²), aluminum (Al⁺³), sodium (Na⁺), potassium (K⁺), phosphorus (P), total organic carbon (C), cation exchange capacity of the soil (T value), base saturation (V value), total clay, total sand, silt, and density of fine roots were measured. The software ArcGIS 10.2 was used to perform the semivariogram analysis and the fitting of the models, and spatial interpolation was performed using a first-order trend ordinary kriging process with spherical, exponential, and gaussian spatial models. Based on the results, only the exponential and gaussian models were fitted to the variables, except for the Mg²⁺ and V value variables, which presented no spatial dependence, thus showing a pure nugget effect (PNE). Distribution maps were generated for the variables (except for those exhibiting PNE), which showed correlation between the variables pH and Al³⁺, C and cations, phosphorus and total clay, and silt and sand. Overall, geostatistics could be applied to spatialize the chemical and physical attributes of the soil in the agroforestry system, except in the case of Mg²⁺ and the V value.

Keywords: spatial models, soil conservation, sustainability.

2.3 INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) vêm sendo amplamente difundidos por possuírem uma produção sustentável e indicados como alternativa de uso pela agricultura familiar (LIMA et al., 2011), além de serem uma forma eficaz de promover a conservação do solo, pois recuperam áreas degradadas, protegem os solos e as bacias hidrográficas, ampliam o sequestro de carbono, melhoram o clima e aumentam a biodiversidade (MÉIER et al., 2011).

Devido aos diversos estratos vegetais que podem ser formados em função das espécies que são utilizadas para compor os SAFs, podem surgir dificuldades no seu manejo em decorrência da complexidade em disponibilizar luz, água e nutrientes para todas as espécies (DONATO; LIMA, 2013). Deste modo, é essencial determinar como o manejo pode interferir na disponibilidade de nutrientes, podendo ser realizado a quantificação dos teores de nutrientes, para simular o resultado desses fatores nesses sistemas de produção (LIMA et al., 2011).

Para empregar diferentes adubações, manejos do solo e cultivos, objetivando a produtividade dos mesmos, é necessária uma análise minuciosa da variabilidade dos atributos do solo, onde é possível recomendar alternativas de manejo para a diminuição dos efeitos da sua variabilidade sobre a produção das culturas (DALCHIAVON et al., 2012).

Pesquisas em geoestatística com a finalidade de compreender a variabilidade espacial dos atributos do solo vêm conquistando destaque e importância recentemente no Brasil (BOTTEGA et al., 2013; ZONTA et al., 2014). Essa ferramenta tem sido de grande aplicação na ciência do solo e em outras para caracterizar e analisar a variação espacial de suas características (BOTTEGA et al., 2013; GOIS; DELGADO; OLIVEIRA-JÚNIOR, 2015), possibilitando também a produção de mapas através da Krigagem (DALCHIAVON et al., 2012).

Verifica-se que atualmente não existem estudos que empregam a geoestatística para espacializar os atributos do solo no sistema agroflorestral da Fazendinha Agroecológica do km 47, sendo que este conhecimento pode proporcionar a otimização de tempo, mão de obra e um manejo pontual. Portanto, o objetivo deste estudo foi espacializar os atributos químicos e físicos do solo em um sistema agroflorestral no município de Seropédica, Rio de Janeiro.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em um 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 (Figura 1).

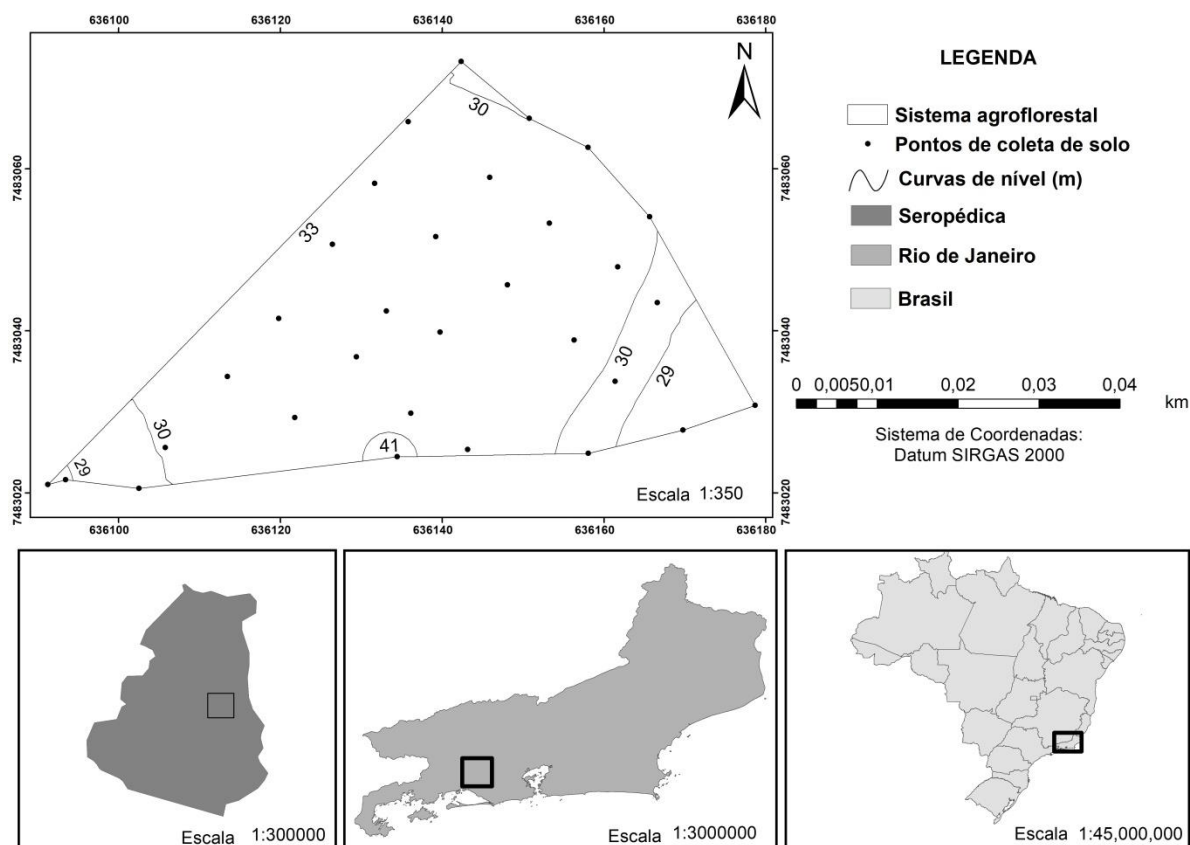


Figura 1. Localização do sistema agroflorestal no Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, em Seropédica, RJ.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo 'Aw', com chuvas concentradas entre novembro e março, precipitação anual média de 1.213 mm e temperatura média anual de 23,9°C (CARVALHO et al., 2011). A altitude máxima e mínima da área do SAF é 41,0 m e 26,3 m, respectivamente. O relevo é predominantemente suave ondulado (< 5% de declividade) e o solo é classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO (SANTOS et al., 2013).

Antes do SAF ser implantado, a área possuía monocultivo de banana (*Musa sapientum* L.) juntamente com mamão (*Carica papaya* L.), sendo adubados apenas com esterco bovino. Em 2000 iniciou-se a implantação do sistema agroflorestal, sendo este em multiestratos. Espécies como açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.), citrus (*Citrus* sp.) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Jacq.) Walp.) foram plantadas. Junto com essas espécies, foi cultivado uma lavoura de couve e amendoim forrageiro, este último para adubação verde. Algumas espécies que já

existiam no local foram aproveitadas, como o flamboyant (*Delonix regia* (Bojer ex Hook.)), devido a sua beleza cênica.

De 2002 a 2008 ocorreu o plantio de novas espécies, como gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.), jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), carrapeta (*Guarea Guidonia* (L.) Sleumer), tucandeiro (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e algumas espécies da família Arecaceae, como açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e jussara (*Euterpe edulis* Mart.). O manejo mais intenso ocorreu nos dois primeiros anos, com plantios, mencionados anteriormente; podas; roçadas; adubação com esterco; colheitas e capinas. Após os primeiros oito anos, não há relato de manejo na área.

2.4.2 Coleta de amostras e georreferenciamento

Para a coleta das amostras de terra, 31 pontos com espaçamento de 10 m foram amostrados sistematicamente. As amostras de terra foram coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, com auxílio de uma sonda, com dimensão de 4,5 cm de diâmetro e 130 cm de comprimento.

As amostras de terra foram levadas para laboratório, secas à sombra e em seguida, foram destorroadas e passadas por peneira de malha de 2 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA) material que foi utilizado para a realização das análises.

Após as coletas de solo, cada ponto foi georreferenciado com o GPS Geodésico modelo Promark II.

2.4.3 Análises dos atributos químicos e físicos

Nas amostras de TFSA foi realizada a avaliação dos atributos químicos e físicos do solo, a saber: pH (em H₂O), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²), alumínio (Al⁺³), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), fósforo (P), carbono orgânico total (C), capacidade de troca catiônica do solo (Valor T) e saturação por bases (Valor V). Quanto aos atributos físicos, foi realizada a análise granulométrica, sendo quantificados os valores de argila total (g kg⁻¹), areia total (g kg⁻¹) e silte (g kg⁻¹). Todos os procedimentos laboratoriais seguiram os protocolos estabelecidos por EMBRAPA (1997).

2.4.4 Determinação da densidade de raízes finas

Com o auxílio de um paquímetro digital as raízes com diâmetro máximo de 2 mm foram separadas, pesadas e colocadas na estufa a 65°C por três dias. Após as raízes finas estarem secas, essas foram novamente pesadas, obtendo-se a biomassa seca e posteriormente calculada a densidade de raízes finas (g cm⁻³) de cada amostra, a partir da razão entre peso seco de raízes finas e o volume da sonda.

2.4.5 Análise geoestatística

Os dados obtidos das análises dos atributos químicos e físicos do solo e da densidade de raízes finas foram tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel 2013, sendo calculadas as médias ponderadas em função da espessura da camada coletada para cada parcela. Em seguida, associou-se as coordenadas geográficas para cada amostra, possibilitando a espacialização dos dados.

Para a espacialização e elaboração dos mapas de distribuição das variáveis foi utilizado o software ArcGIS 10.2 (ESRI, 2014), sendo empregado o método de interpolação espacial por Krigagem Ordinária de primeira ordem.

Três modelos teóricos transitivos (exponencial, esférico e gaussiano) foram ajustados às variáveis, para verificar qual o modelo que melhor representa a distribuição das variáveis estudadas de acordo com as equações e os três modelos físicos apresentados por Yamamoto e Landim (2013).

Para análise e escolha do melhor modelo foi ajustado o semivariograma, em que foi utilizado o Grau de Dependência Espacial (GDE %). O GDE utilizado neste estudo foi fundamentado pelo método proposto por Cambardella et al. (1994), em que valores $\leq 25\%$ os dados possuem forte dependência espacial, GDE entre 25% e 75% mostram moderada dependência espacial, GDE $\geq 75\%$ possuem fraca dependência espacial e GDE igual a 100% a variável é espacialmente independente, ou seja, apresenta semivariograma com efeito pepita puro (EPP). O GDE é calculado pela equação 1:

$$GDE = \frac{C_0}{C_0 + C} \times 100 \quad [1]$$

onde, GDE é o grau de dependência espacial; C_0 é o efeito pepita e $C_0 + C$ é o patamar.

2.4.6 Análise estatística

A análise estatística foi aplicada no SAF com a finalidade de avaliar o desempenho dos modelos teóricos transitivos, baseados nos seguintes parâmetros apresentados por Vieira (2011) e Gois, Delgado e Oliveira-Júnior (2015): raiz quadrada do erro médio (RMSE), índice de concordância de Willmott (d), erro padrão da estimativa (EPE), coeficiente de correlação de Pearson (r) e coeficiente de determinação (r^2).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad [2]$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)^2} \quad [3]$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n-2}} \quad [4]$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}) \times (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \times \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad [5]$$

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}) \times (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \times \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \right)^2 \quad [6]$$

em que, O_i é igual aos valores observados; P_i é igual aos valores preditos; \bar{O} média dos valores observados; \bar{P} média dos valores estimados e n é igual ao número de dados analisados.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Semivariograma

Os modelos ajustados para as variáveis foram o exponencial e gaussiano (Tabela 1), exceto para os teores de Mg^{2+} e Valor V, em que nenhum modelo foi ajustado, pois o GDE foi igual a 100%, indicando que essa variável é espacialmente independente, ou seja, possui semivariograma com efeito pepita puro (EPP). As variáveis Na^+ , C, argila total, silte e densidade de raízes finas apresentaram GDE forte e pH, H+Al, Ca^{2+} , Al^{3+} , K^+ , P, areia total e Valor T apresentaram GDE moderado.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos de semivariância para as variáveis do solo, no sistema agroflorestal do Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, Seropédica, RJ.

Variável*	Modelo	C0 ⁽¹⁾	C0+C ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾ (%)	Classe
pH	Exp ⁽⁴⁾	0,21	0,37	56,26	Moderada
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	Exp	0,60	1,46	41,46	Moderada
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	Exp	1,08	2,54	42,72	Moderada
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	EPP ⁽⁶⁾	0,37	0,37	100,00	EPP
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	Exp	0,02	0,03	58,80	Moderada
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	Gau ⁽⁵⁾	0,00	0,01	6,27	Forte
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	Gau	0,00	0,00	52,49	Moderada
P (mg dm ⁻³)	Exp	504,18	1.752,88	28,76	Moderada
C (g kg ⁻¹)	Gau	81,14	409,17	19,83	Forte
Argila total (g kg ⁻¹)	Exp	858,92	4.708,22	18,24	Forte
Areia total (g kg ⁻¹)	Exp	4.852,60	13.004,30	37,32	Moderada
Silte (g kg ⁻¹)	Gau	3.679,60	16.978,60	21,67	Forte
Densidade de raízes finas (g dm ⁻³)	Exp	0,00	0,00	25,30	Forte
Valor T (cmol _c dm ⁻³)	Gau	1,69	4,59	36,79	Moderada
Valor V (%)	EPP	125,65	125,65	100,00	EPP

* Média ponderada; ⁽¹⁾ Efeito pepita; ⁽²⁾ Patamar; ⁽³⁾ Grau de dependência espacial; ⁽⁴⁾ Exponencial; ⁽⁵⁾ Gaussiano; ⁽⁶⁾ Efeito pepita puro.

Segundo Cambardella et al. (1994), o EPP aponta que a variabilidade não foi explicada ou a variação não foi detectada, podendo ocorrer em função dos erros de medição, da amostragem ou microvariação não detectada. O espaçamento amostral pode ter sido outro fator que influenciou no comportamento observado, em função das distâncias entre os pontos amostrais, em que esse distanciamento pode ter sido superestimado, o que contribuiu para que a dependência espacial não se expressasse.

Utilizando a agricultura de precisão para estabelecer estratégias de manejo no município de Boa Vista das Missões, no Rio Grande do Sul, Cherubin et al. (2011) encontraram resultados que diferem dos observados nesse estudo. Os autores verificaram que para as variáveis V (%) e Mg^{2+} foi observada dependência espacial variando de moderada a forte, respectivamente, sendo ajustado o modelo exponencial para os dois atributos. Enquanto para a variável saturação por alumínio (m%) e Al^{3+} apresentaram EPP.

No estado do Mato Grosso, em Nossa Senhora do Livramento, a geoestatística foi utilizada para caracterizar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo de um

povoamento de *Tectona grandis* (teca) em dois períodos de avaliação, onde observaram resultados diferentes desse estudo, em que ajustaram os modelos gaussiano e exponencial para a variável pH, os modelos esférico e gaussiano para Ca^+ , Mg^{2+} e Al^{3+} e para o K^+ foi o modelo esférico para o segundo e ao nono ano de plantio, respectivamente (PELISSARI; CALDEIRA; SANTOS, 2014).

No município de Angatuba, São Paulo, Vieira et al. (2011) estudando a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de dois Latossolos, sob sistema de semeadura direta e sua relação com a estabilidade dos agregados, verificaram que o ajuste do modelo exponencial foi o que melhor se adequou para o atributo físico argila, com um grau de dependência espacial de 29,80%, o que corrobora com os resultados para esse atributo, verificados nesse estudo. Em contrapartida, para a variável areia total o modelo ajustado foi o esférico para os municípios de Angatuba e Campos Novos Paulista.

Estudando a variabilidade das frações granulométricas do solo com os métodos geoestatísticos no município de Fortaleza, Cajazeira e Assis Júnior (2011) verificaram que o modelo esférico foi o que mais se adequou para análise dos atributos areia, silte e argila nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.

2.5.2 Análise estatística

De acordo com a análise estatística dos atributos do solo (Tabela 2), o índice de concordância (d) foi menor para as variáveis Mg^{2+} e Valor V, 0,33 e 0,44 e maior para Valor T e Na^+ , 0,78 e 0,74, respectivamente.

Tabela 2. Análise estatística dos atributos químicos e físicos do solo, no sistema agroflorestal do Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, Seropédica, RJ.

Variável*	d ⁽¹⁾	r ⁽²⁾	r ² ⁽³⁾	EPE ⁽⁴⁾	RMSE ⁽⁵⁾
pH	0,61	0,36	0,13	0,22	0,93
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0,63	0,41	0,17	0,53	0,98
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,61	0,21	0,05	0,63	1,07
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,33	-0,21	0,04	0,12	1,01
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,64	0,33	0,11	0,07	0,95
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,74	0,85	0,72	0,03	1,16
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,68	0,46	0,21	0,03	0,98
P (mg dm ⁻³)	0,64	0,31	0,10	20,20	1,03
C (g kg ⁻¹)	0,59	0,31	0,10	6,18	1,22
Argila total (g kg ⁻¹)	0,65	0,60	0,36	26,62	0,94
Areia total (g kg ⁻¹)	0,59	0,43	0,18	46,92	1,00
Silte (g kg ⁻¹)	0,58	0,41	0,16	42,08	1,15
Densidade de raízes finas (g dm ⁻³)	0,64	0,32	0,10	0,00	1,07
Valor T (cmol _c dm ⁻³)	0,78	0,54	0,29	1,10	1,04
Valor V (%)	0,44	-0,18	0,03	2,21	1,00

* Média ponderada; ⁽¹⁾ Índice de concordância de Willmott; ⁽²⁾ coeficiente de correlação de Pearson; ⁽³⁾ coeficiente de determinação; ⁽⁴⁾ erro padrão da estimativa; ⁽⁵⁾ raiz quadrada do erro médio.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi menor para o Valor V (-0,18) e Mg^{2+} (-0,21) do que para as demais e indicou uma correlação negativa entre os valores reais e preditos. Já para as variáveis Na^+ (0,85) e argila total (0,60) esse parâmetro foi maior, próximo a 1, indicando que existe uma correlação entre os valores observados e os estimados.

De acordo com os dados obtidos por Vieira et al. (2011) estudando a variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de dois Latossolos do estado de São Paulo, os autores

observaram que o parâmetro r foi baixo para Mg^{2+} , 0,16 e 0,35 para os municípios de Angatuba e Campos Novos Paulista, respectivamente, e altos valores para os atributos texturais do solo (argila e areia total) nos dois municípios, corroborando com os resultados obtidos nesse estudo.

O coeficiente de determinação (r^2) variou entre 0,03 a 0,72, em que o menor valor correspondeu ao Valor V e o maior ao Na^+ . Esses resultados indicam que quanto mais próximo de 1 for esse parâmetro maior é a correlação entre os dados observados e os estimados. Os resultados observados nesse estudo diferem dos obtidos por Zucoloto, Lima e Coelho (2011), em que avaliando a correlação e a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e a produção de banana 'prata-anã' com o uso da estatística clássica e da geoestatística no estado do Espírito Santo, verificaram maiores valores do coeficiente de determinação para o valor V, sendo esse próximo a 0,92.

O EPE apresentou grande variação entre as variáveis estudadas, em que para a densidade de raízes finas foi observado o menor erro, 0 g cm^{-3} , ou seja, não ocorreu erro entre os dados observados e estimados, já para a variável areia total verificou-se o maior EPE, $46,92 \text{ g kg}^{-1}$, indicando um maior erro entre os dados reais e preditos.

Todas as variáveis apresentaram valores baixos para a raiz quadrada do erro médio (RMSE). De acordo com Martins et al. (2014), em um estudo verificando o potencial da utilização de dados hiperespectrais na determinação de alguns atributos químicos e físicos de um solo localizado no município de Piracicaba, esses valores baixos demonstram a qualidade dos ajustes dos modelos.

2.5.3 Distribuição espacial

A partir dos parâmetros estatísticos, foram gerados os mapas das distribuições espaciais dos atributos químicos e físicos do solo (Figuras 2 e 3), exceto para as variáveis Mg^{2+} e Valor V, pois ocorreu EPP. Através da análise das Figuras 2A e 2D é possível observar que existe uma correlação entre as duas variáveis, pH e Al^{3+} , em que nos locais onde são observados os menores valores de pH, as concentrações de alumínio são maiores. De acordo com Sousa, Miranda e Oliveira (2007), com o aumento de íons Al^{3+} na solução do solo ocasiona a diminuição do pH, interferindo na disponibilidade de alguns nutrientes para as plantas e a atividade dos microrganismos.

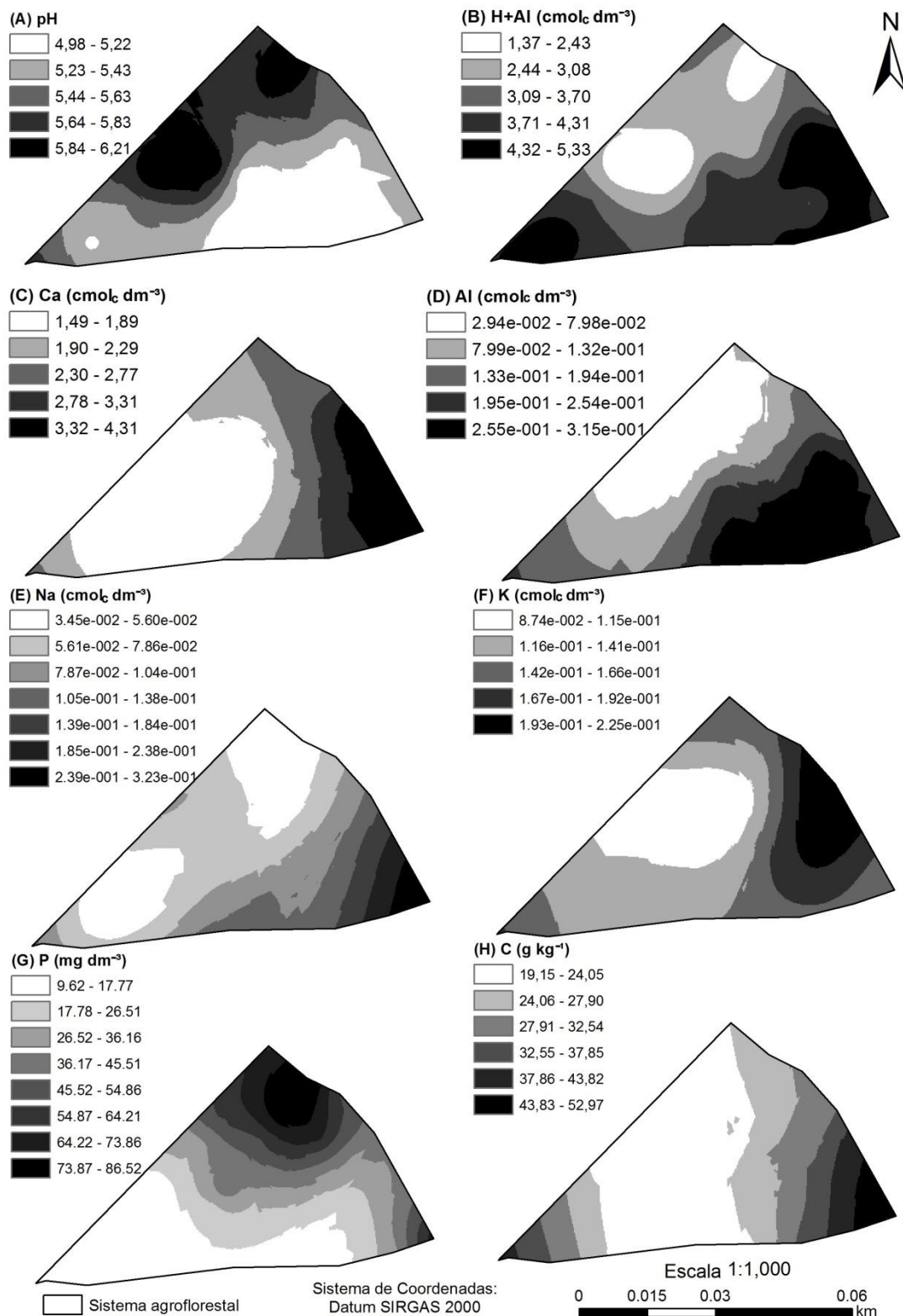


Figura 2. Mapas da distribuição espacial do pH (A), H+Al (B), Ca²⁺ (C), Al³⁺ (D), Na⁺ (E), K⁺ (F), P (G) e C (H), no sistema agroflorestal do Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, Seropédica, RJ.

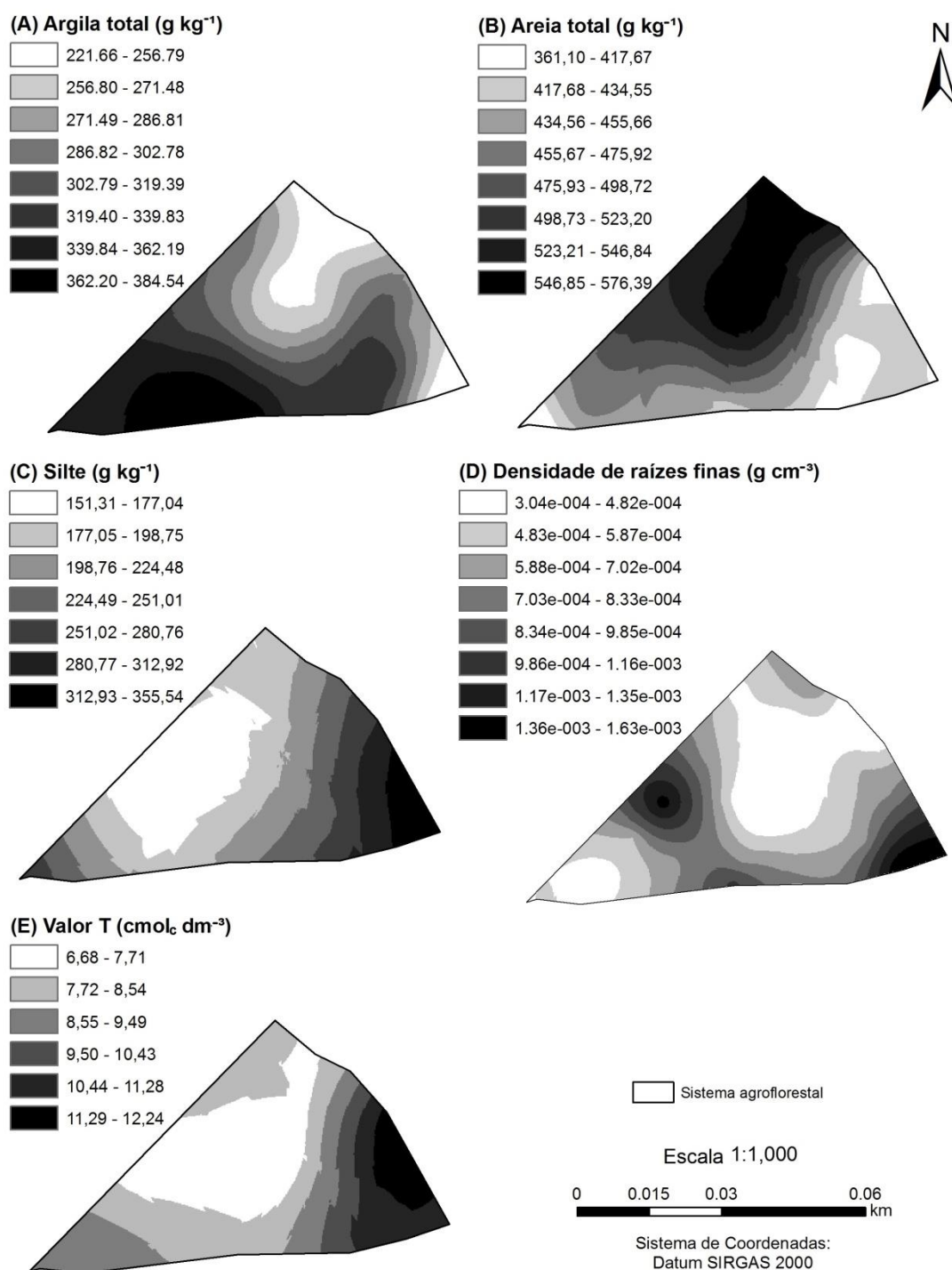


Figura 3. Mapas da distribuição espacial de argila total (A), areia total (B), silte (C), densidade de raízes finas (D) e Valor T (E), no sistema agroflorestal do Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, Seropédica, RJ.

Nas áreas em que foram quantificados os maiores teores de carbono orgânico (Figura 2H), observaram-se também os mais elevados valores Ca^{2+} , Na^+ e K^+ (Figuras 2C, 2E e 2F), e conseqüentemente, maior Valor T (Figura 3E). De acordo com um estudo realizado por Artur et al. (2014) na Chapada do Apodi, Ceará, essa correlação entre o teor de carbono e a concentração dos íons positivos deve-se a elevada capacidade de retenção de cátions da

matéria orgânica, devido ao aumento das cargas negativas, ajudando na retenção dos nutrientes.

O que pode ter sucedido também no presente estudo, em que nas regiões com maiores teores de C são as áreas com menores altitudes do SAF, conseqüentemente o tipo de solo (Planossolo) influenciou tal resultado, em que esse solo apresenta textura arenosa superficialmente, passando abruptamente para uma textura argilosa em subsuperfície, onde é compactada e quase impermeável (SOUSA et al., 2013), assim desfavorecendo a decomposição da matéria orgânica do solo.

Os resultados anteriores são corroborados com os obtidos por Ebeling et al. (2011), Briedis et al. (2012) e Matias et al. (2015), onde os autores verificaram correlação positiva entre carbono orgânico (ou matéria orgânica) e capacidade de troca catiônica (CTC), em que o carbono é o principal contribuinte na elevação da CTC e no aumento de adsorção de nutrientes.

Através da análise da Figura 2G foi possível observar que nas regiões com maiores teores de P, são aqueles que apresentaram menor quantidade de argila total (Figura 3A) e maior quantidade de areia total (Figura 3B), corroborando com os resultados de Corrêa, Nascimento e Rocha (2011), Tokura et al. (2011) e Bezerra et al. (2013). Segundo Novais, Smyth e Nunes (2007), isso ocorre devido a adsorção do fósforo pelos oxidróxidos de Fe e Al que estão presentes em maiores quantidades em solos tropicais mais intemperizados, particularmente nos mais argilosos.

Foi encontrado no sistema agroflorestal altos teores de fósforo. O método laboratorial de extração desse nutriente pode ter superestimado, visto que a área estudada é adubada com fosfato natural e o extrator utilizado foi o Mehlich 1, que é o método padrão de extração pela Embrapa e no estado do Rio de Janeiro.

A fração argila (Figura 3A) apresentou-se com maiores teores nas áreas com altitude média, enquanto os teores de areia (Figura 3B) foram encontrados nas altitudes maiores e os teores de silte (Figura 3C) nos locais com menor altitude, esse padrão pode ser decorrente em função da distribuição da textura do solo estar correlacionada com a topografia e a declividade do terreno (LEÃO et al., 2011). Tais resultados corroboram com o estudo realizado por Castione et al. (2015) que verificaram maiores teores de areia no terço superior, argila com maiores teores no terço inferior e silte com teores no terço médio e inferior.

Nas regiões onde são observados os maiores valores de silte, quantificaram-se os menores valores de areia. Bottega et al. (2013) encontraram resultados similares em uma área de produção agrícola sob sistema de plantio direto, em que a geoespacialização do silte apresentou distribuição inversa à distribuição dos teores de areia grossa e areia fina.

Os maiores valores de densidade de raízes finas (Figura 3D) tiveram uma distribuição heterogênea no sistema agroflorestal, encontrando-se tanto nos locais com menores altitudes, como os de maiores. Esse resultado pode estar sendo influenciado pelos tipos de espécies vegetais que estão dispostas no SAF, visto que nessas áreas possuem espécies pertencentes à família *Arecaceae*, onde apresentam o sistema radicular fasciculado e superficial.

Christina et al. (2011), com um estudo realizado na cidade de Itatinga, estado de São Paulo, ratifica que o desenvolvimento das raízes pode ser influenciado pelo tipo de espécie plantada ou pelo material genético e sua relação com as condições edafoclimáticas.

O estudo mostrou a eficiência e a viabilidade da aplicação da geoestatística na espacialização dos atributos químicos e físicos do solo no sistema agroflorestal estudado, podendo ser utilizada em outros sistemas.

2.6 CONCLUSÕES

Através da geoestatística foi possível espacializar os atributos químicos e físicos do solo, exceto as variáveis Valor T e Mg^{2+} , no sistema agroflorestal do Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47.

O emprego da geoestatística permite a execução de mapas, auxiliando na tomada de decisão, incentivando um manejo pontual e racional por meio da aplicação de corretivos e adubos orgânicos localizados, propiciando o input de nutrientes para a retomada do manejo na área.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 141-149, 2014.
- BEZERRA, A. L. L.; LIMA, I. M. A.; NASCIMENTO, B. L. M.; AQUINO, B. F. Influência da calagem na adsorção de fósforo em diferentes solos do estado do Ceará. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 01-05, 2013.
- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. 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, 2013.
- BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; FERREIRA, A. O. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 1007-1014, 2012.
- CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 258-267, 2011.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, [S.I.], v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, D. G.; SOUZA, A. P.; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. Coeficientes da equação de Angström-Prescott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 108-116, 2011.
- CASTIONE, G. A. F.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da textura do solo em área irrigada por pivô central em diferentes posições na paisagem. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v. 9, n. 3, p. 219-226, 2015.
- CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 196-210, 2011.
- 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**, [S.I.], v. 2, n. 3, p. 1-10, 2011.
- CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Adsorção de fósforo em dez solos do estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 153-159, 2011.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema de Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.
- DONATO, L.; LIMA, M. G. Distribuição geográfica do sistema agroflorestal na região do Vale do Ribeira. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 3, p. 47-64, 2013.
- EBELING, A. G.; ANDOS, L. H. C.; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; GOMES, F. W. F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em organossolos háplicos de

várias regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 325-336, 2011.

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

ESRI. **ArcGis 10.2**. Environmental Systems Research Institute Inc, Califórnia, 2014.

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, 2015.

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D.; PEREIRA, G. T. Terrain forms and spatial variability of soil properties in an area cultivated with citrus. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 644-651, 2011.

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 do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011.

MARTINS, J. A.; FIORIO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; MIRANDA, J. H.; LELIS NETO, J. A. Sensoriamento remoto na determinação de atributos de um Nitossolo sob aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 959-971, 2014.

MATIAS, S. S. R.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; ANDRADE, F. R.; BAPTISTEL, A. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v. 9, n. 1, p. 17-26, 2015.

MÉIER, M.; TEIXEIRA, H. M.; FERREIRA, M. G.; FERRARI, E. A.; LOPES, S. I.; LOPES, R.; CARDOSO, I. M. Sistemas agroflorestais em área de preservação permanente. **Revista Agriculturas: experiências em agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 12-17, 2011.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 472-550.

PELLISSARI, 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.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa, 2013. 353p.

SOUSA, A. R.; ALBUQUERQUE, S. F.; LOPES, G. M. B.; SILVA, A. B.; FILHO, J. N. Caracterização e interpretação de um Planossolo Háptico Eutrófico do Agreste Pernambucano, Brasil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, Pernambuco, v. 10, n. 1, p. 271-279, 2013.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 206-274.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; ALOVISI, A. A. Dinâmica das formas de fósforo em solos de textura e mineralogia contrastantes cultivados com arroz. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 171-179, 2011.

VIEIRA, S. **Introdução à Bioestatística**. Elsevier, 2011. 345p.

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

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de Textos, 2013. 215p.

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.

ZUCOLOTO, M.; LIMA, J. S. S.; COELHO, R. I. Correlação e variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produção de bananeira 'prata-anã'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. especial, p. 479-484, 2011.

3 CAPÍTULO II

ESPACIALIZAÇÃO DAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB UM SISTEMA AGROFLORESTAL, NA MATA ATLÂNTICA¹

¹Capítulo foi publicado na forma de artigo na Revista Cerne, v. 23, n. 2, p. 249-256, 2017.

3.1 RESUMO

O objetivo do presente estudo foi espacializar as frações da matéria orgânica do solo em um sistema agroflorestal (SAF), no bioma Mata Atlântica. Foram coletadas 31 amostras deformadas de terra, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo cada ponto de coleta georreferenciado. Foram determinados os teores de carbono orgânico total (COT), carbono particulado (CO_p) e o associado a argila e silte (CO_{am}), carbono na fração ácido fúlvico (C-FAF), fração ácido húmico (C-FAH) e fração humina (C-HUM). A análise semivariográfica e o ajuste dos modelos foram realizadas no software ArcGIS 10.2, posteriormente, foi empregada a interpolação espacial através da Krigagem Ordinária. Foi observada dependência espacial para todas as variáveis, com exceção do COT e CO_p na profundidade de 0-10 cm, visto que apresentaram efeito pepita puro. Foi possível verificar as modificações na distribuição das substâncias húmicas na área de estudo. Os resultados observados neste trabalho se aproximam de outros realizados em matas nativas no bioma Mata Atlântica, evidenciando os benefícios gerados pelo uso do sistema agroflorestal.

Palavras-chave: substâncias húmicas, geoestatística, indicadores da qualidade do solo.

3.2 ABSTRACT

This study aimed to spatialize fractions of organic matter of soil in an agroforestry system (AFS) located in the Atlantic Forest in Brazil. Thirty-one soil samples were collected at depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm from georeferenced collection points. We determined total organic carbon (TOC), particulate carbon (C_{Op}), carbon associated with clay and silt (C_{Oam}), carbon content in the fulvic acid fraction (C-FAF), humic acid fraction (C-HAF) and humin fraction (C-HUM). Semivariogram analysis and model adjustment were carried out using ArcGIS 10.2 software. Subsequently, spatial interpolation was performed using Ordinary Kriging. We observed spatial dependence at the 0-10 cm depth for all variables except for TOC and C_{Op}, which presented a pure nugget effect. It was possible to observe modifications in the distribution of humic substances in the study area. The results from this study are similar to those of other studies conducted in naive areas in the Atlantic Forest, demonstrating the benefits of using the agroforestry system.

Keywords: humic substances, geostatistics, soil quality indicators.

3.3 INTRODUÇÃO

O bioma Mata Atlântica é um dos mais importantes do Brasil, pois abriga uma diversidade de espécies da fauna e flora, populações tradicionais, um valioso patrimônio cultural, além de proteger o solo e os corpos hídricos (MMA, 1998). Nas últimas décadas, a Mata Atlântica passou por um período de exploração de produtos agrícolas para exportação, provocando o desmatamento nesse bioma (MEISTER; SALVIATI, 2009). Atualmente existem técnicas que podem reverter ou diminuir os impactos negativos provocados pelo desmatamento, conciliando a produção de alimentos com o aumento da biodiversidade e proteção do solo contra a degradação (FROUFE; SEOANE, 2011). O sistema agroflorestal (SAF) é uma forma de manejo da terra, no qual árvores, cultivos agrícolas e/ou animais são consorciados, sendo implantados simultâneo ou sequencialmente (MAGALHÃES et al., 2013). Esse sistema é uma forma de utilização do solo que combina produção agrícola com a conservação dos recursos naturais (JOSE, 2009), atuando na prestação de serviços ambientais, como a conservação do solo, sequestro de carbono, preservação da biodiversidade e aumento da qualidade da água (NAIR, 2011), além de recuperar áreas degradadas auxiliando no restabelecimento das propriedades do solo (PEZARICO et al., 2013). Enquanto que o monocultivo e o preparo convencional do solo vêm causando a diminuição dos recursos naturais e a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (MACEDO, 2009).

Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo têm sido utilizados como indicadores da qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental (DORAN; PARKIN, 1994; CHAER; TÓTOLA, 2007; MAIA, 2013). Dentre estes, a matéria orgânica do solo (MOS) é um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade ambiental em agroecossistemas (ROSSI et al., 2011), a qual pode ser fracionada de duas formas: químico e fisicamente. O fracionamento químico é utilizado para avaliar os teores de carbono nas diferentes frações húmicas do solo, sendo estas divididas em humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (SANTOS et al., 2013a). Através do fracionamento granulométrico da matéria orgânica, podem ser identificadas alterações decorrentes do uso ou manejo de áreas. Através dessa técnica são obtidas duas frações a saber: o carbono orgânico particulado (COp) e o carbono orgânico associado aos minerais (COam) (GAZOLLA et al., 2015).

São raros os trabalhos que estudam a distribuição espacial das frações da MOS (MARCHETTI et al., 2012), especialmente em SAFs, como indicadores da qualidade do sítio. A geoestatística vem sendo utilizada na ciência do solo para caracterizar e analisar a variação espacial dos atributos do solo (ZONTA et al., 2014) e neste caso no conhecimento da variabilidade espacial da MOS e de suas frações. Essa ferramenta possibilita estimar variáveis em locais não amostrados a partir de pontos próximos amostrados. Logo, o presente estudo objetivou aplicar a análise espacial nas frações da matéria orgânica do solo em um sistema agroflorestal, localizado no bioma Mata Atlântica.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um sistema agroflorestal, com área de 3.397 m², localizado no Sistema Integrado de Produção Agroecológica km 47, nos limites da Embrapa Agrobiologia, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. O clima da região é do tipo 'Aw', segundo a classificação de Köppen, com chuvas concentradas entre novembro e março, chuva média anual de 1.213 mm e temperatura média do ar anual de 23,9°C. O SAF localiza-se em área que apresenta altitudes variando entre 41,0 m (máxima) e 26,3 m (mínima). O relevo predominante é o suave ondulado (< 5% de declividade) e o solo é classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO (SANTOS et al., 2013b).

Antes da implantação do SAF, a área possuía o cultivo das espécies banana (*Musa sapientum* L.) e mamão (*Carica papaya* L.), no qual eram adubadas somente com esterco bovino. Em meados de 2000 houve a implantação do SAF com o arranjo em multiestratos, no qual é caracterizado pela presença elevada de espécies diferentes e pela ocupação do espaço vertical e horizontal dos diferentes estratos (FROUFE; RACHWAL; SEOANE, 2011). Espécies como açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K.Schum.), grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.), citrus (*Citrus* sp.) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) foram plantadas. Junto com essas espécies foi cultivado uma lavoura de couve (*Brassica oleracea* L.) e amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W.C. Gregory), este último para adubação verde. Algumas árvores que já existiam no SAF foram preservadas, como o flamboyant (*Delonix regia* (Boj. ex. Hook.) Rafin.), devido a sua beleza cênica. Novas espécies foram inseridas entre os anos de 2002 e 2008, como glirícidia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.), jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), carrapeta (*Guarea Guidonia* (L.) Sleumer), tucandeiro (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e algumas espécies pertencentes a família Arecaceae. O manejo mais intenso ocorreu nos dois primeiros anos, com plantios, citados anteriormente; adubações com esterco; roçadas; podas; colheitas e capinas. Após esses oito anos não há relato de manejo na área.

Para a coleta das amostras de terra, 31 pontos com espaçamento de 10 m foram amostrados sistematicamente. As amostras de terra foram coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, com o auxílio de uma sonda. Após as coletas, cada ponto foi georreferenciado com GPS Geodésico Modelo Promark II. As amostras de terra foram levadas para laboratório, secas à sombra e em seguida foram destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) material que foi utilizado para a realização das análises.

O carbono orgânico total (COT) foi determinado segundo Yeomans e Bremner (1988). O fracionamento físico da matéria orgânica (MO) foi realizado de acordo com o método de Cambardella e Elliot (1992). Para tal, foram pesados 10 g de TFSA, sendo adicionados 30 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹), as amostras foram homogeneizadas por 16 horas em agitador horizontal. Posteriormente a homogeneização, a suspensão obtida foi passada em peneira de 53 µm. O material retido na peneira equivale ao COp (carbono orgânico particulado) associada à fração areia, e o que permeou a peneira corresponde às frações silte e argila.

O material retido na peneira, após a lavagem, foi depositado em vidrarias, sendo seco em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até que apresentasse massa constante. Posteriormente o material foi macerado em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de carbono orgânico de acordo com Yeomans e Bremner (1988). Os teores de carbono orgânico associado aos minerais (COam) foram definidos pela diferença entre o teor de COT e o teor de COp.

Para o fracionamento químico da MOS, foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial (SWIFT, 1996), com adaptação de Benites, Madari e Machado (2003), obtendo-se carbono orgânico na fração ácido fúlvico (C-FAF), fração ácido húmico (C-FAH) e fração humina (C-HUM) somente para a profundidade de 0-10 cm, pois é a camada que possui maiores teores de carbono. Para isso, pesou-se uma massa de solo (TFSA) que possuía 30 mg de carbono orgânico adicionando ao contato 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = FAF + FAH) e o resíduo foi feita através de centrifugação a 5000 g por 30 minutos. Prosseguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, ocasionando um volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo foi guardado para determinação da humina (C-HUM). O pH do extrato alcalino foi ajustado a 1,0 com H₂SO₄ 20%, seguido de decantação por 18 horas. O precipitado (C-FAH) foi separado da fração solúvel (C-FAF) por filtração e ambos os volumes regulados a 50 mL com água destilada.

A determinação quantitativa do carbono orgânico nas C-FAF e C-FAH foi realizada utilizando 5,0 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5,0 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 minutos) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹. No resíduo, foi determinado o carbono orgânico da fração humina (C-HUM), após a secagem do material em estufa a 65°C (secagem completa), foi adicionado 5,0 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹ e 10,0 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 minutos) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ (YEOMANS; BREMNER, 1988).

Os dados obtidos através do fracionamento físico e químico da MOS foram tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel 2013. Posteriormente, associou-se as coordenadas geográficas para cada amostra, proporcionando a espacialização dos dados.

Para cada variável foi realizada análise descritiva clássica, com o auxílio do software estatístico R 3.2.5 (R Core Team, 2016), em que foram calculados a média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação e coeficientes de assimetria e curtose. Posteriormente, foi realizada a identificação e remoção de *outliers*, através do gráfico Box Plot. Para testar a hipótese de normalidade dos dados, realizou-se o teste de Shapiro-Wilk, a 5% de probabilidade. Quando necessário, a variável em estudo foi transformada para a escala logarítmica. Foi realizada a verificação da dependência espacial pelo cálculo de semivariograma, em que foram ajustados e testados os modelos teóricos exponencial, esférico e gaussiano, com objetivo de verificar qual o modelo que melhor representa a distribuição de cada variável estudada de acordo com as equações e os três modelos físicos apresentados por Silva et al. (2016). Para validar e verificar o desempenho dos modelos na estimativa das variáveis foram utilizados os seguintes parâmetros (WILLMOTT, 1982; CAMBARDELLA et al., 1994; SILVA et al., 2016): o menor grau de dependência espacial (GDE %), maior coeficiente de correlação (R), maior coeficiente de determinação (R²), maior índice de concordância de Willmott (d), menor erro padrão da estimativa (EPE) e menor raiz quadrada do erro médio (RMSE). O GDE pode ser classificado em: valores ≤ 25% os dados possuem forte dependência espacial, GDE entre 25 e 75% mostram moderada dependência espacial, GDE ≥ 75% possuem fraca dependência espacial e GDE igual a 100% a variável é espacialmente independente, ou seja, apresenta semivariograma com efeito pepita puro (EPP).

Depois de constatada a dependência espacial, a Krigagem Ordinária foi aplicada para estimar as variáveis em locais não amostrados, possibilitando a realização dos mapas. As análises do semivariograma e Krigagem foram realizadas no software ArcGIS 10.2 (ESRI, 2014).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Algumas variáveis não apresentaram distribuição normal (Tabela 3), porém, de acordo com Isaaks e Srivastava (1989), na geoestatística, é mais importante que os dados apresentem dependência espacial do que a normalidade dos dados, ainda mais quando os dados são obtidos na natureza, na qual a distribuição normal é apenas aproximada (WARRICK; NIELSEN, 1980).

Tabela 3. Análise descritiva dos teores de COT, COp e COam (g kg^{-1}) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, e C-FAF, C-FAH e C-HUM (g kg^{-1}) de 0-10 cm de um SAF, na Mata Atlântica.

Variável	Média	Mediana	DP ⁽⁷⁾	CV ⁽⁸⁾ (%)	Assimetria	Curtose	W ⁽⁹⁾
0-10 cm							
COT ⁽¹⁾	21,28	21,21	7,11	33,43	-0,19	-0,34	0,98 ^{ns}
COp ⁽²⁾	5,80	5,42	1,46	25,21	0,51	-0,92	0,04 [*]
COam ⁽³⁾	15,68	14,74	6,14	39,16	-0,07	-0,83	0,64 ^{ns}
C-FAF ⁽⁴⁾	1,48	1,16	0,87	58,57	0,32	-1,35	0,02 [*]
C-FAH ⁽⁵⁾	1,52	1,41	1,01	66,42	0,75	-0,25	0,02 [*]
C-HUM ⁽⁶⁾	8,71	8,96	3,40	39,10	0,34	0,42	0,79 ^{ns}
10-20 cm							
COT	13,62	12,42	4,19	30,73	0,79	0,23	0,1 ^{ns}
COp	4,13	3,92	0,99	24,10	0,83	0,43	0,09 ^{ns}
COam	9,49	7,95	3,62	38,13	0,69	-0,59	0,02 [*]
20-40 cm							
COT	9,54	9,00	2,82	29,59	1,15	2,57	0,03 [*]
COp	3,33	3,30	0,68	20,50	0,08	-0,51	0,96 ^{ns}
COam	6,21	5,81	2,76	44,43	1,16	2,77	0,02 [*]

⁽¹⁾Carbono orgânico total; ⁽²⁾Carbono orgânico particulado; ⁽³⁾Carbono orgânico associado aos minerais; ⁽⁴⁾Carbono orgânico na fração ácido fúlvico; ⁽⁵⁾Carbono orgânico na fração ácido húmico; ⁽⁶⁾Fração humina; ⁽⁷⁾Desvio-padrão; ⁽⁸⁾Coefficiente de variação; ⁽⁹⁾Teste de Shapiro-Wilk; ^{ns}Não significativo; ^{*}Significativo ($p < 0,05$).

O coeficiente de assimetria e curtose foram baixos para as variáveis que apresentaram distribuição normal e altos para as variáveis que apresentaram distribuição não-normal. Estes resultados podem ser confirmados pelos valores da média e mediana, quando essas medidas possuem valores distantes, demonstram distribuições assimétricas, com valores de assimetria distantes de zero (SOUZA; MARQUES-JÚNIOR; PEREIRA, 2004).

Os valores de CV para as variáveis foram considerados médio, exceto para C-FAH que apresentou alta variabilidade dos dados, 66,42%. De acordo com Warrick e Nielsen (1980), valores de CV entre 12 e 60% possuem média variabilidade, valores abaixo e acima deste intervalo, indicam baixa e alta variabilidade dos dados, respectivamente. Com o propósito de melhorar a dependência espacial dos dados, antes do cálculo de semivariância, foi realizada a transformação logarítmica da variável COam (10-20 cm) e para as variáveis C-FAH, C-HUM, COT (10-20 e 20-40 cm) e COam (20-40 cm) foram retirados os valores discrepantes (*outliers*).

Houve dependência espacial para todas as variáveis, exceto para COT e COp na profundidade de 0-10 cm, pois apresentaram efeito pepita puro (Tabela 4). Portanto, para estimar essas variáveis no SAF pode-se amostrar mais pontos e/ou diminuir o espaço entre eles ou aplicar métodos não estocásticos, como, por exemplo, o Inverso do Quadrado da

Distância (IQD), onde são utilizados quando não há correlação espacial (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros e modelos dos semivariogramas ajustados dos teores de COT, COp e COam (g kg^{-1}) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, e C-FAF, C-FAH e C-HUM (g kg^{-1}) de 0-10 cm, de um SAF, na Mata Atlântica.

Variável	R ⁽⁷⁾	R ² (⁸)	d ⁽⁹⁾	EPE ⁽¹⁰⁾	RMSE ⁽¹¹⁾	GDE ⁽¹²⁾ (%)	Classe	Modelo
COT ⁽¹⁾	0,18	0,03	0,44	1,30	1,01	100,00	EPP ⁽¹³⁾	-
COp ⁽²⁾	0,22	0,05	0,55	0,08	0,98	100,00	EPP	-
COam ⁽³⁾	0,18	0,03	0,54	1,94	0,96	75,07	Fraca	Exponencial
C-FAF ⁽⁴⁾	0,77	0,60	0,76	0,16	0,75	21,00	Forte	Exponencial
C-FAH ⁽⁵⁾	0,52	0,27	0,69	0,38	0,99	31,58	Moderada	Esférico
C-HUM ⁽⁶⁾	0,52	0,27	0,66	1,55	0,93	12,43	Forte	Esférico
10-20 cm								
COT	0,44	0,19	0,56	1,65	0,99	28,04	Moderada	Exponencial
COp	0,47	0,22	0,65	0,49	0,97	55,79	Moderada	Gaussiano
COam	0,37	0,13	0,64	0,17	0,95	71,05	Moderada	Exponencial
20-40 cm								
COT	0,38	0,14	0,53	0,98	0,99	37,57	Moderada	Exponencial
COp	0,51	0,26	0,55	0,34	0,94	20,58	Forte	Exponencial
COam	0,63	0,40	0,66	0,95	1,01	6,29	Forte	Exponencial

⁽¹⁾Carbono orgânico total; ⁽²⁾Carbono orgânico particulado; ⁽³⁾Carbono orgânico associado aos minerais; ⁽⁴⁾Carbono orgânico na fração ácido fúlvico; ⁽⁵⁾Carbono orgânico na fração ácido húmico; ⁽⁶⁾Fração humina; ⁽⁷⁾Coefficiente de correlação; ⁽⁸⁾Coefficiente de determinação; ⁽⁹⁾Índice de concordância de Willmott; ⁽¹⁰⁾Erro Padrão da Estimativa; ⁽¹¹⁾Raiz Quadrada do Erro Médio; ⁽¹²⁾Grau de Dependência Espacial; ⁽¹³⁾Efeito pepita puro.

O modelo que melhor se ajustou ao conjunto de dados foi o exponencial, seguido pelo esférico e gaussiano. As variáveis C-FAF, C-HUM, COp e COam de 20-40 cm apresentaram forte dependência espacial, para as variáveis C-FAH, COT, COp e COam (10-20 cm) e COT (20-40 cm) foi verificada moderada correlação espacial e a variável COam (0-10 cm) apresentou fraca dependência espacial.

Em um estudo avaliando a variabilidade espacial das frações da MOS em uma área degradada em recuperação com pinhão-mansão, no sudoeste do Piauí, Leite et al. (2015), encontraram resultados diferentes do presente estudo. Os autores ajustaram o modelo esférico para as variáveis COT e carbono lábil (CL) nas camadas de 0-5 cm, COT, C-FAH e C-HUM nas camadas de 5-10 cm e COT na camada de 10-20 cm. O modelo exponencial foi ajustado para as variáveis C-FAH (0-5 cm), CL (5-10 cm) e CL (10-20 cm). Enquanto o modelo gaussiano foi ajustado para as variáveis C-FAF (5-10 cm), C-FAF, C-FAH e C-HUM ambas na camada de 10-20 cm.

Os maiores coeficientes de correlação (R) e determinação (R²) observados foram de 0,77 e 0,60, respectivamente, para a variável C-FAF e os menores R e R² foram de -0,18 e 0,03, respectivamente, para a variável COT 0-10 cm. Os modelos ajustados para as frações da matéria orgânica do solo apresentaram índices de concordância (d) variando de 0,44 a 0,76. O RMSE, que expressa o valor real do erro gerado pelo modelo, foi maior para as variáveis COT 0-10 cm, atributo que apresentou EPP, e COam 20-40 cm, com valor de 1,01 g kg^{-1} para ambas as variáveis e foi menor para a variável C-FAF, com 0,75 g kg^{-1} . O EPE para os modelos ajustados variou de 0,08 a 1,94 g kg^{-1} .

Com base nos modelos ajustados para cada variável foi possível realizar os mapas da distribuição espacial das frações da matéria orgânica (Figuras 4 e 5), exceto para as variáveis que apresentaram efeito pepita puro (EPP).

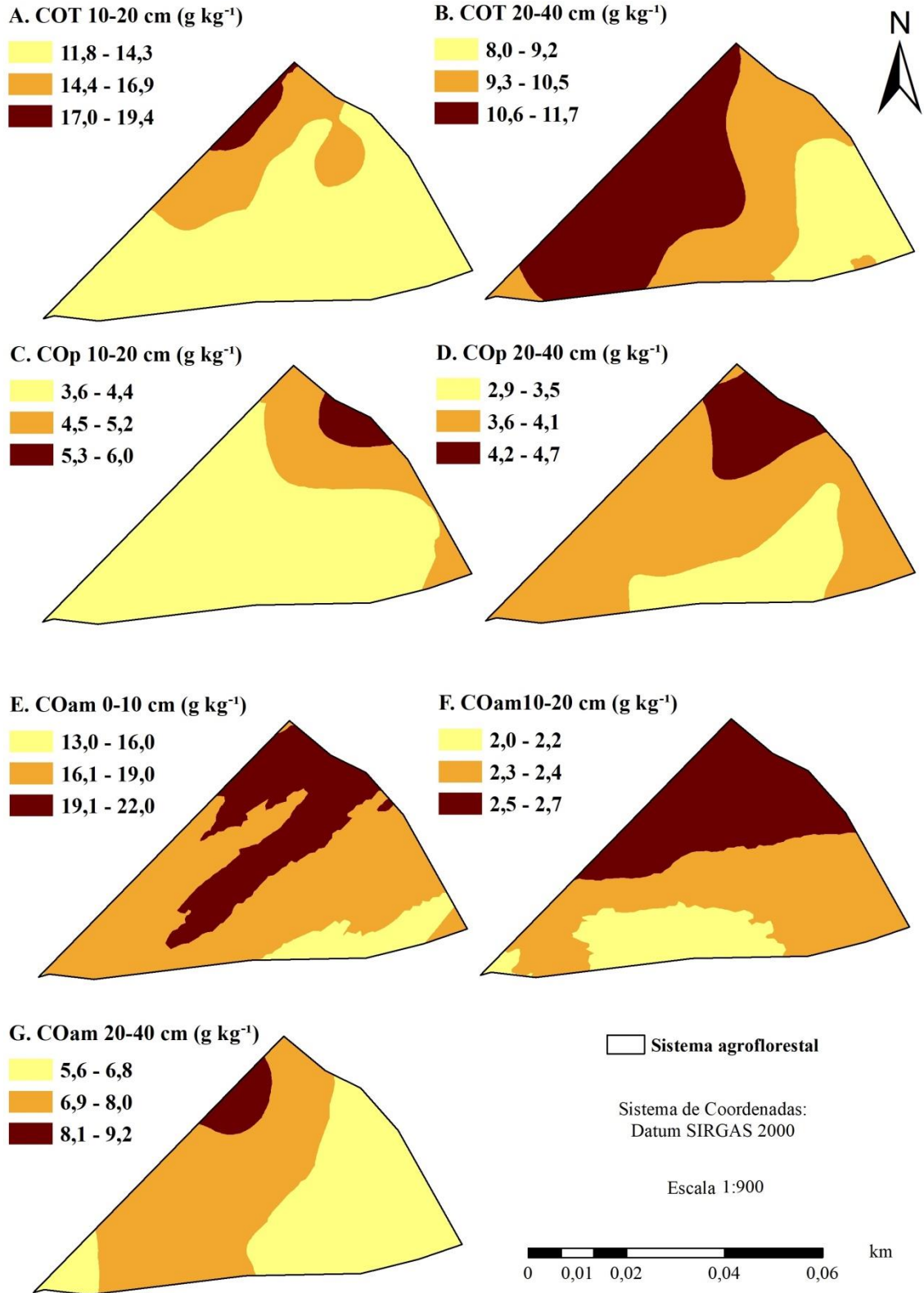


Figura 4. Mapas de distribuição espacial das variáveis carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de um SAF, na Mata Atlântica.

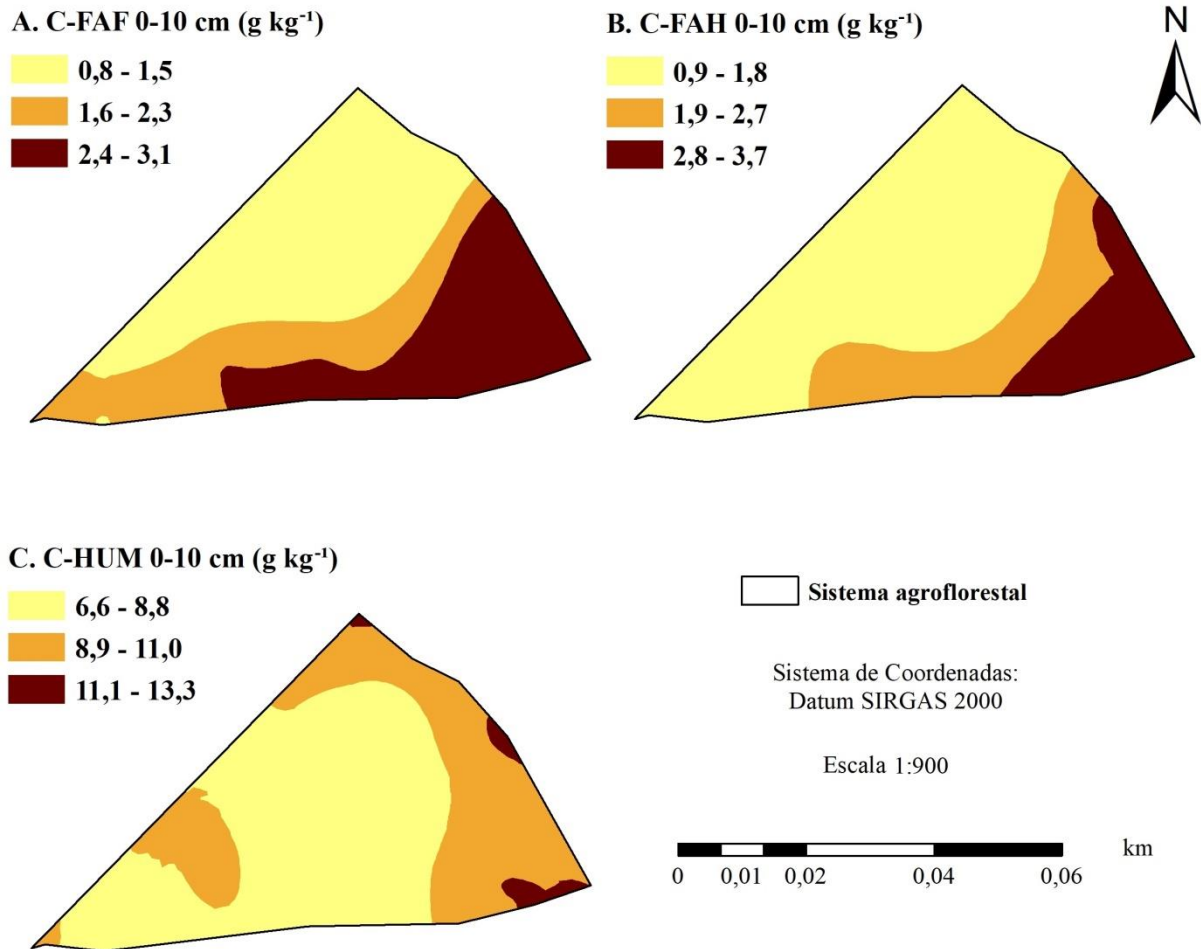


Figura 5. Mapas de distribuição espacial do carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH) e humina (C-HUM) de 0-10 cm, em um SAF, na Mata Atlântica.

Em profundidade houve a diminuição dos teores de COT (Figuras 4A e 4B), CO_p (Figuras 4C e 4D) e CO_{am} (Figuras 4E, 4F e 4G). Tal padrão deve-se ao maior aporte de matéria orgânica ocorrer nas camadas superficiais em função da deposição dos resíduos vegetais e renovação do sistema radicular.

Avaliando as alterações da fertilidade e da dinâmica dos compartimentos da MOS de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de manejo de lavoura de café, em uma área de influência da Mata Atlântica, Machado et al. (2014) encontraram maiores teores de COT na profundidade de 0-5 cm, 61,09 g kg⁻¹, e menores teores de 5-10 cm, 38,36 g kg⁻¹, em consonância com os resultados encontrados nesse estudo.

Foram encontrados maiores valores de CO_{am} (Figuras 4E, 4F e 4G) quando comparado com o CO_p (Figuras 4C e 4D). A fração CO_{am} além de apresentar uma ciclagem mais lenta, possui maior interação com a fração mineral do solo, portanto, ocorrendo maior acúmulo desta (BAYER et al., 2004). O fato da área de estudo não ser submetida ao revolvimento, favorece uma menor decomposição e também maior estabilização da MOS (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Caracterizando as frações físicas da MOS e determinando os estoques de carbono orgânico e nitrogênio em um Argissolo Amarelo sob um fragmento da Mata Atlântica, no município sergipano de Neópolis, Guimarães et al. (2012) encontraram teores de CO_{am} nas profundidades de 0-10 e 10-30 cm de 9,9 e 6,5 g kg⁻¹, respectivamente. Enquanto os teores de CO_p, nas mesmas camadas, foram de 4,0 e 2,0 g kg⁻¹, respectivamente, corroborando com os

resultados obtidos nesse estudo. A região norte dos mapas da Figura 4 possuiu maiores teores das frações físicas. Provavelmente, isso pode ter ocorrido devido ao maior aporte de resíduos de vegetais e hifas nessa área (GOLCHIN et al., 1994).

Os resultados encontrados no presente estudo são semelhantes com pesquisas realizadas no bioma Mata Atlântica, demonstrando a qualidade do solo no SAF. No estudo de Kunde et al. (2016) em mata nativa, no RS, foram encontrados teores de COT, COp e COam de 17,86, 7,60 e 10,26 g kg⁻¹, respectivamente, na profundidade de 0-5 cm, teores de 14,31, 3,42 e 10,89 g kg⁻¹ na profundidade de 5-10 cm e teores de 22,85, 3,94 e 18,90 g kg⁻¹ na profundidade de 10-20 cm. Portanto, estes resultados estão próximos dos encontrados no sistema agroflorestal em estudo.

Através da análise da Figura 5C verificam-se maiores teores de carbono na fração C-HUM quando comparados com as outras frações (Figuras 5A e 5B). Este resultado corrobora com os obtidos em estudos realizados em clima tropical, no qual a C-HUM além de ser identificada como a fração com maior reserva de carbono nos solos (EBELING et al., 2011), também indica a presença de MOS recalcitrante e está diretamente ligada com a parte mineral do solo, enquanto o C-FAF e C-FAH equivalem a MOS oriunda das formas lábeis (FONTANA et al., 2011).

O teor de carbono na fração C-FAF (Figura 5A) é menor quando comparado a fração C-FAH (Figura 5B). De acordo com Stevenson (1994), os C-FAF possuem menor peso molecular, maior solubilidade e mobilidade no solo, portanto, são lixiviados mais facilmente. Já os C-FAH possuem maior peso molecular e maior concentração de carbono aromático, fazendo com que essa fração seja mais estável e demora mais a ser formada. Portanto, contribuindo para o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), maior agregação do solo, melhoria na estrutura do solo e estoque de micronutrientes, nitrogênio, fósforo e enxofre no sistema agroflorestal (PRIMO; MENEZES; SILVA, 2011).

Na área mais baixa do SAF, região leste, foram quantificados os maiores teores de carbono nas frações C-FAF, C-FAH e C-HUM. Conforme Silva et al. (2007), normalmente, quando áreas com menor declividade possuem boa drenagem, maior é a taxa de deposição e grau de humificação da matéria orgânica. A deposição da MOS ocorre também em função de outros fatores, como o arranjo e a abundância das espécies presentes na área, da fenologia, do estágio sucessional além dos fatores edafoclimáticos (CALDEIRA et al., 2008).

Confirmando os resultados do presente estudo, Fontana et al. (2014) quantificaram os teores de carbono orgânico e frações húmicas de horizontes superficiais de perfis de solos em três topossequências, no município de Pinheiral, RJ, e verificaram que os solos localizados em áreas de relevo plano, topo e várzea apresentaram maiores teores de carbono orgânico e frações húmicas.

Os resultados deste trabalho mostram que os valores das substâncias húmicas presentes na área do SAF estão próximos dos verificados nas áreas de matas nativas, como no estudo de Machado et al. (2014), no qual foram quantificados teores de C-FAF, C-FAH e C-HUM de 6,84, 8,99 e 36,62 g kg⁻¹, respectivamente, na profundidade de 0-5 cm e de 5,51, 7,42 e 22,71 g kg⁻¹ na profundidade de 5-10 cm para essas frações, em uma mata nativa da Mata Atlântica, no ES. Fontana et al. (2010) avaliando o efeito de diferentes coberturas vegetais na distribuição das substâncias húmicas na região norte do estado do Rio de Janeiro, verificaram teores de C-FAF, C-HAF e C-HUM de 1,2, 0,8 e 3,7 g kg⁻¹ na profundidade de 0-5 cm e teores de 1,3, 0,9 e 1,9 g kg⁻¹, respectivamente, na profundidade de 5-10 cm em uma floresta semidecídua. Miranda, Canellas e Nascimento (2007) avaliando a distribuição das frações húmicas e as características químicas e espectroscópicas dos ácidos húmicos extraídos dos solos de fragmentos de Mata Atlântica e de plantios abandonados de eucalipto, no estado do Rio de Janeiro, verificaram em uma mata de morrote teores médios de C-FAF, C-HAF e C-HUM na profundidade de 0-10 cm de 1,9, 1,1 e 7,4 g kg⁻¹.

3.6 CONCLUSÕES

Foi possível espacializar as frações da matéria orgânica do solo, com exceção das variáveis COT e COp na profundidade de 0-10 cm. A verificação da qualidade do solo do sistema agroflorestal através da espacialização das frações da matéria orgânica mostrou-se eficiente, sendo observado que os teores das frações da matéria orgânica se aproximaram daqueles verificados em solo sob matas nativas.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Embrapa Solos, 2003. 7p. (Comunicado Técnico, 16)
- CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, [S.I.], v. 56, p. 777-783, 1992.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, [S.I.], v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1381-1396, 2007.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. SSAA, 1994. p. 1-20. (Special, 35)
- EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 157-165, 2011.
- ESRI. **ArcGis 10.2**. Environmental Systems Research Institute Inc, Califórnia, 2014.
- FONTANA, A.; BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BENITES, V. M. Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 22, n. 1, p. 49-56, 2010.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; SANTOS, A. C.; BERNINI, T. A. Matéria orgânica de horizontes superficiais em toplotossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 2, p. 221-229, 2014.
- FONTANA, A.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BRITO, R. J.; BENITES, V. M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 545-550, 2011.
- FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrata para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 143-154, 2011.
- FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Levantamento fitossociológico comparativo entre sistema agroflorestal multiestrato e capoeiras como ferramenta para a execução da reserva legal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 203-225, 2011.
- GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.
- GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal Soil Reserach**, [S.I.], v. 32, n. 5, p. 1043-1068, 1994.
- GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; MELO-NETO, J. O.; REIS, A. F.; LIMA, T. S.; SANTANA, I. L. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio

em fragmento de Mata Atlântica do município de Neópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 8, n. 4, p. 1-5, 2012.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford University, 1989. 561p.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, [S.I.], v. 76, n. 1, p. 1-10, 2009.

KUNDE, R. J.; LIMA, C. L. R.; SILVA, S. D. A.; PILLON, C. N. Frações físicas da matéria orgânica em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1520-1528, 2016.

LEITE, L. F. C.; FERREIRA, J. S.; VELOSO, M. E. C.; MOUSINHO, F. E. P.; ROCHA-JUNIOR, A. F. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 394-401, 2015.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 133-146, 2009.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014.

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.

MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 603-609, 2013.

MARCHETTI, A.; PICCINI, C.; R. FRANCAVIGLIA, R.; MABIT, L. Spatial distribution of soil organic matter using geostatistics: a key indicator to assess soil degradation status in central Italy. **Pedosphere**, [S.I.], v. 22, n. 2, p. 230-242, 2012.

MEISTER, K.; SALVIATI, V. O investimento privado e a restauração da Mata Atlântica no Brasil. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 43-57, 2009.

MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 905-916, 2007.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Diretrizes para a política de conservação e desenvolvimento sustentável da Mata Atlântica**. Brasília – DF, 1998. 26p.

NAIR, P. K. R. Agroforestry systems and environmental quality. **Journal of Environmental Quality**, [S.I.], v. 40, n. 3, p. 784-790, 2011.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 911-920, 2008.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, Londrina, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016. URL <https://www.R-project.org/>

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 622-630, 2011.

- SANTOS, D. C.; FARIAS, M. O.; LIMA, C. L. R.; KUNDE, R. J.; PILLON, C. N.; FLORES, C. A. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 838-844, 2013a.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa, 2013b. 353p.
- SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; PÉREZ, M. G.; MARTIN-NETO, L.; VASQUEZ, F. M. Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em toposequência de Latossolos do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1059-1068, 2007.
- SILVA, C. S.; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; SILVA, E. V. Spatialization of soil chemical and physical attributes in an agroforestry system, Seropédica, Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 4, p. 407-414, 2016.
- 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, 2004.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2.ed. J. Wiley, 1994. 496p.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. America Society of Agronomy, 1996. p.1011-1020.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. Academic press, 1980. p. 319-344.
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorological Society**, [S.I.], v.63, p.1309-1313, 1982.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de Textos, 2013. 215p.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Soil Science and Plant Analysis**, [S.I.], v. 19, p. 1467-1476, 1988.
- 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.

4 CAPÍTULO III

RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE INDICADORES EDÁFICOS E FITOSSOCIOLÓGICOS EM UMA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

4.1 RESUMO

O objetivo do presente estudo foi relacionar espacialmente indicadores do solo e fitossociológicos em uma área em processo de restauração ecológica, no bioma Mata Atlântica. Foram alocados 49 pontos amostrais na área de estudo, no qual em cada ponto foram coletadas amostras de terra na profundidade de 0-10 cm. Os atributos do solo avaliados foram: carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e associado aos minerais, carbono oxidável permanganato, nitrogênio total, proteína do solo relacionada à glomalina – facilmente extraível e abundância de esporos de fungos micorrízicos arbusculares. No componente arbóreo foram avaliados altura, área basal, riqueza, densidade, índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e número de indivíduos pertencentes à família Fabaceae. Para os indivíduos regenerantes foram avaliados, riqueza, densidade, H' e número de indivíduos pertencentes à família Fabaceae. O semivariograma foi ajustado para cada variável, posteriormente foi realizada a Krigagem Ordinária. Todas as variáveis apresentaram dependência espacial. As variáveis de mesma natureza apresentaram maiores correlações entre si, enquanto que a estrutura da vegetação apresentou correlações baixas e insignificantes com os indicadores edáficos. Portanto, são necessárias mais avaliações das correlações entre eles, para possivelmente, serem utilizados no monitoramento de restaurações ecológicas.

Palavras-chave: atributos do solo, caracterização fitossociológica, plantio florestal, geoestatística.

4.2 ABSTRACT

The objective of the present study was to spatially relate soil and phytosociological indicators to an area undergoing ecological restoration in the Atlantic Forest biome. A total of 49 sample points were allocated in the study area, where soil samples were collected at depth of 0-10 cm. Soil attributes evaluated were: total organic carbon, particulate carbon, organic carbon associated with minerals, permanganate oxidizable carbon, total nitrogen, easily extractable glomalin-related soil protein and spores abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. In the arboreal component, height, basal area, richness, density, diversity index of Shannon-Weaver (H') and number of individuals belonging to the Fabaceae family were evaluated. For the regenerating individuals were evaluated, richness, density, diversity index H' and number of individuals belonging to the Fabaceae family. The semivariogram was adjusted for each variable, after which the Ordinary Kriging was performed. All variables presented spatial dependence. Variables of the same nature showed higher correlations with each other, while the vegetation structure had low and insignificant correlations with the edaphic indicators. Therefore, further evaluations of the correlations between them are needed to possibly be used in the monitoring of ecological restorations.

Keywords: soil attributes, phytosociological characterization, forest planting, geostatistics.

4.3 INTRODUÇÃO

Atualmente, a Mata Atlântica possui um total de 8,5% da sua cobertura original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2016). O interesse em conservar e restaurar a Floresta Atlântica vem aumentando (MIRANDA, CANELLAS, & NASCIMENTO, 2007), portanto, vêm crescendo as iniciativas a restauração ecológica (RODRIGUES et al., 2009). A restauração ecológica pode ser definida como o processo que auxilia a recuperação de um ecossistema que foi desgastado, deteriorado ou danificado, além de favorecer a conservação da biodiversidade e manter os serviços ecossistêmicos (SER, 2004).

É composta por diferentes etapas, sendo as mais importantes a avaliação e o monitoramento da área em processo de restauração (BRANCALION et al., 2015). A partir delas é possível verificar se as áreas estão respondendo positivamente as técnicas empregadas e se o projeto técnico executado teve êxito, e caso apresentar indícios de baixa sustentabilidade futura, o mesmo poderá ser redirecionado (BRANCALION et al., 2015).

Essas etapas são traçadas através do uso de indicadores, os quais são variáveis que permitem verificar mudanças em um evento ou processo. Geralmente, os indicadores mais utilizados são relacionados à estrutura e a composição da vegetação (BRANCALION et al., 2015). Porém, outros indicadores estão sendo sugeridos, como os atributos químicos, físicos e biológicos do solo (CHAER, 2008).

A maioria das variáveis biológicas possui variabilidade espacial, porém boa parte dos trabalhos na literatura não considera essa particularidade (DORMANN, 2007). Naturalmente, o solo apresenta uma variabilidade espacial vertical e horizontal, que é decorrente dos fatores de formação, do manejo empregado (CAVALCANTE et al., 2007), entre outras causas.

As variáveis dendrométricas e florísticas, como altura, área basal, número de indivíduos, biomassa, carbono, diversidade de espécies, entre outras, podem apresentar estrutura de dependência espacial, dependendo das condições do ambiente, características das espécies, fatores abióticos, entre outros (AMARAL et al., 2010; RODE et al., 2010; AMARAL et al., 2013).

A alta variabilidade espacial e a dependência de algumas variáveis é estudo de inúmeros artigos recentes utilizando a geoestatística (PELLISSARI et al., 2012; SILVA et al., 2017). A geoestatística é uma técnica que através do uso de interpoladores estima uma dada variável em locais que não foram amostrados a partir de valores conhecidos (LANDIM, 2006).

Diante do exposto, as variações espaciais da estrutura da floresta são explicadas pelos atributos do solo, apresentando relações entre si? Partindo da hipótese que a distribuição das espécies vegetais em uma área pode depender do relevo, ordem de solo e disponibilidade de nutrientes, e que a vegetação pode influenciar nos atributos do solo, espera-se que os atributos edáficos e fitossociológicos são interdependentes e se relacionam no espaço. Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar a relação espacial entre os indicadores edáficos e fitossociológicos em uma área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, com 14.902,8 m² (1,49 ha), está localizada no município de Magé, Rio de Janeiro, Brasil, com coordenadas centrais de 43°01'W e 22°35'S (Figura 6). De acordo com a nova classificação climática proposta por Alvares et al. (2013), o clima da região é quente e úmido, sem estação seca, correspondendo ao tipo "Af". A temperatura média anual é de 21,9 °C e a chuva média anual é de 2.050 mm (SILVA-SOARES et al., 2010). O relevo é predominantemente suave ondulado (< 5% de declividade), os solos na área foram classificados como GLEISSOLO HÁPLICO, LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO (SANTOS et al., 2013) e a vegetação primária é caracterizada como Floresta Ombrófila Densa (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2013).

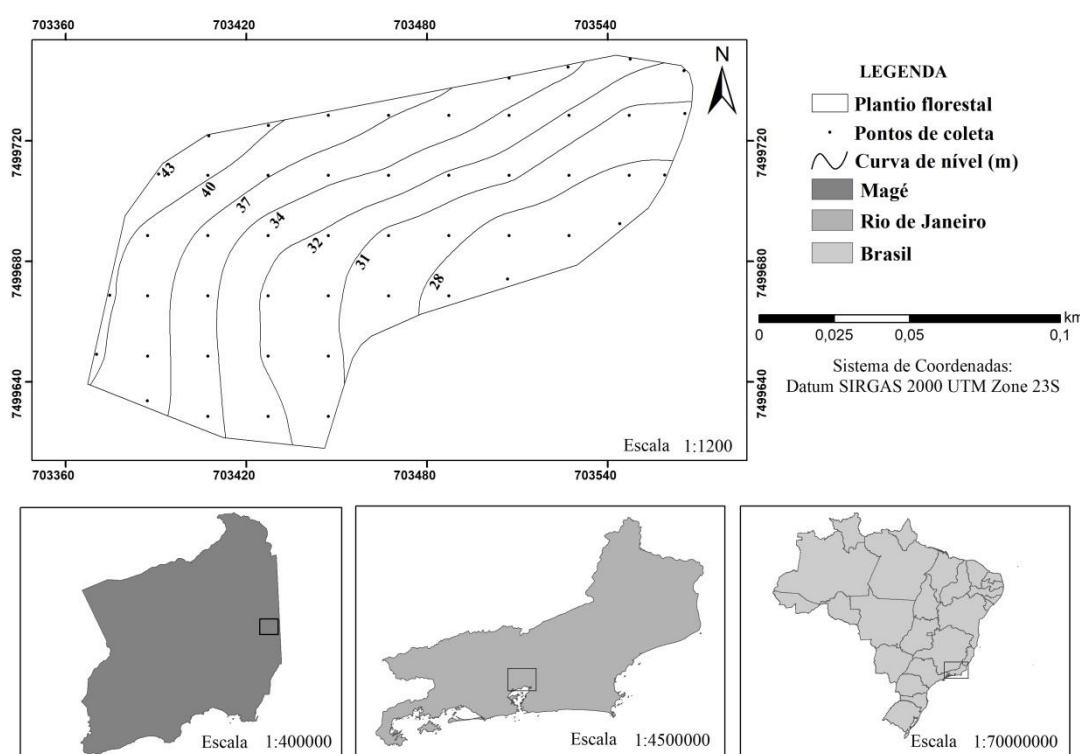


Figura 6. Localização do plantio florestal no município de Magé, Rio de Janeiro, Brasil.

Antes do plantio, a vegetação presente na área era composta por *Brachiaria* sp. e manchas de sapê (*Imperata brasiliensis* Trin.). O plantio foi realizado em 2009, com espaçamento 2,5 x 2,5 m, e dimensão de berço de 40 x 40 x 40 cm. Na adubação de arranque das mudas foi aplicado 150 g/berço de NPK (06-30-06), 300 g/berço de calcário e 3 L/berço de esterco bovino curtido. As espécies que foram implantadas são pertencentes ao bioma local (Mata Atlântica) e uma espécie exótica, *Khaya ivorensis* A. Chev. (mogno africano).

Os vértices da área em processo de restauração foram georreferenciados com o auxílio de um Global Positioning System (GPS) de dupla frequência e outro de mono frequência. Com o uso do ArcGIS 10.5 (ESRI, 2017), foi distribuída sistematicamente uma malha com 49 pontos amostrais, distanciados 20 m entre si. Posteriormente, as coordenadas obtidas de cada ponto foram transferidas para um GPS de navegação para a coleta dos dados em campo. Em cada ponto foram coletadas amostras de terra, na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. As amostras foram preparadas segundo Donagemma et al. (2011). Nas amostras coletadas foi

realizada a determinação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Foram quantificados os valores de pH (em H₂O), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²), alumínio (Al⁺³), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), fósforo (P), argila total (g kg⁻¹), areia total (g kg⁻¹) e silte (g kg⁻¹), de acordo com Donagemma et al. (2011) (Tabela 5). Na profundidade de 0-10 cm foi realizada a determinação do carbono orgânico total (COT) (DONAGEMMA et al., 2011), o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo, segundo o método de Cambardella e Elliot (1992), a determinação do carbono oxidável permanganato (POXC) descrito por Weil et al. (2003) e a quantificação do nitrogênio total (N) (TEDESCO et al., 1995).

Tabela 5. Caracterização das propriedades químicas e físicas do solo da área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica.

Profundidade	pH	Ca+Mg	Al ³⁺	H+Al	Na ⁺	K ⁺	P	Argila	Areia	Silte
cm		cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³		g kg ⁻¹		
0 - 10	4,81	2,68	0,90	6,59	0,01	0,02	2,63	328,92	445,69	225,39
10 - 20	4,62	1,86	0,99	5,82	0,00	0,01	1,72	328,04	446,65	225,31
20 - 40	4,56	1,71	1,05	5,54	0,00	0,01	1,48	296,69	441,08	262,22

Os atributos biológicos avaliados foram: abundância de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, em que a extração de esporos foi realizada em 50 cm³ de solo seguindo-se a técnica de peneiramento úmido de Gerdermann e Nicolson (1963) e a glomalina, quantificada como proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG), analisando-se a fração facilmente extraível (FE) (WRIGHT; UPDAHYAYA, 1998; RILLIG, 2004). A extração da PSRG-FE foi realizada em autoclave (30 min a 121 °C) utilizando-se 1,0 g de solo e 8,0 mL de citrato de Na pH 7,0, e a quantificação foi efetuada pelo método de Bradford (1976), modificada por Wright et al. (1996).

Na vegetação, aplicou-se o método de amostragem com unidades amostrais circulares de área fixa, com raio de 6 m (113,10 m²), centradas em cada ponto de coleta de terra. Nas unidades amostrais, foram mensuradas e identificadas todas as plantas arbóreas e regenerantes. Foram consideradas plantas arbóreas aquelas com circunferência a 1,30 m do solo igual ou superior a 15,7 cm (DAP ≥ 5 cm). As plantas que não atenderam este critério e apresentaram altura total maior que 60 cm, foram consideradas como regenerantes e apenas o número de indivíduos de cada espécie mensurado. A circunferência e a altura das plantas foram mensuradas utilizando fita métrica e vara hipsométrica, respectivamente.

Para caracterizar o estrato arbóreo da vegetação, foram estimados os seguintes indicadores dendrométricos e fitossociológicos: altura (m), área basal (m² ha⁻¹), riqueza, densidade (ind ha⁻¹), índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e número de indivíduos pertencentes à família Fabaceae. Para os indivíduos regenerantes estimou-se os seguintes indicadores: riqueza, densidade (ind ha⁻¹), índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e número de indivíduos pertencentes à família Fabaceae.

Todos os indicadores estimados foram submetidos a análise descritiva no *software* R 3.4.0 (R Core Team, 2017), obtendo-se os valores de média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Para testar a hipótese de normalidade foi realizado o teste de Shapiro-Wilk com 5% de probabilidade. Com a finalidade de verificar os valores discrepantes (*outliers*) foi utilizado o gráfico Box Plot. Quando necessário, as variáveis foram transformadas para a escala logarítmica ou os valores discrepantes foram retirados, como realizado por Silva et al. (2017).

Na sequência, os indicadores foram submetidos a análise do semivariograma experimental com o objetivo de verificar a estrutura de dependência espacial. Foram obtidos

os parâmetros iniciais “efeito pepita”, “patamar” e “alcance” para o ajuste de três modelos teóricos com patamar (esférico, exponencial e gaussiano), pelo método da máxima verossimilhança. Essas análises foram realizadas no pacote geoR (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001).

A escolha do melhor modelo de semivariância foi feita com base nos valores de: Critério de Informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), coeficiente de determinação (r^2), índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT et al., 1985) e Grau de Dependência Espacial (GDE %). O GDE é classificado como: forte dependência espacial ($GDE \leq 25\%$), moderada dependência espacial ($25 \leq GDE \leq 75\%$) e fraca dependência espacial ($GDE \geq 75\%$). Quando o GDE é igual a 100%, sugere um semivariograma com Efeito Pepita Puro (EPP), ou seja, a variável é independente espacialmente (CAMBARDELLA et al., 1994). Comprovada a estrutura de dependência espacial, as variáveis foram estimadas nos locais não amostrados, por meio da Krigagem Ordinária utilizando o *software* ArcGIS 10.5 (ESRI, 2017). Assim, foram obtidos os mapas com a distribuição espacial de todos os indicadores estimados para os atributos do solo, estratos arbóreos e regenerantes.

Os mapas de Krigagem dos indicadores foram comparados, dois a dois, por meio da matriz de correlação de Pearson (Anexo A). Esse procedimento possibilitou a verificação da similaridade dos mapas interpolados (KERRY; OLIVER, 2008). A correlação (r) foi classificada como: muito alta ($0,90 \leq r \leq 1,00$), alta ($0,70 \leq r \leq 0,90$), moderada ($0,50 \leq r \leq 0,70$), baixa ($0,30 \leq r \leq 0,50$) ou insignificante ($0,00 \leq r \leq 0,30$) (MUKAKA, 2012).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva das variáveis está apresentada na Tabela 6. Foram retirados os valores discrepantes (*outliers*) das variáveis POXC e área basal, visto que os mesmos estavam prejudicando a obtenção de dependência espacial dessas variáveis. Algumas variáveis não apresentaram normalidade, porém as mesmas não foram transformadas, pois possuíam dependência espacial. De acordo com Isaaks e Srivastava (1989), a presença de dependência espacial nas variáveis é mais importante do que a existência da normalidade dos dados.

Tabela 6. Análise descritiva dos atributos do solo, componente arbóreo e regenerante na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica.

Atributos do solo ⁽¹⁾							
Parâmetros	COT	COp	COam	POXC	N	PSRG-FE	AE
			g kg ⁻¹			mg g ⁻¹	n° de esporos 50 cm ⁻³ solo
Média	15,98	4,13	12,01	0,37	0,63	1,56	269,70
Mediana	15,46	3,91	11,76	0,36	0,63	1,38	229,00
Mínimo	3,04	0,80	0,42	0,03	0,21	0,21	64,00
Máximo	35,89	10,74	28,05	0,92	1,55	5,66	1600,00
DP ⁽³⁾	6,95	2,13	6,19	0,17	0,25	1,01	244,52
CV ⁽⁴⁾ (%)	43,51	51,67	51,54	45,46	40,15	64,70	90,65
Assimetria	0,35	0,88	0,09	1,09	1,46	2,68	3,78
Curtose	-0,02	0,86	-0,18	2,57	4,00	9,32	18,51
W ⁽⁵⁾	0,27 ^{ns}	0,04*	0,72 ^{ns}	0,01*	0,00*	0,00*	0,00*
Componente arbóreo ⁽²⁾							
Parâmetros	Ht (m)	G (m ² ha ⁻¹)	S ⁽⁴⁾	DA (ind ha ⁻¹)	H'	Fabaceae	
Média	8,17	12,75	4,13	472,84	1,19	1,94	
Mediana	8,38	10,16	4,00	486,30	1,20	1,00	
Mínimo	3,92	0,34	1,00	88,42	0,00	0,00	
Máximo	12,50	101,89	10,00	1061,01	2,25	7,00	
DP	1,92	16,22	2,32	248,14	0,62	1,93	
CV (%)	23,48	127,24	56,05	52,48	52,54	99,55	
Assimetria	-0,04	4,17	0,67	0,26	-0,34	0,85	
Curtose	-0,33	21,02	-0,15	-0,75	-0,56	-0,17	
W	0,96 ^{ns}	0,00*	0,01*	0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,00*	
Componente regenerante							
Parâmetros	S	DA (ind ha ⁻¹)	H'	Fabaceae			
Média	3,97	835,10	1,16	1,31			
Mediana	4,00	618,90	1,28	0,00			
Mínimo	2,00	176,80	0,50	0,00			
Máximo	9,00	2298,80	1,83	13,00			
DP	1,59	588,94	0,34	2,29			

CV (%)	39,23	70,53	29,35	175,57
Assimetria	0,96	1,01	-0,22	3,16
Curtose	1,78	-0,02	-1,01	13,54
W	0,00*	0,00*	0,05 ^{ns}	0,00*

⁽¹⁾COT = carbono orgânico total, COp = carbono orgânico particulado, COam = carbono orgânico associado aos minerais, POXC = carbono oxidável permanganato, N = nitrogênio, PSRG-FE = proteína do solo relacionada à glomalina – facilmente extraível, AE = abundância de esporos de fungos micorrízicos arbusculares; ⁽²⁾Ht = altura, G = área basal, S = riqueza, DA = densidade, H' = índice de diversidade de Shannon-Weaver; ⁽³⁾Desvio padrão; ⁽⁴⁾Coefficiente de variação; ⁽⁵⁾Teste de Shapiro-Wilk; ^{ns}Não significativo; *Significativo (p < 0,05).

Foi observada estrutura de dependência espacial em todas as variáveis analisadas (Tabela 7). Grego e Vieira (2005) encontraram dependência espacial para todas as propriedades físico-hídricas do solo na camada superficial do solo de 0-25 cm, corroborando com os resultados encontrados nesse estudo. O modelo de melhor ajuste foi o esférico, seguido pelo gaussiano. Já o modelo exponencial não se ajustou para nenhuma variável. De acordo com Camargo, Fuks, e Câmara (2004), o modelo esférico é um dos mais ajustados, predominando em pesquisas na área de ciência do solo.

Tabela 7. Parâmetros e modelos teóricos ajustados para as variáveis na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica.

Parâmetros	Atributos do solo ⁽¹⁾						
	COT	COp	COam	POXC	N	PSRG-FE	AE
			g kg ⁻¹			mg g ⁻¹	n° esporos 50 cm ⁻³ solo
AIC	333,59	212,36	317,47	-57,52	11,40	141,89	677,81
BIC	341,15	219,85	324,96	-50,48	18,96	149,45	685,38
r ²	0,09	0,14	0,00	0,00	0,00	0,21	0,18
d	0,57	0,54	0,38	0,34	0,46	0,65	0,64
C ₀ ⁽³⁾	33,33	1,62	33,27	0,01	0,04	0,00	29855,73
C ₀ +C ⁽⁴⁾	47,94	4,55	37,73	0,01	0,06	1,00	86103,26
a ⁽⁵⁾	67,58	41,84	39,69	41,84	39,12	33,39	45,75
GDE (%)	69,52	35,57	88,18	81,25	69,33	0,00	34,67
Modelo	Esf ⁽⁶⁾	Esf	Gaus ⁽⁷⁾	Esf	Esf	Esf	Gaus
	Componente arbóreo ⁽²⁾						
	Ht (m)	G (m ² ha ⁻¹)	S ⁽⁶⁾	DA (ind ha ⁻¹)	H'	Fabaceae	
AIC	195,77	283,33	214,12	636,14	93,31	198,74	
BIC	203,09	290,37	221,44	643,45	100,63	206,31	
r ²	0,06	0,02	0,02	0,26	0,04	0,30	
d	0,49	0,53	0,44	0,67	0,45	0,66	
C ₀	1,73	28,57	4,78	24090,40	0,34	1,57	
C ₀ +C	3,62	36,65	5,34	58618,40	0,39	3,59	
A	37,38	71,79	67,09	58,00	59,28	76,20	
GDE (%)	47,73	77,96	89,52	41,10	87,78	43,71	
Modelo	Esf	Esf	Gaus	Esf	Gaus	Esf	

	Componente regenerante			
	S	DA (ind ha ⁻¹)	H'	Fabaceae
AIC	140,67	563,49	30,61	227,38
BIC	147,00	569,82	36,95	234,94
r ²	0,00	0,28	0,02	0,01
d	0,29	0,70	0,42	0,50
CO	1,74	0,00	0,08	3,92
C ₀ +C	2,37	344343,01	0,11	6,05
a	43,58	39,74	51,88	59,42
GDE (%)	73,32	0,00	72,00	64,82
Modelo	Esf	Esf	Esf	Esf

⁽¹⁾COT = carbono orgânico total, COp = carbono orgânico particulado, COam = carbono orgânico associado aos minerais, POXC = carbono oxidável permanganato, N = nitrogênio, PSRG-FE = proteína do solo relacionada à glomalina – facilmente extraível, AE = abundância de esporos de fungos micorrízicos arbusculares; ⁽²⁾Ht = altura, G = área basal, S = riqueza, DA = densidade, H' = índice de diversidade de Shannon-Weaver; ⁽³⁾Efeito pepita; ⁽⁴⁾Patamar; ⁽⁵⁾Alcance; ⁽⁶⁾Esférico; ⁽⁷⁾Gaussiano.

Yun-Qiang et al. (2009) utilizaram a estatística e a geoestatística para caracterizar e comparar a distribuição espacial do carbono orgânico do solo (COS) e fatores relacionados, na bacia hidrográfica de Liudaogou, no norte da China, e ajustaram o modelo esférico para a variável COS. Quanto ao componente arbóreo, Meng, Cieszewski e Madden (2009) estimando a área basal de pinheiros na Geórgia, através de imagens do satélite Landsat 7 ETM+ e da geoestatística, verificaram que o modelo esférico apresentou os melhores ajustes, sendo ajustado à área basal de pinheiros, confirmando os resultados encontrados nesse estudo.

Com relação ao GDE, a maioria das variáveis apresentou moderada dependência espacial (25-75%), enquanto as variáveis PSRG-FE e a densidade de indivíduos regenerantes apresentaram forte dependência espacial ($\leq 25\%$). O alcance variou de 33,39 m (PSRG-FE) a 67,58 m (COT) para os atributos do solo, de 37,38 m (altura) a 76,20 m (Fabaceae) para os indivíduos arbóreos e de 39,74 m (densidade) a 59,42 m (Fabaceae) para os indivíduos regenerantes. De acordo com Isaaks e Srivastava (1989), valores de maior alcance indicam que os valores observados da variável são influenciados por outros valores desta variável em maiores distâncias. Assim, os indivíduos arbóreos da família Fabaceae correlacionam entre si em maiores distâncias, por ter um alcance maior do que as outras variáveis.

Através dos parâmetros gerados pelos modelos ajustados para cada variável, foi possível realizar a Krigagem Ordinária, no qual foram produzidos os mapas com as distribuições das variáveis (Figuras 7, 8 e 9). Nas Figuras 7A, 7B, 7C e 7D há um padrão de distribuição das variáveis na região norte da área de estudo, que pode estar relacionado com a fração mineral do solo. De acordo com Signor et al. (2014), os teores de carbono são maiores em solos com maiores teores de argila, existindo uma relação entre a textura do solo e a matéria orgânica, na qual a fração da matéria orgânica do solo exerce uma interação com a fração mineral do solo, formando complexos organominerais (CHRISTENSEN, 1996).

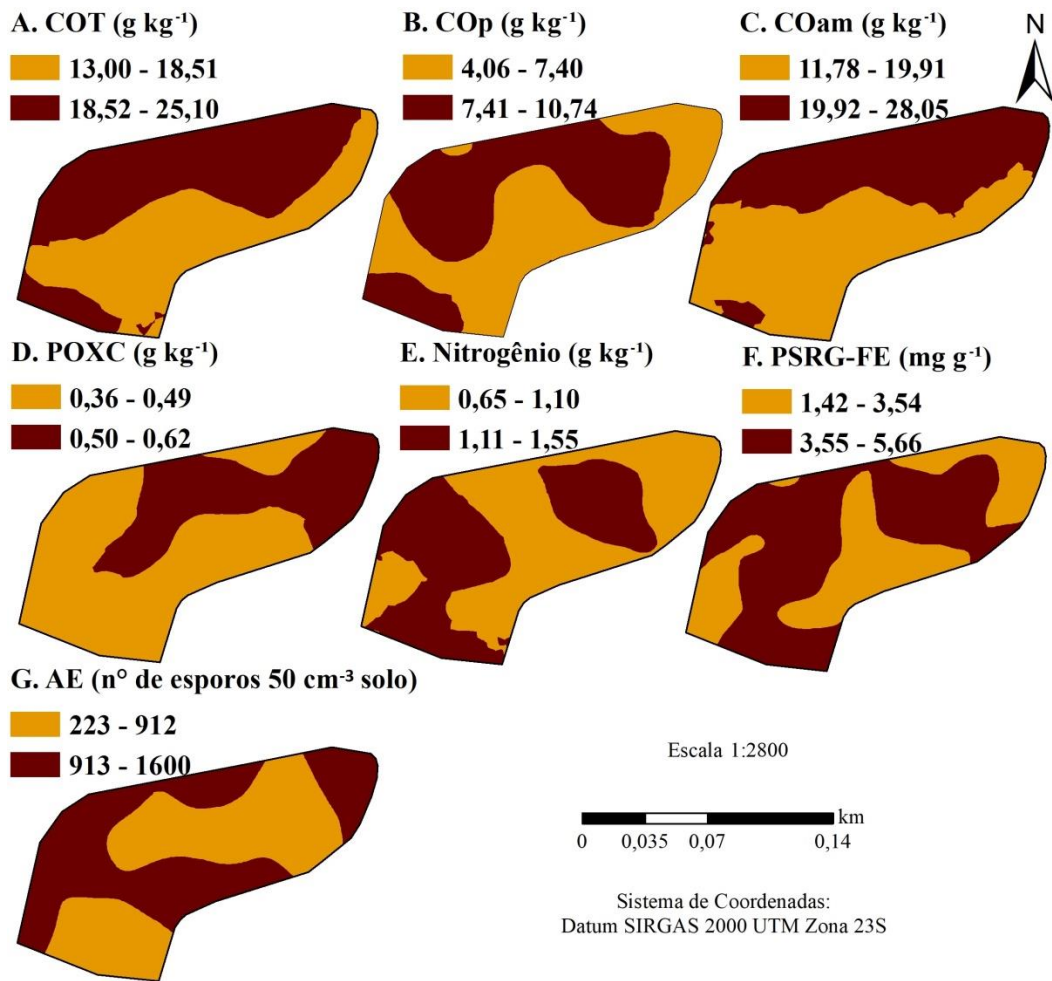


Figura 7. Mapas com as distribuições dos atributos do solo na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica.

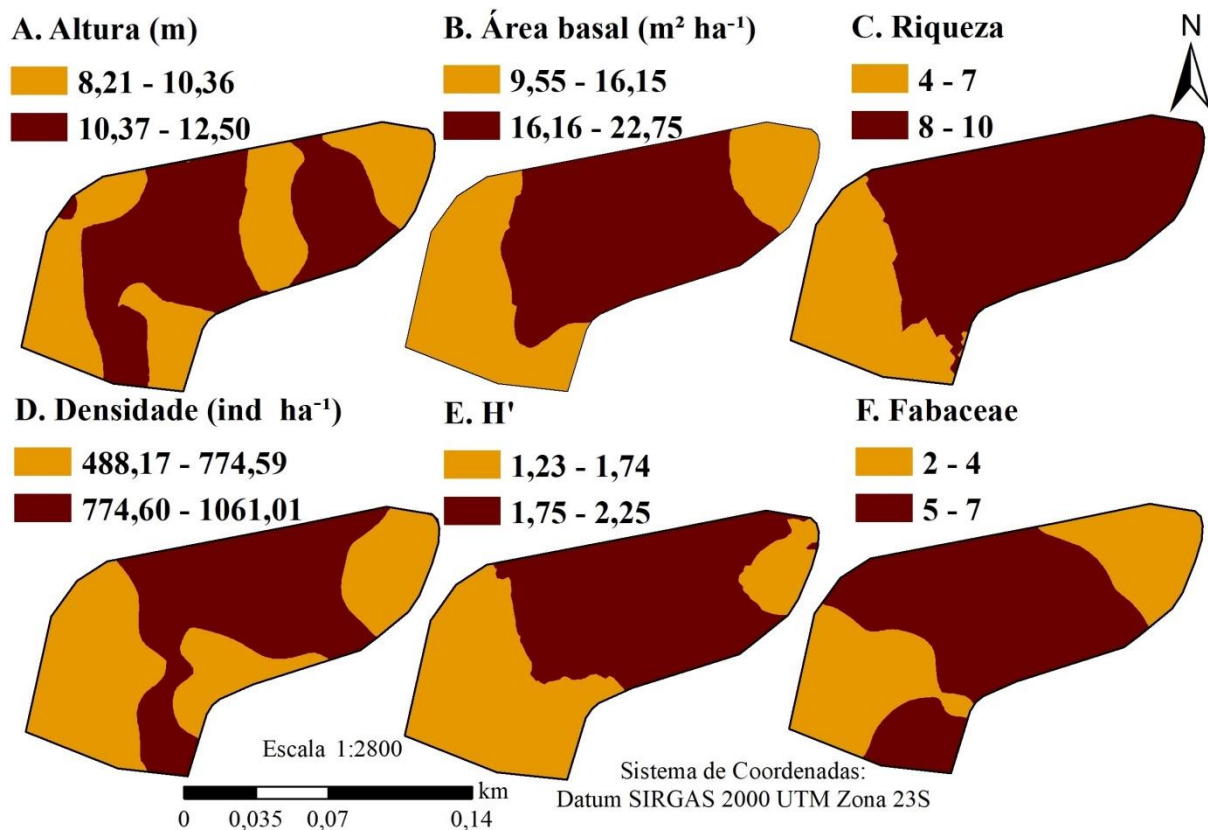


Figura 8. Mapas com as distribuições das variáveis do componente arbóreo na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica.

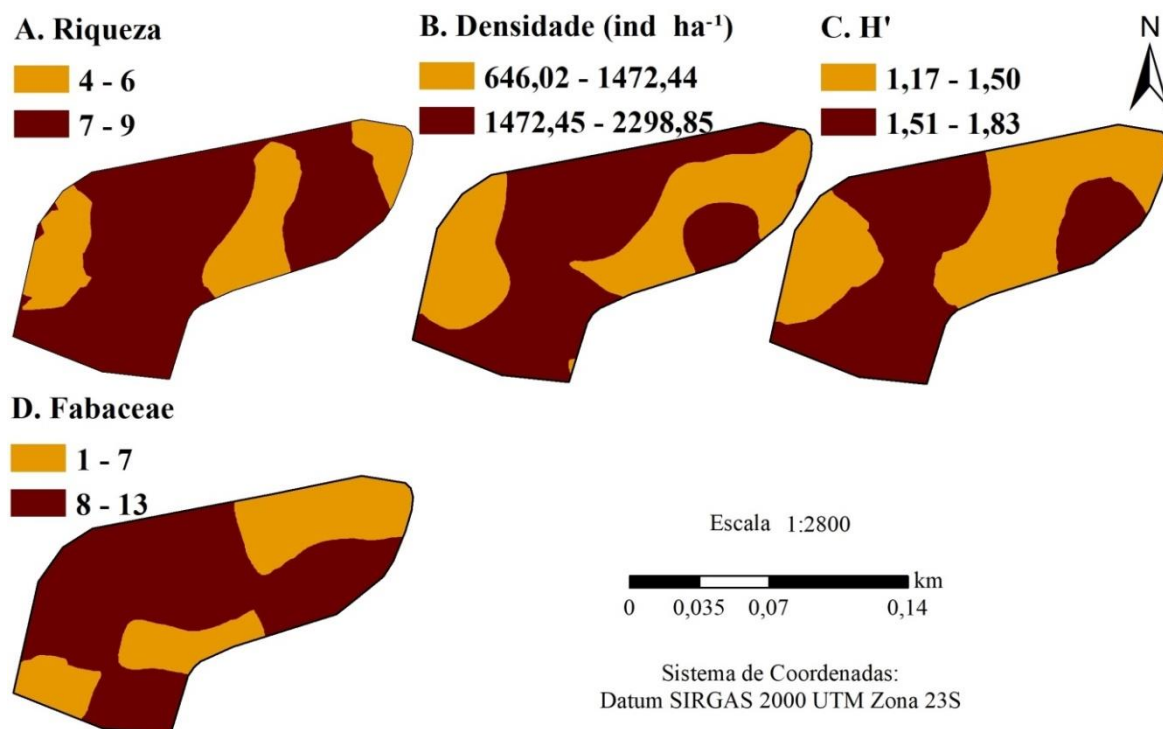


Figura 9. Mapas com as distribuições das variáveis do componente regenerante na área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica.

Foram verificados maiores teores de COam (Figura 7C) quando comparados com os teores de COP (Figura 7B). Segundo Bayer et al. (2004), 80% dos estoques de carbono orgânico total estão presentes na fração COam, o que pode ser observado também pela correlação entre essas variáveis ($r = 0,93$), e além disso, essa fração possui uma forte interação com a fração mineral do solo, portanto, ocorrendo maior acúmulo desta. Guimarães et al. (2012) encontraram resultados semelhantes com os desse estudo, no qual avaliando as frações granulométricas da matéria orgânica e os teores de C e N de um ARGISSOLO AMARELO sob mata nativa, na Mata Atlântica, encontraram maiores teores de COam (9 g kg^{-1}) em comparação ao COP (4 g kg^{-1}) para a mata nativa, na profundidade de 0-10 cm. Os autores explicam que o estoque de serapilheira contribuiu com o aumento do teor de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, favorecendo o aumento dos teores de carbono na fração COam.

As variáveis POXC e AE de FMAs (Figuras 7D e 7G) apresentaram relação inversa, podendo ser confirmado pela correlação oposta ($r = -0,30$) entre esses parâmetros. Uma possível explicação é que o carbono lábil compõe os compostos orgânicos que são mais fáceis de serem mineralizados pela microfauna presente no solo (SCHIMIGUEL et al, 2014), portanto, os locais com mais esporos dos FMAs são, conseqüentemente, as áreas com menor teor de carbono oxidável. Já as variáveis PSRG-FE e a AE de FMAs (Figuras 7F e 7G), expressaram uma relação positiva, visto que a glomalina (produto do gene) é uma glicoproteína produzida pelos FMAs (WRIGHT; GREEN; CAVIGELLI, 2007), que após a decomposição dos esporos e das hifas pelos microrganismos, se concentra no solo (DRIVER; HOLBEN; RILLIG, 2005).

Na Figura 8 ocorre um padrão semelhante nas distribuições da área basal, riqueza, densidade e H' . Esse resultado foi obtido, provavelmente, devido às relações que esses parâmetros possuem, pois os locais com maior densidade de indivíduos são as áreas onde se observa maior ocupação por madeira (área basal), maior riqueza e, conseqüentemente, maior diversidade de espécies, pois o H' é fortemente influenciado pelo número de espécies que formam as populações. Já os locais que possuem menos indivíduos arbóreos, região sudoeste e leste da Figura 8, são áreas que possuem *Brachiaria* sp. e bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl.). Essas invasoras impedem a recuperação por espécies nativas que pertencem ao estágio sucessional inicial (CORREIA; MARTINS, 2015).

Comparando os resultados encontrados para os indivíduos arbóreos e regenerantes, a densidade de indivíduos arbóreos (Figura 8D) é menor em comparação aos indivíduos regenerantes (Figura 9B). A riqueza e a diversidade de espécies foram maiores para o componente arbóreo (Figuras 8C e 8E) quando comparadas com o componente regenerante (Figuras 9A e 9C). Durigan et al. (2000) realizaram um estudo fitossociológico em três estratos verticais, estrato superior ($\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$), estrato intermediário ($1 \text{ cm} \leq \text{DAP} < 5 \text{ cm}$) e estrato inferior ($\text{DAP} < 1 \text{ cm}$, altura mínima 10 cm) na Estação Ecológica dos Caetetus, SP, e encontraram maior densidade de indivíduos no estrato intermediário ($3.525 \text{ ind ha}^{-1}$) e inferior ($28.875 \text{ ind ha}^{-1}$) do que no superior ($1.080 \text{ ind ha}^{-1}$) e o índice de diversidade de Shannon-Weaver e a área basal foram maiores para o estrato superior ($2,41$ e $31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente) em relação ao estrato intermediário ($1,83$ e $2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente) e o inferior ($2,01$), corroborando com os resultados encontrados no presente estudo.

De acordo com as Figuras 8 e 9 é possível verificar que as regiões com maiores quantidades de indivíduos arbóreos e regenerantes da família Fabaceae são as áreas com maiores valores de riqueza, densidade e H' . Esse resultado foi encontrado, possivelmente, porque a maioria dos indivíduos presentes nessa área é da família Fabaceae. Próximo a área de estudo, Roppa, Valcarcel e Baylão Junior (2012) analisando a riqueza, diversidade e composição da flora lenhosa de um trecho de Mata Atlântica em regeneração espontânea,

encontraram maior representatividade (cerca de 20% do total de espécies amostradas) da família Fabaceae.

Os mapas com as distribuições dos indivíduos regenerantes (Figura 9) apresentaram um padrão semelhante, corroborando com as altas correlações encontradas entre essas variáveis. Portanto, a variável de mais fácil obtenção pode ser escolhida no estudo de áreas em processo de restauração, otimizando tempo e mão de obra (BRANCALION et al., 2015), como a riqueza, que é um dado obtido mais facilmente quando comparado com as outras variáveis.

Comparando as distribuições das variáveis do solo com as da vegetação, é possível verificar que os locais que apresentaram maiores teores de PSRG-FE (Figura 7F) são as áreas com maior densidade de indivíduos arbóreos (Figura 8D) e regenerantes (Figura 9B). Provavelmente, esse resultado foi encontrado porque a glomalina possui diferentes funções no solo, favorecendo a formação de agregados mais estáveis (QIN et al., 2017) e mais eficientes em trocas gasosas e de água entre o solo e o sistema radicular das plantas (AL-KAISI; DOUELLE; KWAW-MENSAH, 2014), além de sequestrar metais pesados, favorecendo o desenvolvimento de organismos e plantas (GONZÁLEZ-CHÁVEZ et al., 2004).

Com base nos mapas com as distribuições do COT (Figura 7A), CO_p (Figura 7B), CO_{am} (Figura 7C) e POXC (Figura 7D) é possível verificar uma correlação com a área basal (Figura 8B), riqueza (Figura 8C), densidade (Figura 8D) e H' (Figura 8E) dos indivíduos arbóreos. Possivelmente, esse padrão foi encontrado devido à deposição dos resíduos vegetais pela parte aérea e pelas raízes (BAYER et al., 2000). De acordo com West, Espeleta e Donovan (2004), as raízes finas contribuem satisfatoriamente na adição de matéria orgânica no solo, devido a sua rápida reposição.

De acordo com a correlação entre as variáveis (Anexo A), o COT apresentou uma correlação positiva muito alta com o CO_{am} ($r = 0,93$), indicando que, a maioria do carbono presente no solo está sob forma mais recalcitrante, indicando uma maior estabilidade do carbono no solo. A PSRG-FE apresentou alta correlação com o N ($r = 0,80$), o que pode ser observado também na espacialização desses atributos na área de estudo (Figura 7E e 7F) e, uma moderada correlação com o POXC ($r = 0,68$). Segundo Fokom et al. (2012), a glomalina tem sido considerada como um importante modo de armazenamento de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo, havendo estudos que os correlacionam positivamente. A riqueza, densidade e H' do componente arbóreo apresentaram correlações de alta a muito alta entre as mesmas, o que também foi encontrado para a regeneração. Os indivíduos da família Fabaceae do componente arbóreo e da regeneração apresentaram correlações moderadas e baixas com a riqueza, densidade e H'. Tal resultado pode ter sido encontrado devido à maioria das espécies arbóreas (40,21%) e regenerantes (21,88%) da área em processo de restauração pertencerem a essa família.

4.6 CONCLUSÕES

Conclui-se que variáveis de mesma natureza apresentaram maiores correlações entre si e que a estrutura da vegetação apresentou correlações baixas e insignificantes com os indicadores edáficos. Foi observado nos mapas que a PSRG-FE apresentou uma correlação espacial com a densidade de indivíduos arbóreos e regenerantes, e o COT, COp, COam e POXC com a área basal, riqueza densidade e índice de diversidade H' dos indivíduos arbóreos.

Diante das relações apresentadas pelos componentes arbóreos e regenerantes, pode-se diminuir o número de variáveis, como a área basal, riqueza, densidade e H' , escolhendo o parâmetro de mais fácil medição, visto que apresentaram o mesmo padrão de distribuição na área de estudo.

De forma geral, os indicadores edáficos e fitossociológicos apresentaram pouca correlação espacial entre si no presente estudo, sendo necessárias mais avaliações das relações entre eles, que possivelmente, podem ser utilizados no monitoramento de restaurações ecológicas.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-KAISI, M. M.; DOUELLE, A.; KWAW-MENSAH, D. Soil microaggregate and macroaggregate decay over time and soil carbon change as influenced by different tillage systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, [S.I.], v. 69, n. 6, p. 574-580, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, J. L. G.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.I.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMARAL, L. P.; FERREIRA, R. A.; WATZLAWICK, L. F.; GENUÍ, A. M. Análise da distribuição de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em floresta ombrófila mista. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, p. 103-114, 2010.
- AMARAL, L. P.; FERREIRA, R. A.; WATZLAWICK, L. F.; LONGHI, S. J.; SEBEM, E. Influência da floresta alterada na distribuição espacial de três espécies da Floresta Ombrófila Mista avaliada pela geoestatística. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 491-501, 2013.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C. A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 95-104, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, [S.I.], v. 72, n. 1- 2, p. 248-254, 1976.
- BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: MARTINS, S. V. (Ed.) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Ed. UFV, 2015. Cap. 9, p. 262-292.
- CAMARGO, E. C. G.; FUKS, S. D.; CÂMARA, G. **Análise espacial de superfícies**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, [S.I.], v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, [S.I.], v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 394-400, 2007.
- CHAER, G. M. Monitoramento de áreas recuperadas ou em recuperação. In: TAVARES, S. R. L. et al. (Eds.). **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. Cap. 8, p. 212-228.
- CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.). **Structure and organic matter storage in agricultural soil**. Boca Raton: CRC Lewis, 1996. p. 97-165.
- CORREIA, G. G. S.; MARTINS, S. V. Banco de sementes do solo de floresta restaurada, Reserva Natural Vale, ES. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 1, p. 79-87, 2015.

- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- DORMANN, C. E. Effects of incorporation spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data. **Global Ecology and Biogeography**, [S.I.], v. 16, n. 2, p. 129-138, 2007.
- DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.I.], v. 37, n. 1, p. 101-106, 2005.
- DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SAITO, M.; BAITELLO, J. B. Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. **Revista brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-383, 2000.
- ESRI. **ArcGis 10.5**. Environmental Systems Research Institute Inc, Califórnia, 2017.
- FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M. C.; BEGOUDE BOYOGUENO, A. D.; NANA, W. L.; NGONKEU, M. E. L.; TCHAMENI, N. S.; NWAGA, D.; TSALA NDZOMO, G.; AMVAM ZOLLO, P. H. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil and Tillage Research**, [S.I.], v. 120, p. 69-75, 2012.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **MG volta a liderar ranking de desmatamento da mata Atlântica: Histórico do desmatamento**. São Paulo, SP: Fundação SOS Mata Atlântica, 2016.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2011-2012**. São Paulo, 2013.
- GERDERMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, [S.I.], v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.
- GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C.; CARRILLO-GONZÁLEZ, R.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. **Environmental Pollution**, [S.I.], v. 130, n. 3, p. 317-323, 2004.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 169-177, 2005.
- GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; MELO NETO, J. O.; REIS, A. F.; LIMA, T. S.; SANTANA, I. L. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio em fragmento de Mata Atlântica do município de Neópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 8, n. 4, p. 1-5, 2012.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.
- KERRY, R.; OLIVER, M. A. Determining nugget: sill ratios of standardized variograms from aerial photographs to kriging sparse soil data. **Precision Agriculture**, [S.I.], v. 9, n. 1-2, p. 33-56, 2008.
- LANDIM, P. M. B. **Sobre Geoestatística e mapas**. Terræ Didática, Campinas, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.
- MENG, Q.; CIESZEWSKI, C.; MADDEN, M. Large area forest inventory using Landsat ETM+: A geostatistical approach. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S.I.], v. 64, n. 1, p. 27-36, 2009.
- MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 905-916, 2007.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

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**, v. 8, n. 15, p. 1249-1260, 2012.

QIN, H.; CHEN, J.; WU, Q.; NIU, L.; LI, Y.; LIANG, C.; SHEN, Y.; XU, Q. Intensive management decreases soil aggregation and changes the abundance and community compositions of arbuscular mycorrhizal fungi in Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests. **Forest Ecology and Management**, [S.I.], v. 400, p. 246-255, 2017.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL <https://www.R-project.org/>

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. **geoR**: a package for geostatistical analysis. R NEWS, [S.I.], v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, [S.I.], v. 84, n. 4, p. 355-363, 2004.

RODE, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; GALVÃO, F. Análise do padrão espacial de espécies e de grupos florísticos estabelecidos em um povoamento de *Araucaria angustifolia* e em uma Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 255-268, 2010.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, [S.I.], v. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.

ROPPA, C.; VALCARCEL, R.; BAYLÃO JUNIOR, H. F. Avaliação da regeneração em ecossistemas perturbados como indicador da restauração em ambientes com marcada estacionalidade, Nova Iguaçu (RJ). **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 257-268, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2013.

SCHIMIGUEL, R.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. **Synergismus scyentifica**, [S.I.], v. 9, n. 1, p. 1-5, 2014.

SER (Society For Ecological Restoration International E Policy Working Group). **The SER International Primer on Ecological Restoration**. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004.

SIGNOR, D.; ZANI, C. F.; PALADINI, A. A.; DEON, M. D.; CERRI, C. E. P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1402-1410, 2014.

SILVA, C. S.; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; ASSUNÇÃO, S. A. Spatialization of fractions of organic matter in soil in an agroforestry system in the Atlantic Forest, Brazil. **Cerne**, v. 23, n. 2, p. 249-256, 2017.

SILVA-SOARES, T.; HEPP, F.; COSTA, P. N.; LUNA-DIAS, C.; GOMES, M. R.; CARVALHO E SILVA, A. M. P. T.; CARVALHO E SILVA, S. P. Anfíbios anuros da RPPN Campo Escoteiro Geraldo Hugo Nunes, município de Guapimirim, Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 226-233, 2010.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais** (2. ed.). Porte Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995.

WEIL, R. R.; ISLAM, K. R.; STINE, M. A.; GRUVER, J. B.; SAMSON-LIEBIG, S. E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, [S.I.], v. 18, n. 1, p. 3-17, 2003.

- WEST, J. B.; ESPELETA, J. F.; DONOVAN, L. A. Fine root production and turnover across a complex edaphic gradient of a *Pinus palustris*: *Aristida stricta* savanna ecosystem. **Forest Ecology and Management**, [S.I.], v. 189, n. 1-3, p. 397-406, 2004.
- WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, [S.I.], v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.
- WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, [S.I.], v. 198, n. 1, 97-107. 1998.
- WRIGHT, S. F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J. B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v. 181, n. 2, p. 193-203, 1996.
- WRIGHT, S. F.; GREEN, V. S.; CAVIGELLI, M. A. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil and Tillage Research**, [S.I.], v. 94, n. 2, p. 546-549, 2007.
- YUN-QIANG, W.; XING-CHANG, Z.; JING-LI, Z.; SHUN-JI, L. Spatial variability of soil organic carbon in a Watershed on the Loess Plateau. **Pedosphere**, [S.I.], v. 19, n. 4, p. 486-495, 2009.

5 CONCLUSÕES GERAIS

O uso da geoestatística como ferramenta para espacializar a fertilidade do solo, densidade de raízes finas, fracionamento químico e físico do solo na área do sistema agroflorestal mostrou-se eficiente, podendo, futuramente, auxiliar no manejo da área. Na restauração ecológica esta ferramenta também se manifestou ser eficaz na espacialização dos atributos do solo e dos parâmetros fitossociológicos, auxiliando na compressão da distribuição dessas variáveis. Porém, esses indicadores apresentaram pouca correlação espacial entre si, no qual, futuros estudos podem realizar mais avaliações das relações entre eles, para serem empregados no subsídio do monitoramento em áreas em processo de restauração ecológica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, L. P.; FERREIRA, R. A.; GENÚ, A. M.; SEBEM, E.; WATZLAWICK, L. F. Variabilidade espacial do fósforo em duas camadas em solo sob Floresta Ombrófila Mista. In: III SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2013, Botucatu. **Anais...** Botucatu, 2013. p.1-6.
- FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Levantamento fitossociológico comparativo entre sistema agroflorestal multiestrato e capoeiras como ferramenta para a execução da reserva legal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67 p. 203-225, 2011.
- 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.
- LOURO, C. A. P. **Modelação da vegetação potencial da Serra da Lousã e a sua aplicação no contexto da restauração de ecossistemas florestais**. 2010. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.
- MATEUS, F. A.; MIRANDA, C. C.; VALCARCEL, R.; FIGUEIREDO, P. H. A. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 3, 2013.
- MÉIER, M.; TEIXEIRA, H. M.; FERREIRA, M. G.; FERRARI, E. A.; LOPES, S. I.; LOPES, R.; CARDOSO, I. M. Sistemas agroflorestais em área de preservação permanente. **Revista Agriculturas: experiências em agroecologia**, [S.I.], v. 8, n. 2, p. 12-17, 2011.
- ODA-SOUZA, M.; BARBIN, D.; RIBEIRO-JÚNIOR, P. J.; STAPE, J. L. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemáticos tipo leque. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 32, n. 3, 2008.
- SANTOS, M. C. N.; MELLO, J. M.; MELLO, C. R.; ÁVILLA, L F. Spatial continuity of soil attributes in an Atlantic Forest remnant in the Mantiqueira Range, MG. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, n. 37, n. 1, p. 68-77, 2013.
- SER – Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004.

ANEXOS

Anexo A: Matriz de correlação de Pearson dos indicadores edáficos e fitossociológicos da área em processo de restauração ecológica no bioma Mata Atlântica.

	Coeficiente de correlação ⁽¹⁾															
	Atributos do solo					Componente arbóreo							Componente regenerante			
	COT	COp	COam	POXC	PSRG-FE	AE	N	Ht	G	S	DA	H'	Fabaceae	S*	D*	H'*
COp	0,30															
COam	0,93	-0,08														
POXC	0,27	0,56	0,07													
PSRG-FE	0,49	0,44	0,34	0,68												
AE	-0,16	-0,22	-0,08	-0,30	-0,27											
N	0,46	0,53	0,27	0,59	0,80	-0,22										
Ht	-0,01	0,31	-0,13	0,17	0,16	-0,47	0,14									
G	-0,19	0,47	-0,38	0,16	-0,01	-0,22	0,10	0,41								
S	0,14	0,29	0,04	0,00	0,05	-0,38	0,03	0,41	0,49							
DA	0,19	0,29	0,09	0,02	0,18	-0,35	0,15	0,39	0,43	0,90						
H'	0,16	0,28	0,06	0,00	0,08	-0,38	0,05	0,48	0,48	0,96	0,85					
Fabaceae	0,12	0,40	-0,03	0,08	0,33	-0,22	0,32	0,36	0,30	0,47	0,57	0,47				
S*	0,00	0,12	-0,04	-0,09	-0,12	-0,26	-0,14	0,22	0,39	0,24	0,21	0,25	0,13			
D*	0,03	0,14	-0,03	-0,13	-0,14	-0,16	-0,21	0,22	0,48	0,35	0,42	0,33	0,18	0,78		
H'*	0,04	0,00	0,04	-0,12	-0,11	-0,26	-0,16	0,14	0,23	0,21	0,20	0,22	0,15	0,96	0,72	
Fabaceae*	-0,22	0,33	-0,35	0,03	-0,03	-0,17	0,04	0,14	0,62	0,17	0,11	0,15	0,34	0,58	0,55	0,50

⁽¹⁾COT = carbono orgânico total, COp = carbono orgânico particulado, COam = carbono orgânico associado aos minerais, POXC = carbono oxidável permanganato, PSRG-FE = proteína do solo relacionada à glomalina – facilmente extraível, AE = abundância de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, N = nitrogênio, Ht = altura, G = área basal, S = riqueza, DA = densidade, H' = índice de diversidade de Shannon-Weaver; *Componente regenerante.