

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MODELOS E PARÂMETROS DOS VARIOGRAMAS EM
DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA PEDODIVERSIDADE:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE**

Yasmin Sampaio Muniz

Engenheira Agrônoma

2020

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MODELOS E PARÂMETROS DOS VARIOGRAMAS EM
DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA PEDODIVERSIDADE:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE**

Yasmin Sampaio Muniz

Orientador: Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Daniel De Bortoli Teixeira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2020

M966m Muniz, Yasmin Sampaio
Modelos e parâmetros dos variogramas em diferentes
compartimentos da pedodiversidade: uma revisão sistemática com
meta-análise / Yasmin Sampaio Muniz. -- Jaboticabal, 2020
63 p. : il., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Gener Tadeu Pereira
Coorientador: Daniel De Bortoli Teixeira

1. Atributos do solo. 2. Geoestatística. 3. Pedometria. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MODELOS E PARÂMETROS DOS VARIOGRAMAS EM DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA PEDODIVERSIDADE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE

AUTORA: YASMIN SAMPAIO MUNIZ

ORIENTADOR: GENER TADEU PEREIRA

COORIENTADOR: DANIEL DE BORTOLI TEIXEIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

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

Jaboticabal, 27 de fevereiro de 2020

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Yasmin Sampaio Muniz- Filha de Silvio Romero Silva Muniz e Iara Sampaio Guia, nasceu em Anajatuba, Maranhão, no dia 11 de novembro de 1993. cursou Engenharia Agrônoma na Universidade Estadual do Maranhão- UEMA, Campus Paulo VI, em São Luís, de 2012 a 2017. Foi monitora das disciplinas de Bioquímica (2013 e 2014), Agricultura Geral (2016) e Fertilidade do solo (2017). Bolsista de extensão pela FAPEMA de 2013-2014, atuando nos temas de substituição do sistema de corte e queima, agroecologia e integração lavoura pecuária. Foi bolsista de iniciação científica CNPQ/Embrapa Cocais de 2014-2017, atuando nos temas de fertilidade do solo, fertilizantes, condicionadores do solo e nutrição mineral de plantas. Em agosto de 2018, ingressou no Curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP. Em fevereiro de 2020, submeteu-se à banca para a defesa de Dissertação.

“Esquecer como escavar a terra e cuidar do solo é esquecer a nós mesmos”

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Esse é o momento de agradecer a todos que estiveram ao meu lado, pois se cheguei até aqui foi porque não estava sozinha. Assim, agradeço:

A Deus por ter me mantido firme, dando-me sempre força e sabedoria.

Aos meus pais Lara e Romero pelo o incansável apoio e a imensa confiança que sempre depositaram em mim. Tudo isso é por vocês. Desculpa e obrigada por entenderem a minha ausência muitos momentos.

Ao meu namorado Neto Bastos pela compreensão, amor, cumplicidade. Obrigada meu amor por sempre apoiar este meu sonho.

A república Sófadinhas, pelos momentos de descontração e amizade. A melhor república de Jaboticabal. Obrigada por me acolherem com tanto carinho.

Ao meu orientador Dr. Gener Tadeu Pereira agradeço pela atenção, apoio e disponibilidade em me ajudar.

Ao meu coorientador Dr. Daniel de Bortoli Teixeira pela paciência, incentivo, confiança e dedicação ao longo de todo trabalho.

Ao Dr. Alan Rodrigo Panosso e Dr. Marcilio Vieira Martins Filho, membros da banca de qualificação, pelas sugestões para a melhoria deste trabalho.

Ao Dr. Marcilio Vieira Martins Filho e Dr. Zigomar Menezes de Souza, membros da banca de defesa, pelas preciosas contribuições.

As minhas amigas desde a época de graduação, Adyelle Ancheita e Thamires Sousa, por esses oito anos de companheirismo e amizade.

A Diego Silva Siqueira pelos ensinamentos, confiança e motivação. Suas palavras de incentivo foram essenciais para eu seguir nessa jornada.

Aos amigos conquistados durante a pós-graduação Ana Paula Aranha, Naum Colins e Angélica Silva pelo apoio recebido, conversas e amizade.

Aos funcionários da Seção de Pós Graduação, pela atenção e dedicação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do solo) pela oportunidade de ampliar e aprimorar meus conhecimentos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Obrigada a todos!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 A agricultura de precisão.....	8
2.2 O solo e a variabilidade dos seus atributos.....	10
2.3 A amostragem de solo	12
2.4 A geoestatística e o variograma	14
2.5 Meta-análise	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Localização e caracterização da área de estudo.....	21
3.2 Validação dos dados e Meta-análise.....	21
3.3 Análise de dados.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Modelos de variogramas observados e anisotropia.....	25
4.2 Alcance de variograma nas diferentes geologias	28
4.3 Alcance de variograma nas diferentes classes de solo	33
5. CONCLUSÃO	37
6. REFERÊNCIAS	38
APÊNDICE	55

MODELOS E PARÂMETROS DOS VARIOGRAMAS EM DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA PEDODIVERSIDADE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE

RESUMO: Faz-se necessário realizar um bom planejamento amostral, para detalhar melhor as características do solo e para uma melhor tomada de decisão, seja ela ambiental, agrônômica ou até mesmo pedológica. Os fatores de formação do solo, especificamente geologia condiciona diferentes padrões de variabilidade. Portanto, é interessante que para cada contexto desses fatores, se tenha um planejamento amostral adequado. Com base nos diferentes compartimentos da pedodiversidade, com este estudo objetivou-se fazer uma revisão sistemática e meta-análise para propor diferentes planos e densidades amostrais de atributos do solo. Esse trabalho utilizou dados legados, tomando-se a metodologia de meta-análise. Foram filtrados os trabalhos realizados no Brasil, possuem relação com a temática proposta neste trabalho e apresentam o alcance de cada atributo estudado na base de teses e dissertações a CAPES e na Plataforma Scopus. Devido ao grande número de atributos encontrados, optou-se por utilizar os alcances dos variogramas para pH, MO, CTC, V% e argila para os seis materiais de origem (arenito, basalto, transição arenito-basalto, gnaiss, granito e mármore) e seis classes de solos (Argissolo, Latossolo, Cambissolo, Plintossolo, Planossolo e Neossolo) já que esses foram os atributos encontrados com mais frequência. Após análise criteriosa dos trabalhos, foi construída uma planilha eletrônica com o contexto da pedodiversidade, clima, coordenadas geográficas, alcance do variograma dos atributos do solo. Foram feitos gráficos boxplot em função do solo e geologia com as medidas dos alcances encontrados nos variogramas. O modelo de variograma mais observado foi o esférico seguido pelo exponencial. A transição arenito-basalto apresentou os maiores valores de medianas (pH= 1045,5 m, MO= 1339 m, CTC= 1200 m, V%= 545,1 m e argila= 1284 m) para os atributos avaliados. A classe de solos dos Latossolo apresentou maiores valores medianos de alcances para os atributos pH (121,2 m), MO (118,25 m), V% (245,5 m) e argila (290 m). Já o Argissolo apresentou maiores valores medianos para o alcance da CTC (326 m). Tanto o tipo de rocha quanto a classe de solo influenciam no alcance do variograma quando se estuda os atributos do solo (pH, MO, CTC, V% e argila). Esses fatores devem ser levados em consideração, quando se deseja fazer um planejamento estratégico para se realizar um manejo específico na área.

Palavras-chave: Atributos do solo, geoestatística, pedometria

MODELS AND PARAMETERS OF VARIOGRAMS IN DIFFERENT PEDODIVERSITY COMPARTMENTS: A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS

ABSTRACT: It is necessary to carry out a good sample planning, to better detail the characteristics of the soil and for better decision making, be it environmental, agronomic or even pedological. The factors of soil formation, specifically geology, condition different patterns of variability. Therefore, it is interesting that for each context of these factors, there is an adequate sample planning. Based on the different pedodiversity compartments, this study aimed to make a systematic review and meta-analysis to propose different plans and sample densities of soil attributes. This work used legacy data, using the meta-analysis methodology. The works carried out in Brazil were filtered, are related to the theme proposed in this work and present the scope of each attribute studied on the basis of theses and dissertations to CAPES and the Scopus Platform. Due to the large number of attributes found, it was decided to use the ranges of the variograms for pH, MO, CTC, V% and clay for the six original materials (sandstone, basalt, sandstone-basalt transition, gneiss, granite and marble) and six classes of soils (Argisol, Latosol, Cambisol, Plintossol, Planossol and Neossol) since these were the attributes found most frequently. After careful analysis of the works, an electronic spreadsheet was built with the context of pedodiversity, climate, geographic coordinates, range of the soil attributes variogram. Boxplot graphs were made according to the soil and geology with the measurements of the ranges found in the variograms. The most observed variogram model was the spherical one followed by the exponential. The sandstone-basalt transition showed the highest median values (pH = 1045.5 m, MO = 1339 m, CTC = 1200 m, V% = 545.1 m and clay = 1284 m) for the evaluated attributes. The soil class of the Oxisol showed higher median values of reach for the attributes pH (121.2 m), MO (118.25 m), V% (245.5 m) and clay (290 m). The Argisol, on the other hand, presented higher median values for the CTC reach (326 m). Both the type of rock and the class of soil influence the range of the variogram when studying soil attributes (pH, MO, CTC, V% and clay). These factors must be taken into account, when it is desired to make a strategic planning to carry out a specific management in the area.

Keywords: Soil attributes, geostatistics, pedometry.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de precisão
CTC	Capacidade de troca catiônica
D.A.	Densidade amostral
ha	Hectare
M	Metros
MO	Matéria orgânica
P.A.	Planejamento amostral
pH	Potencial Hidrogeniônico
V%	Saturação por bases
V.E.	Variabilidade espacial

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ciclo da Agricultura de precisão	9
Figura 2. Simulação dos custos de amostragem considerando vários níveis de erro e coeficientes de variação.	13
Figura 3. Parâmetros a serem avaliados em um variograma.....	15
Figura 4. Modelos teóricos do semivariograma.....	17
Figura 5. Principais etapas de uma meta-análise.....	20
Figura 6. Localização dos estudos selecionados para a meta-análise.....	21
Figura 7. Fluxograma das etapas da meta-análise e análise dos dados.....	23
Figura 8. Número de estudos utilizados para atributo nas diferentes geologias.....	29
Figura 9. Gráficos boxplot dos valores de alcance pH, MO, CTC, V% e argila de acordo com as geologias (arenito, arenito-basalto, basalto, gnaisse, granito e mármore). Os limites inferiores e superiores da caixa indicam, respectivamente, o primeiro (Q1) e terceiro quartil (Q3); a linha no interior da caixa indica a mediana dos dados.....	30
Figura 10. Número de estudos utilizados para os atributos nas diferentes classes de solo.....	33
Figura 11. Gráficos boxplot dos valores de alcance para pH, MO, CTC, V% e teor de argila de acordo com as classes de solo no 1º nível categórico (Argissolo, Cambissolo, Latossolo, Neossolo, Planosso e Plintossolo). Os limites inferiores e superiores da caixa indicam, respectivamente, o primeiro (Q1) e terceiro quartil (Q3); a linha no interior da caixa indica a mediana dos dados.....	35

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Atributos do solo encontrados na revisão para a meta-análise.....	23
Tabela 2. Modelos de variograma observados para os atributos pH, MO, V%, CTC e argila nas diferentes geologias.....	26
Tabela 3. Modelos de variograma observados para os atributos pH, MO, V%, CTC e argila nas diferentes classes de solo.....	27
Tabela 4. Valores das medianas dos alcances, em metros, para os atributos pH, MO, CTC, V% e argila nas diferentes geologias.....	31
Tabela 5. Valores médios, máximos e mínimos da área dos experimentos e do espaçamento entre coletas de solo.....	31
Tabela 6. Valores das medianas dos alcances para os atributos pH, MO, CTC, V% e argila nas diferentes classes de solos.....	36
Tabela 1A: Geologias estudadas, com a prospecção dos alcances do variograma, em metros, para o pH, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V%), argila e identificação dos autores dos respectivos artigos, usados para a meta-análise.....	56

1. INTRODUÇÃO

A pedodiversidade define-se como sendo a variação dos atributos do solo ou das classes de solos dentro de uma área determinada (McBratney e Minasny, 2007). Devido à grande extensão territorial brasileira composta por diferentes geologias e relevos, fatores esses que condicionam diferentes padrões de variabilidade, torna-se necessário e interessante que seja gerado um planejamento amostral (P.A.) e densidade amostral (D.A.) adequado para os diferentes contextos da pedodiversidade.

Um bom P.A. é fundamental para captar a variabilidade espacial (V.E.) dos atributos do solo. Tal processo reflete diretamente nos custos de implantação do sistema de agricultura de precisão. Assim, a escolha correta da D.A. é peça chave para o sucesso da gestão do manejo localizado das práticas agrícolas.

Sabe-se que no Brasil, apesar do grande avanço científico e das técnicas utilizadas, ainda são escassos os conhecimentos sobre D.A. ideal para a caracterização dos atributos do solo (Siqueira et al., 2014; Teixeira et al., 2017) e dentre esses, expressiva parte tem seu foco no P.A. de áreas pequenas e que não possuem variabilidade de fatores geológicos e geomorfológicos (Teixeira et al., 2013).

Há muitos artigos publicados contendo a D.A e V.E. dos atributos do solo, porém com conclusões destoantes e ampla variação de resultados apresentados.

O uso de malhas amostrais com uma ou mais amostras por hectare, é indicado para caracterizar a V.E. de fósforo e potássio em áreas no Estado do Rio Grande do Sul (Cherubin et al, 2015). Segundo Siqueira et al. (2014), a densidade mínima de amostragem necessária para o teor de argila, saturação por bases e suscetibilidade magnética em Latossolos sob a transição Serra Geral, Eluvial Coluvial e Depósitos Aluviais é de um ponto a cada 7 há. Para Assis et al. (2015), uma malha de 3 ha propicia a melhor densidade amostral do solo na recomendação de calagem.

A caracterização da V.E. dos atributos do solo é essencial para alcançar a melhor compreensão das complexas relações entre as propriedades do solo e os fatores ambientais (Goovaerts, 1998).

A geoestatística é capaz de interpretar fenômenos regionais com o auxílio de análise matemática e da gênese do solo, possibilitando a inferência das variáveis regionalizadas por meio de informações e relações a partir de um conjunto de amostras (Landim, 2006). O alcance é a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente, ou seja, é o raio da dependência espacial. Com esse valor, a amostragem poderá ser melhor ajustada.

Em nosso país, o saneamento básico, a saúde pública e o ensino fundamental (áreas prioritárias à população) disputam por verbas com a pesquisa científica. Assim, aumenta a responsabilidade de pesquisadores brasileiros em gerir da melhor forma os recursos financeiros destinados à pesquisa para que não haja a necessidade de refazer pesquisas, otimizando o tempo e recursos (Luiz, 2002).

Há pelo menos duas décadas foi proposto um procedimento que combina resultados de vários estudos para fazer uma síntese e quantificar os dados. Essa síntese potencializa a estatística na pesquisa princi na estimação e tamanho do efeito. A meta-análise permite, em caso de resultados aparentemente discordantes, obter uma visão geral da situação (Boissel, 1994; D'Agostino e Weintraub, 1995).

Diante do exposto, existe a necessidade de maiores informações quanto à densidade amostral ideal para avaliação dos atributos do solo que sejam capazes de proporcionar condições mais eficientes para a caracterização e manejo do solo por meio da Agricultura de Precisão.

Com este estudo, tem-se por objetivo fazer uma revisão sistemática e meta-análise com base nos diferentes compartimentos da pedodiversidade, para propor diferentes planos e densidades amostrais de atributos do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A agricultura de precisão

A Agricultura de Precisão (AP) tem sido utilizada nas mais variadas etapas da cadeia produtiva do setor agropecuário. Graças a sua adaptação de acordo com a realidade de cada produtor, oferece mecanismos para a otimização do uso de insumos contribuindo para a inovação no campo (Bernadi, 2014).

Com a globalização dos fatores para a produção de alimentos, a sociedade passou a exigir maior eficiência na gestão produtiva. É nesse contexto que se insere a AP (Flores et al., 2014), colaborando para o aumento da produção e também como forma de manejo sustentável minimizando os impactos ambientais (Mantovani et al., 1998).

As tecnologias da AP são capazes de monitorar e orientar profissionais do campo para melhor gerir a propriedade (Molin et al., 2015). O intuito é melhorar a qualidade e o custo do produto final, deixando-os mais competitivos no mercado. Assumindo-se que os recursos naturais são finitos (muitos não são renováveis), que os preços de insumos agrícolas e a competitividade do mercado aumentaram, os mecanismos de exploração desses recursos devem buscar a eficiência na utilização de insumos e conservação ambiental (Artuzo et al., 2017).

O ciclo da AP (Figura 1) é formado por algumas etapas como as determinações das informações no campo, processamento de dados e a elaboração de mapas de prescrição ou atributos (Pires et al., 2004).

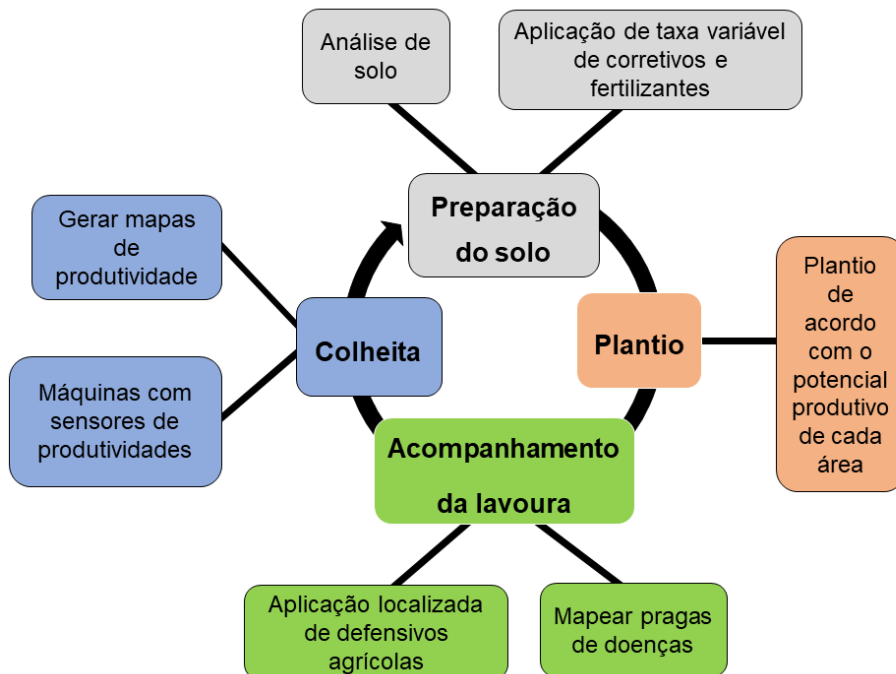


Figura 1: Ciclo da agricultura de precisão.

Fonte: Arvus Tecnologia, 2009.

A atividade agrícola exige cada vez mais pelo gerenciamento dos processos produtivos. Observa-se ganhos significativos nas produtividades das lavouras, na

medida em que há o desenvolvimento de novas técnicas de manejo das culturas e maior eficiência dos insumos. Porém esse comportamento não se manifesta de maneira homogênea em toda área, já que em uma mesma lavoura é possível identificar subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais de produção (Amado et al., 2005).

A possibilidade de produzir mapas relacionados aos sistemas de produção agrícola na AP tornou capaz identificar zonas homogêneas permitindo manejos localizados. Isto só é possível quando se considera a V.E. dos fatores envolvidos. A geoestatística é uma ferramenta apropriada para este fim (Grego et al., 2014).

2.2 O solo e a variabilidade dos seus atributos

Sem dúvidas, a pedologia complementa os conhecimentos necessários para o avanço da AP (Flores et al., 2014). O solo é um dos componentes vitais do meio ambiente (Almeida, 2016) e um recurso fundamental para o desenvolvimento da humanidade (Cancian, 2019), sendo um recurso natural que serve de crescimento e desenvolvimento de plantas, as quais integram a maioria dos alimentos necessários à subsistência (Lepsch, 2002). É um integrante da biosfera, funcionando não apenas para a produção de alimentos e fibras, mas também para a manutenção da qualidade ambiental local, regional e global (Glantz, 1995).

Além disso, o solo funciona como mediador dos fluxos d'água entre a hidrosfera, litosfera, biosfera e atmosfera (Lepsch, 2002), armazena elementos químicos para depois disponibilizá-los para às plantas (Knob, 2006) sendo o seu estudo imprescindível para o planejamento (Santos, 2004).

O solo caracteriza-se como recurso de grande importância para diversas atividades econômicas, sobretudo para a agricultura, tornando-se necessário a adoção de estratégias que permitam seu uso racional (Moura et al., 2007) visando não só no prolongamento de sua capacidade de produção, mas também em sua racionalidade quanto ao uso e conservação (Gomes et al., 1993), para gerações presentes e futuras.

O manejo adequado do solo é fundamental nas ações que garantam a segurança alimentar e a conservação de ecossistemas. Contudo, isso exige uma compreensão dos padrões de distribuição dos atributos do solo na natureza (Silva et

al., 2015), visando o gerenciamento de questões ambientais e agronômicas (Brungard et al., 2015).

Para que se obter uma um entendimento melhor das propriedades do solo, possibilitando mapeamentos com um baixo custo de amostragem e análise eficiente, esforços devem ser reunidos para o desenvolvimento dessa área tão importante à Ciência do Solo (Cancian, 2019), devido ao elevado custo e à demanda de tempo requerido para a realização dos levantamentos convencionais (McBratney et al., 2003). O conhecimento sobre os atributos do solo, bem como a sua distribuição espacial, proporciona a compreensão do sistema como um todo e direcionam a necessidade de práticas de manejo adequadas (Arruda et al., 2013; Lagacherie e McBratney, 2006).

O solo apresenta heterogeneidade natural em função dos seus processos pedogenéticos (Buol et al., 1997). A variação dos atributos do solo em áreas de cultivo é influenciada por fatores intrínsecos (material de origem, relevo, clima, organismos e tempo) e extrínsecos (práticas de manejo) (Cambardella et al., 1994). O conhecimento desta variação é imprescindível para o desenvolvimento de esquemas de amostragens mais adequados (Souza, 1992), pois quanto maior a variação desses fatores, maior será a heterogeneidade (Souza, 2006).

Há variações verticais e horizontais dos atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo (Amaro Filho et al., 2007). Assim, ao realizar as etapas de amostragem de solo, deve ser considerada essa variação espacial, possibilitando a identificação de locais onde haja a necessidade de realizar um manejo diferenciado, além do maior detalhamento da área (Vieira, 2004).

A existência da V.E. dos atributos do solo deve ser levada em consideração no planejamento agrícola, a fim que se otimize a aplicação de fertilizantes, aumentando a produtividade, reduzindo custos e problemas ambientais (Marques Júnior et al., 2008). Sabendo-se que essa variabilidade sempre existiu (Vieira, 2004), é fundamental definir a intensidade de amostragem do solo para otimizar sua eficiência e reduzir os custos e mão-de-obra do trabalho (Corá et al., 2004). Porém os estudos relacionados a essas temáticas esbarram num entrave: a determinação do espaçamento ideal de amostragem (Montanari et al., 2005).

2.3 A amostragem de solo

As pesquisas sobre AP e as características espaciais do solo podem ser comprometidas se a primeira etapa do processo estiver falha. A amostragem, se feita de forma errada, pode não condizer com a realidade do campo, o que afeta a informações expressas nos mapas gerados (Caon, 2012). É instrumento básico para a transferência de informações (Chitolina et al., 2009), e um dos principais fatores relacionados a uma ótima precisão agrícola (Anchieta, 2012). Ela é considerada a fase mais crítica para a confecção do mapa de fertilidade (Giotto et al., 2013), pois não adianta fazer análises químicas sofisticadas e rigorosas, se as amostras não caracterizarem a área em estudo (Chung et al., 1995). O laboratório de análise de solo não tem como diagnosticar ou corrigir possíveis erros de amostragem (Pötter, 2014). A coleta de amostras é a etapa mais intensiva e onerosa, na avaliação quantitativa dos atributos do solo para o planejamento agrícola (McBratney et al., 2002).

Pesquisas são realizadas com o intuito de definir e padronizar os corretos procedimentos para amostragem de solo, relacionando-os, por exemplo, com as quantidades ideais de amostras em determinada área. As quantidades de amostras coletadas em campo influenciam diretamente a relação custo/benefício. Para o aumento da precisão é necessário aumentar o número de coletas em campo, o que, conseqüentemente, aumenta o custo (Anchieta, 2012).

O P.A é de extrema importância na captação da V.E. dos atributos do solo. A escolha correta da D.A. é fundamental para o manejo das práticas agrícolas (Sotomayor, 2009). Porém, a densidade amostral é muitas vezes escolhida de maneira aleatória (Caon, 2012) em busca de redução de custos e/ou praticidade. A malha amostral por vezes adotado nas fazendas brasileiras tem dimensões de 1 a 5 ha ou até mesmo acima de 10 ha nas lavouras extensas (Nanni et al., 2011; Resende et al., 2017).

Normalmente, pontos de amostragem localizados a pequenas distâncias são mais semelhantes entre si que pontos mais distantes (McBratney, Webster, 1983). Logo em espaçamentos menores se terá maior representatividade. Entretanto o custo da coleta e da análise das amostras poderá inviabilizar o trabalho (Knob, 2006).

A estimativa do número de amostras para representar os diversos atributos do solo vem sendo abordada em estudos visando minimizar os custos envolvidos e aperfeiçoar o processo de amostragem (Gontijo et al., 2015). Dentro da AP, a rigidez na amostragem é o fator que mais eleva os custos da aplicação dessa técnica, além de consumir tempo e recursos tecnológicos e humanos.

Quando se obtém uma D.A. que resulte em economia financeira, com diminuição da mão-de-obra e do tempo de coleta e ainda se consegue ter precisão quanto às características da área, isso resulta em um planejamento agrícola mais eficiente (Caon, 2012).

Uma estimativa dos possíveis custos de amostragem considerando porcentagens do coeficiente de variação e níveis de erro foi realizada por Silvero et al. (2018), reforçando que um bom P.A. gera redução dos custos com amostragem.

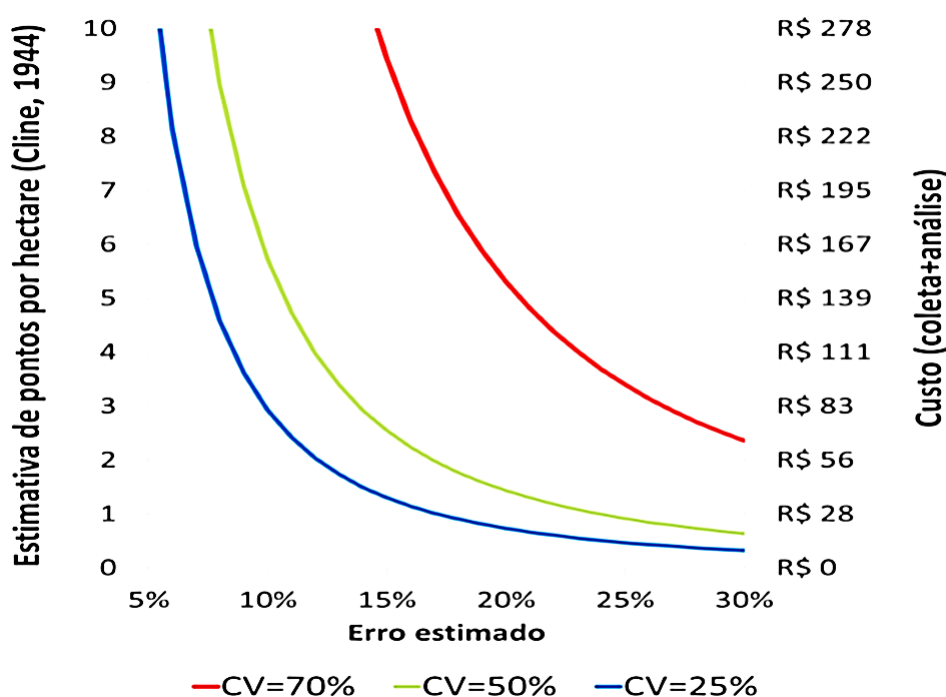


Figura 2: Simulação dos custos de amostragem considerando vários níveis de erro e coeficientes de variação.

Fonte: Silvero et al., (2008).

O espaçamento ideal entre pontos amostrais, que capte com precisão a V.E. do solo, é assunto de pesquisas (Pötter, 2014) e uma incógnita (Di et al., 1989), não havendo consenso quanto ao número amostras necessárias para representar a área

em estudo (Chitolina, 1982), sem que haja variações significativas. Há alguns trabalhos em escala estadual (Marques Júnior et al., 2015) e local (Siqueira, 2013, Oliveira et al., 2015; Marchesi, 2018), determinando o P.A. adequado para cada contexto em que o solo se encontra.

Faz-se necessário realizar um bom P.A. para detalhar melhor as características do solo e para uma melhor tomada de decisão, seja ela ambiental, agrônômica ou até mesmo pedológica.

Nos estudos recentes na área da ciência do solo, verifica-se um crescimento na aplicação da geoestatística, considerada como uma ferramenta adicional no estudo de seus atributos químicos e físicos facilitando o estudo do comportamento da V.E. destes atributos, permitindo assim, uma melhor interpretação dos resultados com base na distribuição espacial dos atributos do solo, além de quantificar a sua magnitude (Cavalcante et al., 2007; Souza et al., 2004).

O conhecimento dos solos brasileiros, aliado as tecnologias disponíveis, pode ser uma ferramenta eficaz de gestão para a inovação agropecuária no Brasil (Flores et al., 2014).

2.4 A geoestatística e o variograma

O avanço da tecnologia proporcionou a união da ciência do solo com sistemas computacionais (Hartemink e McBratney, 2008), com interesse em usar algoritmos computacionalmente mais intensivos (Hengl et al., 2018) e com capacidade de lidar com a demanda por informações precisas e atualizadas sobre o solo (Hartemink e McBratney, 2008).

Sabe-se que o solo possui variações espaciais de seus atributos e se ela não for considerada durante a avaliação em campo, é grande a probabilidade que conclusões errôneas sejam obtidas. Contudo, se a variabilidade estiver organizada espacialmente, os dados deverão ser analisados usando a geoestatística (Vieira, 2000).

Na Ciência do solo, essa técnica auxilia na tomada de decisões sobre a produtividade de culturas (Sanchez, 2009), incertezas em mapeamento de solos (Teixeira, 2018), otimização amostral (Montanari et al., 2005), estoque de carbono

(Alho et al. 2014), determinação de características químicas do solo (Carvalho et al., 2002), mapas de colheita (Guedes Filho, 2009).

Freqüentemente, ao se analisar os atributos do solo, com a estatística clássica, a influência da heterogeneidade espacial é ignorada (Chaves e Farias, 2009). Porém o uso da geoestatística permite o estudo do comportamento da V.E. destes atributos (Cambardella et al., 1994; Vieira, 2000). Isso possibilita uma melhor interpretação dos resultados com base na distribuição espacial dos atributos do solo, além da quantificação da sua magnitude (Souza et al., 2004), facilitando a compreensão sobre influência da variação dos atributos do solo no ambiente (Souza et al., 2009; Silva Neto et al., 2012).

O conceito de geoestatística ou teoria das variáveis regionalizadas surgiu quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro na África do Sul, constatou que para encontrar nexos nas variâncias estudadas era preciso considerar as distâncias entre as amostras. A partir de então, o uso dessa técnica se espalhou por diversos campos de aplicação como a hidrogeologia, meteorologia, pesca, ciência do solo, agricultura, poluição e proteção ambiental (Webster e Oliver, 2007). De forma ainda mais detalhada, Webster (2015) descreve como a geoestatística passou a fazer parte da história da Ciência do Solo.

Quando o intuito é descrever como um atributo do solo sofre variações ao longo da superfície terrestre, freqüentemente faz-se uso do variograma (Webster e Oliver, 2007).

O variograma é a representação gráfica de um modelo matemático que demonstra o quanto um dado fator varia espacialmente com a distância (Knob, 2006), ou seja, analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental (Salviano, 1996). São calculadas as semivariâncias como uma combinação de todos os pontos amostrais (Knob, 2006), espaçados em determinadas distâncias "h" (Webster, 1985). Com o resultado desse cálculo, obtém-se um índice que mede quanto qualquer ponto difere de outro e até que distância um ponto influencia outro qualquer e quanto é esta influência (Knob, 2006).

Do variograma (Figura 3) é possível extrair alguns parâmetros fundamentais para o entendimento da V.E. do conjunto amostral, além de quantificar o grau da dependência espacial entre os pares amostrais (Scherpinski, 2005).

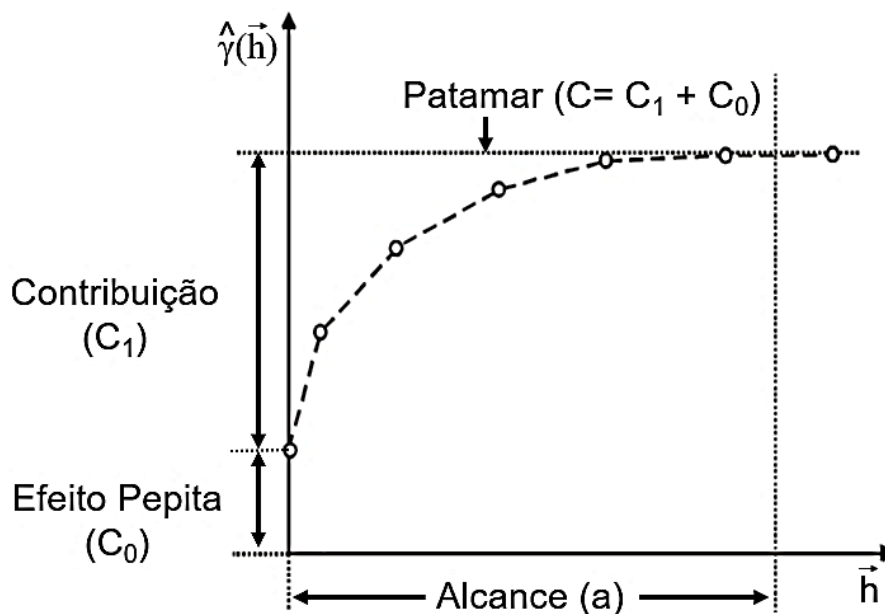


Figura 3: Parâmetros a serem avaliados em um variograma.

Fonte: Adaptado de Camargo et al. (2004).

O alcance (a) é a distância na qual as amostras estão correlacionadas espacialmente (Camargo, 1998; Vieira 1997). Para Guerra (1988), marca a distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes. É a partir desse dado, que a amostragem pode ser melhor ajustada (Yamamoto e Landim, 2013) pois os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance, são mais semelhantes entre si do que separados por distâncias maiores (Vieira, 1997).

O efeito pepita (C_0) representa a descontinuidade na origem do variograma, ou seja, à diferença entre as amostras de maior proximidade ocasionada por microrregionalizações, erros de amostragens ou erros de medidas (Oliveira et al., 2015). Segundo Valente (1989), é o reflexo de pequenas estruturas que não foram captadas pela escala da amostragem ou erros de análises laboratoriais.

O patamar (C) corresponde à diferença entre o ponto de maior correlação ou a origem do variograma e o ponto que a variabilidade se estabiliza (Oliveira et al., 2015). A partir deste ponto, considera-se a inexistência de dependência espacial entre as amostras e que toda variância da amostra é de influência aleatória (Trangmar et al., 1986). A Contribuição (C_1) refere-se à diferença entre o patamar (C) e o efeito pepita (C_0) (Camargo, 1998).

Os variogramas podem apresentar ou não patamar (Yamamoto e Landim, 2013). Quando não há patamar deduz-se que houve falha no número de amostras

coletadas ou na distância amostral utilizada. Já os variogramas com patamar podem ser ajustados a vários modelos teóricos (Darim, 2017). Com base no conhecimento dos parâmetros que compõem o variograma, é possível ajustar modelos teóricos que irão permitir a determinação da correlação espacial para qualquer distância dentro do espaço amostral (Davis, 2002; Yamamoto e Landim, 2013). McBratney e Webster (1986) apontam que os modelos mais apropriados, na maioria dos casos, são o esférico, exponencial ou gaussiano (Figura 4).

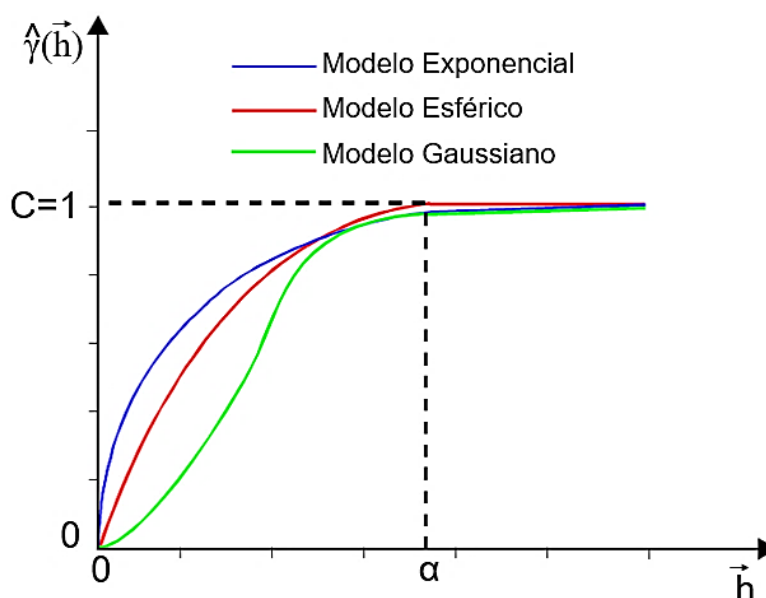


Figura 4: Modelos teóricos do semivariograma.

Fonte: Camargo (1998) modificado de Isaaks e Srivastava (1989).

Há situações em que no variograma, o efeito pepita e o patamar apresentam valores praticamente iguais ao longo da distância (\vec{h}). Neste caso, não existe dependência espacial (efeito pepita puro) (Guimarães, 2004). Essa relação entre efeito pepita e patamar, caracteriza a estrutura de dependência espacial que diminuirá com a redução do número de pontos e o aumento do intervalo de amostragem do solo (Souza et al., 2014).

2.5 Meta-análise

A ciência do solo acompanhou o impacto da transformação do vasto número de informações, acarretando em muitas ferramentas e milhares de dados gerados (McBratney et al., 2003).

O Brasil é destaque na condução de estudos em solos tropicais. Tal fato propiciou a construção de uma grande quantidade de dados por meio de levantamentos de solos e outros estudos (Embrapa, 1998). Assim, os conhecimentos adquiridos por meio desses levantamentos, contribuíram para que o nosso país chegasse à condição de agricultura tropical mais competitiva do planeta (Flores et al. 2014).

A crescente demanda pelo conhecimento detalhado sobre o solo torna necessário, além da criação de novas técnicas, extrair o máximo de informações dos levantamentos já existentes, visando reduzir o tempo e custo da realização de novos estudos (Omuto et al., 2013). Assim é possível fazer uso de dados já gerados em outros trabalhos denominados de dados legados.

Nas últimas décadas a produção científica mundial evoluiu de forma exponencial. Porém, apesar dos efeitos benéficos desta disponibilidade, o elevado número de periódicos científicos publicados se tornou um problema para a seleção e análise qualificada da literatura (Lovatto et al., 2007). Graças a disponibilidade de informação difundidas pelas plataformas científicas, é possível encontrar um elevado número de pesquisas sobre um mesmo tema (Da Silva et al., 2015) e por vezes, torna-se difícil escolher o melhor estudo como referência em uma pesquisa. Alguns desses trabalhos possuem resultados divergentes, o que cresce a possibilidade de discordância entre as conclusões, o que dificulta a escolha de qual a melhor abordagem a ser adotada (Fagard et al., 1996; Giannotti, 2004; Da Silva et al., 2015).

Entretanto, há interesse por parte dos pesquisadores em realizar uma síntese desses resultados contidos nessa grande e crescente coleção de artigos publicados. (Fagard et al., 1996). Assim, para nortear uma conclusão, a combinação dos diferentes resultados nos trabalhos já existentes sobre o tema em questão pode ser uma solução interessante (Giannotti, 2004; Da Silva et al., 2015), quando se utiliza técnicas estatísticas apropriadas, a exemplo da meta-análise (Da Silva et al., 2015).

A meta-análise teve início nas ciências sociais, se dispersando posteriormente na educação, na medicina e, mais tarde, na agricultura (Lovatto et al., 2007). Em meados de 1952, Hans J. Eysenck chegou à conclusão de que a psicoterapia não possuía efeito benéfico e isso provocou debates entre os profissionais dessa área.

Smith e Glass em 1977 agregaram estatisticamente os resultados de centenas de estudos em psicoterapia e concluíram que ela possuía sim efeitos, logo Eysenck estava errado.

O termo "meta-análise" foi sugerido por Glass (1976), que a definiu como “a análise de uma grande coleção de resultados provenientes de estudos individuais, mas relacionados, tendo como propósito completar o que foi encontrado”. É um método estatístico aplicado à uma revisão cujo objetivo é extrair uma informação adicional de dados preexistentes por meio da união de resultados de diversos trabalhos (Rodrigues e Ziegelmann, 2010).

Desta forma, o pesquisador adota um novo enfoque e consegue informações adicionais por meio da combinação e comparação dos resultados de estudos distintos, chegando a um novo resultado com a aplicação de técnicas estatísticas, obtendo-se uma conclusão geral do tema estudado (Luiz, 2002; Giannotti, 2004; Da Silva et al., 2015), e/ou encontra novas relações que ainda não foram evidenciadas (Eloy, 2017).

Assim como toda ferramenta, a meta-análise não é infalível ou perfeita (Wolf, 1986). Deve haver critérios na seleção dos dados, pois se não for bem efetuada, os resultados obtidos ficarão comprometidos (Carvalho et al., 2012).

As etapas básicas da meta-análise são mencionadas por alguns autores (Castro, 2001; Da Silva et al., 2015; Pinto, 2013; Sauvant et al., 2008).

Sauvant et al. (2008) citam que as etapas que devem ser seguidas são: determinação do tema a ser estudado; seleção prévia das publicações; avaliação cuidadosa da literatura disponível; interpretação e codificação dos dados. Com essa base de dados, faz-se a análise gráfica para identificar possíveis relações a serem analisadas e com isso, aplicam-se técnicas estatísticas apropriadas para a interpretação dos resultados.

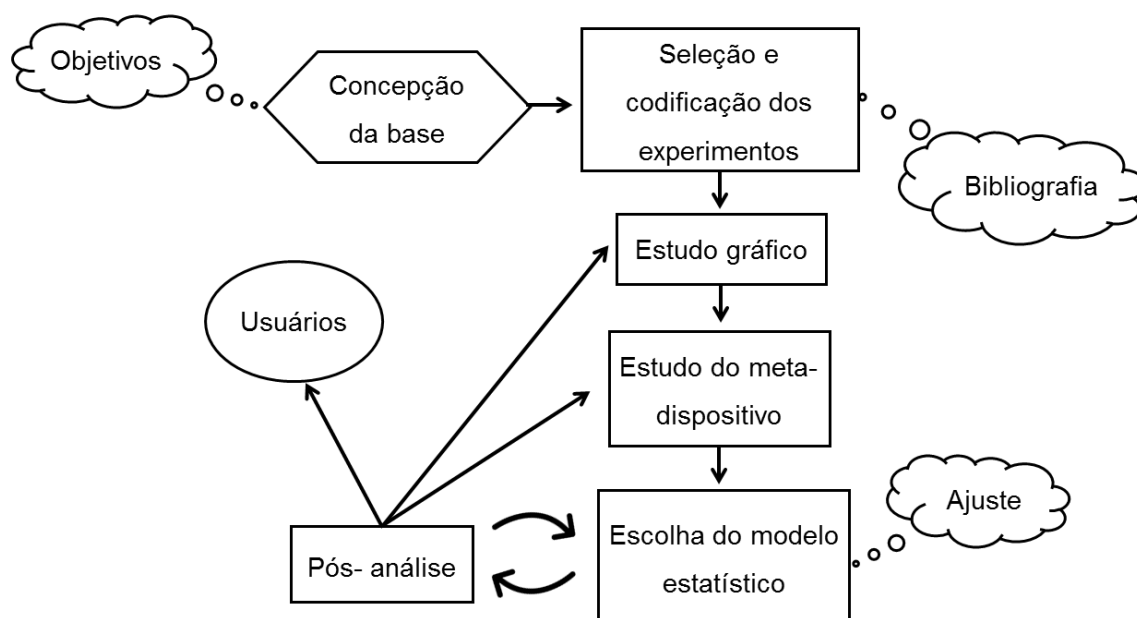


Figura 5: Principais etapas de uma meta-análise

Fonte: Adaptado de Sauvant et al., (2008).

Na meta-análise, uma alternativa para averiguar a qualidade dos dados é através da utilização do gráfico Box-Plot (Costa, 2018). O Box-Plot é um gráfico que apresenta informações sobre o comportamento de um conjunto de dados, tais como: dispersão, simetria e dados discrepantes (Outliers) (Bussab e Morettin, 2003).

No âmbito agrícola, o número de meta-análises publicadas tem aumentado (Carvalho et al., 2012; Peluco, 2016; Martins, 2017; Vilela, 2017; Costa, 2018; Oliveira, 2018). Tal aumento sinaliza que essa técnica é viável e pode virar rotina nesse campo da ciência (Carvalho et al., 2012) e evidencia que, com a sua aplicação, pode-se evitar gastos desnecessários além de aumentar a eficiência dos estudos (Costa, 2018)

A capacidade de estabelecer diagnósticos, a partir de realidades já conhecidas, de utilizar adequadamente os bancos de informações, é uma perspectiva promissora (Lovatto et al., 2006), e deve ser mais utilizada nas pesquisas brasileiras.

Os resultados dessas avaliações podem servir como direcionamento para a tomada de decisão sobre as melhores ações a serem praticadas, apontar as áreas onde não há evidência o suficiente que comprovem a eficácia de algumas intervenções ou onde há falhas metodológicas na pesquisa disponível e, assim,

orientar pesquisas futuras (Canellas, 2015) evitando gastos desnecessários além de aumentar a eficiência dos estudos (Costa, 2018)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo é composta por todo o território brasileiro, sendo este um dos critérios para a seleção dos trabalhos científicos em que a meta-análise foi conduzida (Figura 6).

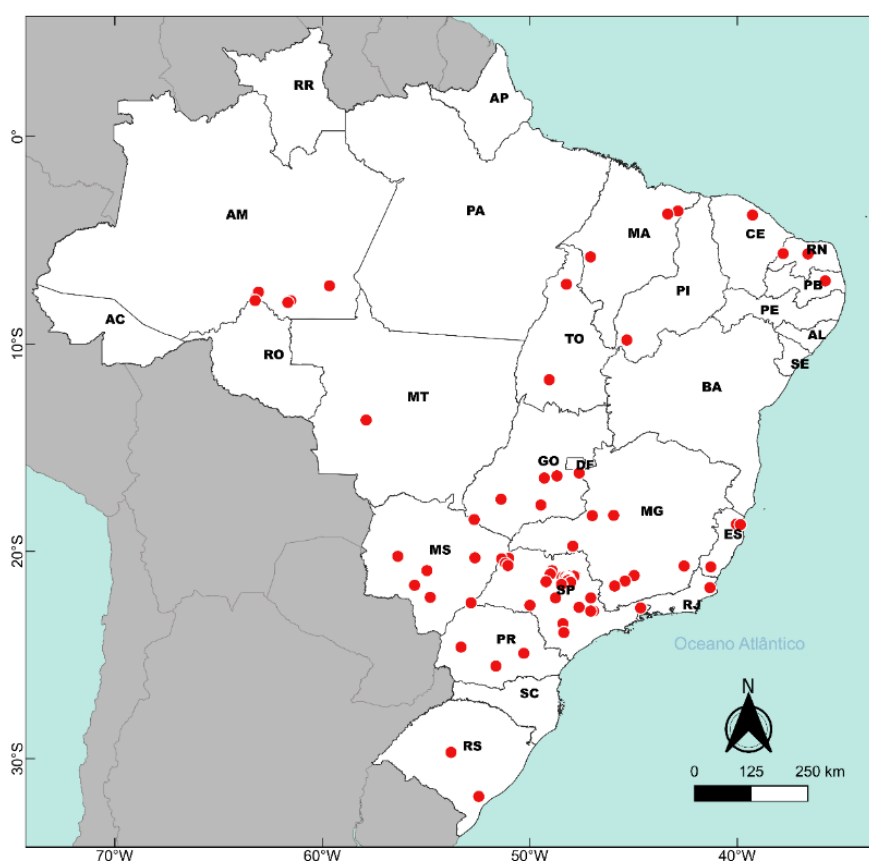


Figura 6: Localização dos estudos selecionados para a meta-análise.

3.2 Validação dos dados e Meta-análise

Esse trabalho utilizou dados legados e a metodologia de revisão sistemática com meta-análise. Foram consultadas a plataforma de teses e dissertações da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e a base de dados da Scopus, utilizando-se as palavras-chave “spatial variability”,

“geostatistics” e “variogram” e compilados trabalhos científicos para a sistematização dos dados. A priori, encontrou-se 364 dissertações, 223 teses e 2.169 artigos científicos que possuíam algumas das variáveis preestabelecidas por meio da seleção por palavras-chave. Nenhuma restrição quanto ao ano de publicação, idioma, sistema de manejo ou delimitação regional foi aplicada.

A meta-análise envolveu os seguintes passos: análise exploratória dos dados, identificação dos locais onde os experimentos foram realizados através das coordenadas geográficas, clima dos locais, quantidade de amostras coletadas, espaçamento entre amostras e o alcance do variograma dos atributos.

Após avaliação, foi realizada uma análise crítica e seleção dos trabalhos que continham as características pré-estabelecidas, ou seja, identificação dos estudos válidos para inclusão na meta-análise. Os critérios para inclusão dos estudos foram: 1) Áreas localizadas no Brasil; 2) Possuir relação com a temática proposta nesse trabalho e de interesse para este estudo, ou seja, abordavam a V.E. de atributos do solo; 3) Apresentar o alcance de cada atributo estudado. Nessa segunda filtragem, foram validados 146 trabalhos (126 artigos científicos, 15 dissertações e 5 teses), pois atenderam aos critérios de seleção os quais foram conduzidos em várias regiões do Brasil. Quando houve duplicidade dos resultados (mais de um artigo ou tese com resultados do alcance do variograma no mesmo local, para um mesmo atributo) foi mantido o dado mais recente. Isso fez com o que o número de artigos científicos caísse para 119. Ao todo, foram encontrados 61 atributos (Tabela 1).

Tabela 1: Atributos do solo encontrados na revisão para a meta-análise.

Atributos Químicos (25)	pH, Matéria orgânica (MO), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Soma de bases (SB), Hidrogênio + alumínio (H + Al), Capacidade de troca catiônica (CTC), Saturação de bases (V%), Saturação em alumínio (m%), Cálcio + magnésio (Ca + Mg), Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Alumínio (Al), Sódio (Na), Carbono (C), Necessidade de calagem, Necessidade de P ₂ O ₅ , Necessidade de K ₂ O, fosfato adsorvido.
Atributos Físicos (23)	Argila, Silte, Areia, Areia muito grossa, Areia grossa, Areia média, Areia fina, Areia muito fina, Macroporosidade, Microporosidade, Porosidade total, Densidade do solo, Densidade de poros, Volume total de poros, Resistência do solo, Umidade do solo, Temperatura do solo, Matiz, Valor, Croma, Índice de avermelhamento, Espessura do horizonte A+E, Teor de água no solo.
Atributos Biológicos (2)	Carbono orgânico, Emissão de CO ₂ .
Atributos Geomagnéticos (1)	Suscetibilidade Magnética (SM).
Atributos Mineralógicos (5)	Caulinita/(Caulinita + gibbsita), Teor de óxido de ferro total, Goethita, Hematita, Óxido de ferro
Outros (6)	Perda de solo, Risco de erosão, potencial natural de erosão, Erodibilidade, Expectativa de erosão, Relevo (LS).

Quando no trabalho científico não contava algum dado útil para esta meta-análise, a exemplo da geologia e/ou classe de solo, foram consultados mapas legados a fim de se obter esta informação. A seguir, o fluxograma com as etapas realizadas na metodologia deste trabalho (Figura 7).

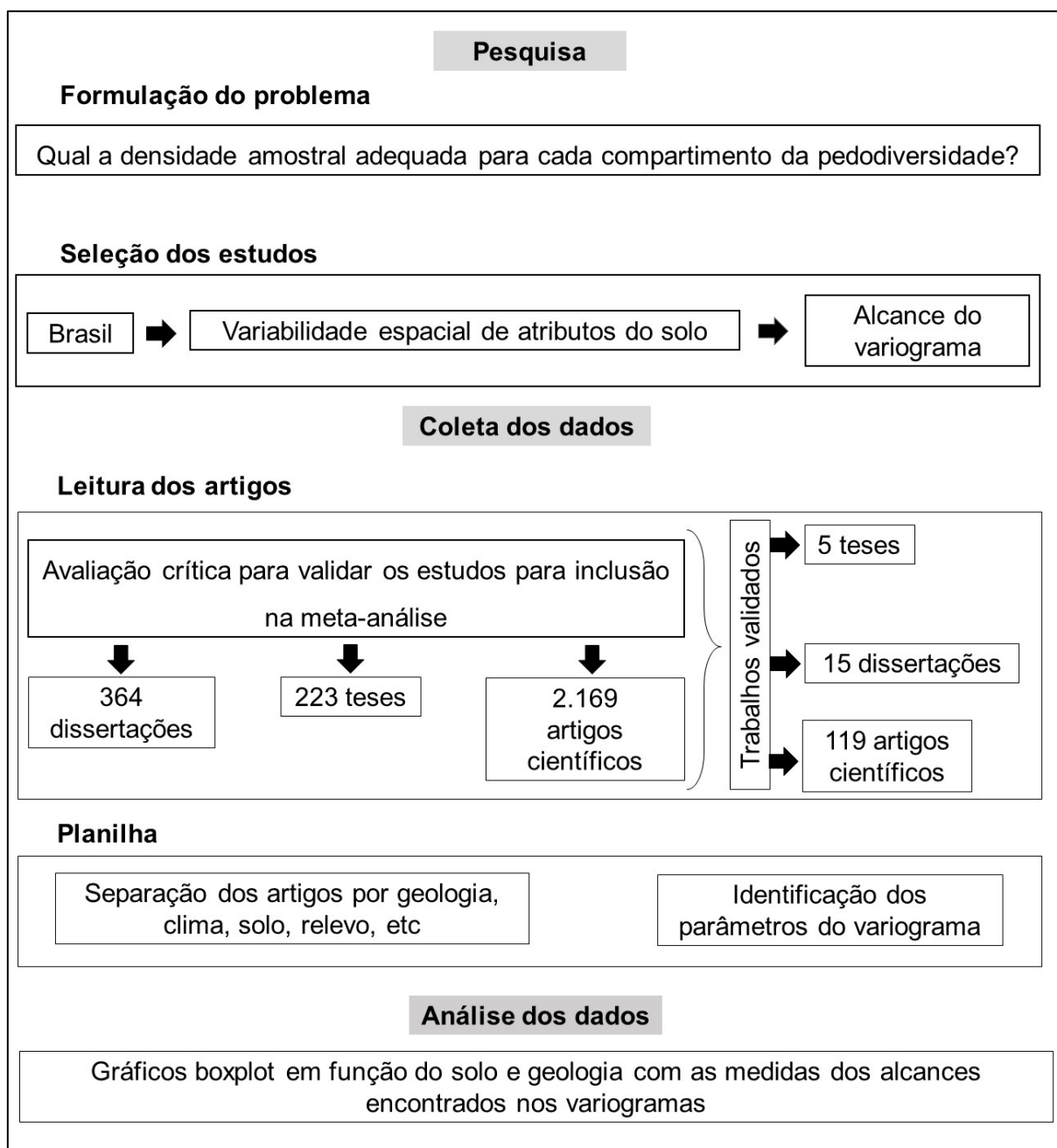


Figura 7: Fluxograma das etapas da meta-análise e análise dos dados.

3.3 Análise de dados

Após a triagem de cada trabalho científico, foi construída uma base de dados em planilha eletrônica, com as informações do contexto da pedodiversidade, clima, coordenadas geográficas, classe de solo, tamanho da área e dos modelos e parâmetros do variograma de cada trabalho. Foram construídos gráficos boxplot em função do solo e geologia com as medidas dos alcances encontrados nos

variogramas. Todas as análises foram realizadas pelo programa R v. 3.5.1 (R Core Team, 2018) de computação estatística.

Devido ao grande número de atributos encontrados, optou-se por utilizar os modelos e parâmetros dos variogramas para os atributos pH, MO, CTC, V% e argila, pois estes atributos foram os mais estudados nos trabalhos científicos encontrados. Foram encontrados seis materiais de origem (arenito, basalto, transição arenito-basalto, gnaiss, granito e mármore) e seis classes de solos (Argissolo, Latossolo, Cambissolo, Plintossolo, Planossolo e Neossolo) de acordo com os autores estudados (Apêndice 1A).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Modelos de variograma observados e anisotropia

O modelo de variograma mais observado foi o esférico para todos os atributos (pH, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e argila), nas diferentes geologias, seguido pelo exponencial, com exceção do pH na geologia mármore na qual apenas o pH foi avaliado e ajustado ao modelo exponencial (Tabela 2).

Tabela 2: Modelos de variograma observados para os atributos pH, MO, V%, CTC e argila nas diferentes geologias.

pH					MO				
Modelo					Modelo				
Geologia	esf	exp	gaus	outros*	Geologia	esf	exp	gaus	outros*
A	31	13	4	1	A	27	9	7	1
B	11	6	1	1	B	10	2	3	2
A-B	10	4	0	0	A-B	10	3	1	0
Gn	7	6	0	1	Gn	10	2	0	0
Gr	5	1	0	0	Gr	5	0	0	0
M	0	2	0	0	M	0	0	0	0

CTC					V%				
Modelo					Modelo				
Geologia	esf	exp	gaus	outros*	Geologia	esf	exp	gaus	outros*
A	26	14	2	0	A	30	7	3	2
B	8	4	3	1	B	11	5	4	0
A-B	10	4	0	0	A-B	6	4	0	0
Gn	5	3	0	0	Gn	4	2	1	0
Gr	4	0	0	0	Gr	4	2	0	0
M	0	0	0	0	M	0	0	0	0

Argila				
Modelo				
Geologia	esf	exp	gaus	outros*
A	29	5	6	2
B	13	1	3	0
A-B	12	5	0	0
Gn	11	4	0	0
Gr	4	3	3	0
M	0	0	0	0

A= arenito; A-B= arenito-basalto; B= basalto; Gn= gnaiss; Gr= granito; M= mármore; Esf= esférico; Exp= Exponencial; Gaus= Gaussiano; Outros*= Linear, circular.

Para as diferentes classes de solo, o modelo de variograma mais observado também foi o esférico para todos os atributos (pH, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e argila), seguido pelo exponencial, com exceção do Planossolo que foi ajustado ao modelo gaussiano para os atributos V%, CTC e MO com pH e argila no modelo exponencial. Para o Cambissolo, a MO foi mais ajustada ao modelo exponencial (Tabela 3).

Tabela 3: Modelos de variograma observados para os atributos pH, MO, V%, CTC e argila nas diferentes classes de solo.

pH					MO				
Modelo					Modelo				
Classe de solo	esf	exp	gaus	outros*	Classe de solo	esf	exp	gaus	outros*
P	9	8	1	0	P	12	3	1	0
C	2	3	2	1	C	1	4	0	0
L	49	21	2	3	L	47	12	9	3
F	0	0	0	0	F	0	0	0	0
N	4	1	0	0	N	2	0	0	0
S	0	1	0	0	S	0	0	1	0
CTC					V%				
Modelo					Modelo				
Classe de solo	esf	exp	gaus	outros*	Classe de solo	esf	exp	gaus	outros*
P	4	4	0	0	P	6	6	1	1
C	5	3	0	0	C	4	1	0	0
L	42	19	3	1	L	40	16	6	2
F	0	0	0	0	F	0	0	0	0
N	3	2	0	0	N	5	0	0	0
S	0	0	1	0	S	0	0	1	0
Argila									
Modelo									
Classe de solo	esf	exp	gaus	outros*					
P	10	4	6	0					
C	3	2	0	0					
L	50	14	5	2					
F	0	0	3	0					
N	6	1	1	0					
S	0	1	0	0					

P= Argissolo; C= Cambissolo; L= Latossolo; R= Neossolo; S= Planossolo; F= Plintossolo; Esf= esférico; Exp= Exponencial; Gaus= Gaussiano; Outros*= Linear, circular.

O modelo esférico ajusta-se a atributos que apresentam variações abruptas ao longo da paisagem, tal que essas variações podem possuir relações com os tipos de material de origem (Isaaks e Srivastava, 1989; Rauch, 2011), além de ser o mais utilizado em ciências do solo (Cambardella et al., 1994; Cortez et al., 2011; Matias et al., 2014). McBratney e Webster (1986) ao analisar vários modelos de variograma para se adequarem aos atributos do solo concluíram que os modelos esféricos e

exponenciais são os mais utilizados para esse fim. Esse tipo de modelo é indicativo de transição abrupta ao longo da paisagem (Isaaks e Srivastava, 1989) geralmente associada aos fatores de formação do solo como transição da paisagem ou compartimentos da paisagem (Siqueira et al, 2015).

No estudo por meio da geoestatística deve-se considerar que a estrutura da V.E. está relacionada com a estrutura natural do fenômeno. Assim, a ausência de anisotropia deve ser verificada (Ortiz, 2002).

A anisotropia é uma característica muito frequente nos elementos da natureza, instruindo que a variabilidade ou distribuição espacial de tais elementos ocorre mais intensamente numa direção e menos intensamente em outra direção (Camargo et al., 2001).

Nesse estudo, para os atributos pH, MO, CTC, V% e argila, apenas 16 trabalhos científicos verificaram se houve ou não a presença de anisotropia.

Apesar de existirem diversos trabalhos utilizando diferentes densidades amostrais (Nanni et al., 2011; Liu et al., 2013), encontra-se poucos que definem a D.A. ideal para determinado compartimento geológico e/ ou pedológico (Siqueira, 2013). Vale ressaltar que grande parte dos trabalhos brasileiros, com foco no P.A. foi realizada em áreas pequenas e sem variabilidade de fatores geológicos e geomorfológicos (Pereira et al., 2013; Teixeira et al., 2013).

4.2 Alcance de variograma nas diferentes geologias

Um maior número de trabalhos científicos foi encontrado na geologia arenítica (pH= 49, MO= 41, CTC= 40, V%= 42 e argila= 43) para todos os cinco atributos avaliados, enquanto no mármore, apenas o pH foi avaliado (Figura 8).

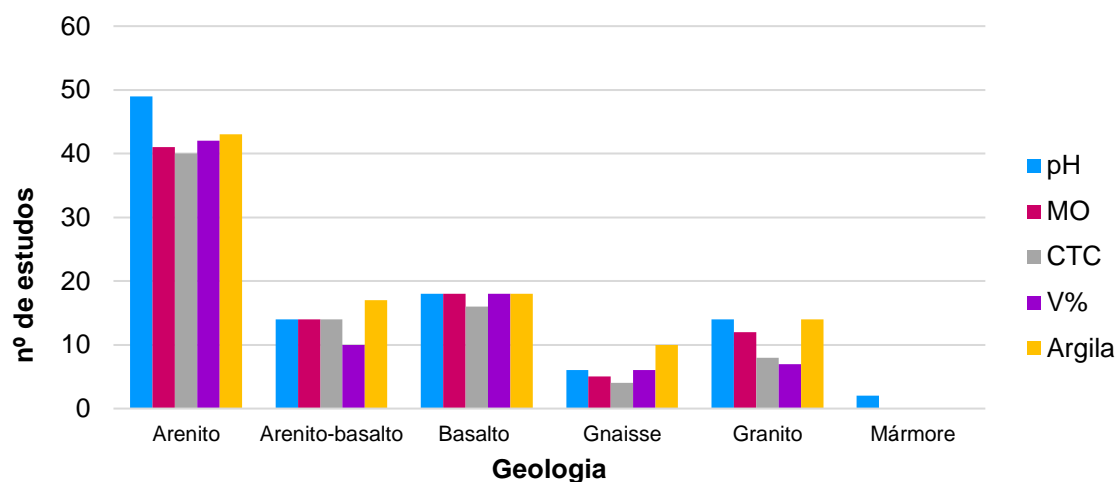


Figura 8: Número de estudos utilizados para atributo nas diferentes geologias.

Na análise dos gráficos boxplot para os alcances dos atributos pH, MO, CTC, V% e argila em função das geologias (Figura 9), a transição arenito-basalto apresentou os maiores valores de medianas (pH= 1045,5 m, MO= 1339 m, CTC= 1200 m, V%= 545,1 m e argila= 1284 m) para os atributos avaliados (Tabela 4). A geologia arenítica apresentou uma maior quantidade de *outliers* seguida da basáltica.

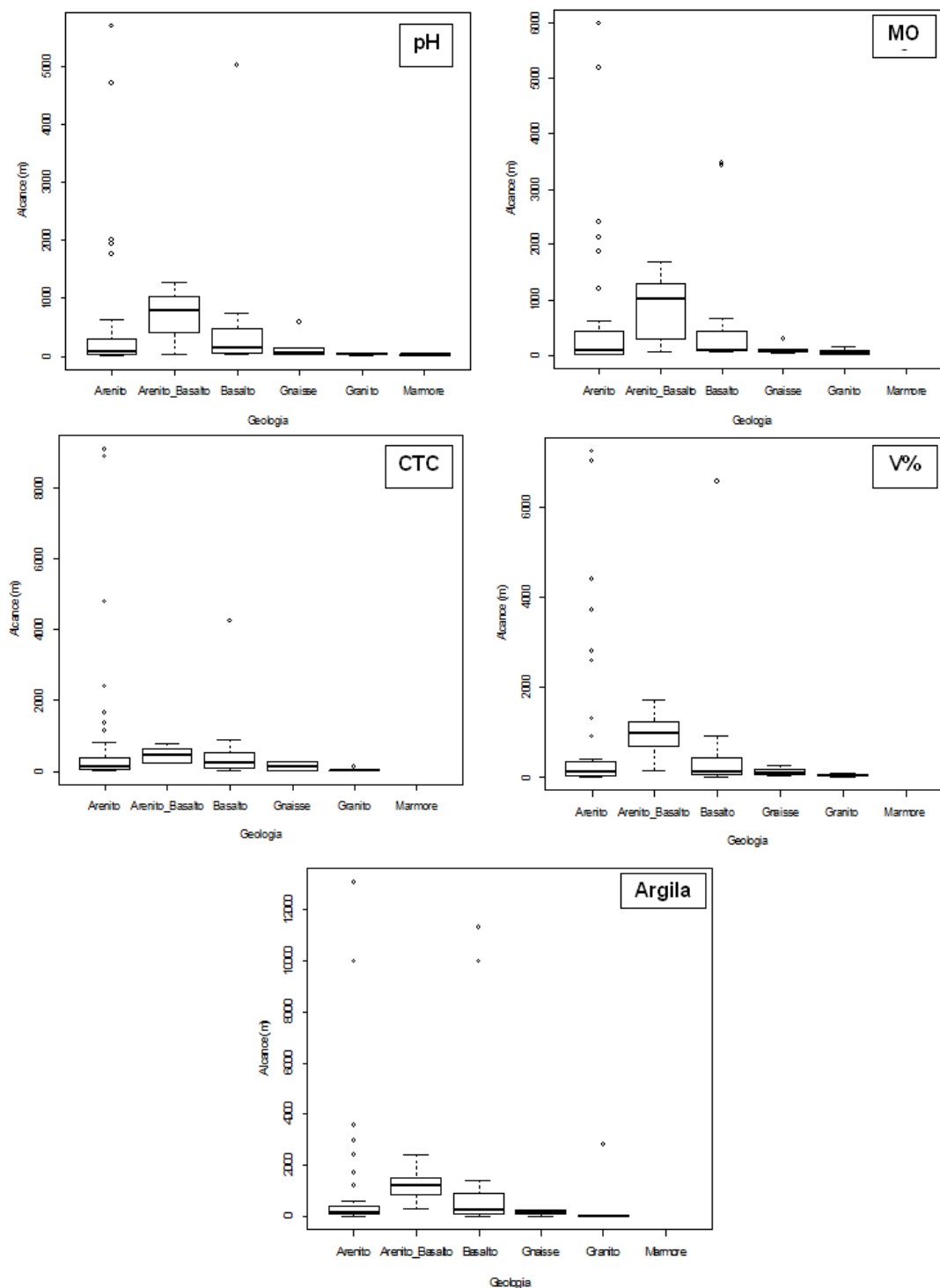


Figura 9: Gráficos boxplot dos valores de alcance pH, MO, CTC, V% e argila de acordo com as geologias (arenito, arenito-basalto, basalto, gnaise, granito e mármore). Os limites inferiores e superiores da caixa indicam, respectivamente, o primeiro (Q1) e terceiro quartil (Q3); a linha no interior da caixa indica a mediana dos dados.

Tabela 4: Valores das medianas dos alcances, em metros, para os atributos pH, MO, CTC, V% e argila nas diferentes geologias.

Geologia	Atributos do solo				
	pH	MO	CTC	V%	Argila
A	77,8	73,2	109,3	149	155,8
A-B	1045,5	1339	1200,0	545,1	1284
B	157,9	80	108,4	368	222,7
Gn	63,955	49	92,2	125,5	146,5
Gr	41	39,5	37,8	30,3	19
M	27,8	-	-	-	-

A= arenito; A-B= arenito-basalto; B= basalto; Gn= gnaisse; Gr= granito; M= mármore.

Esse fato pode ter ocorrido devido ao espaçamento entre amostras e tamanho das áreas nos estudos envolvendo essa transição geológica, os quais foram maiores que para as demais geologias (Tabela 5) apesar de não ter se encontrado correlação entre o alcance do variograma e espaçamento entre amostras coletadas.

Tabela 5: Valores médios, máximos e mínimos da área dos experimentos e do espaçamento entre coletas de solo.

Geologia	Média do tamanho da área (ha)	Tamanho máx. da área (ha)	Tamanho mín. da área (ha)	Média do espaçamento entre coletas (m)	Espaçamento máx. entre coletas (m)	Espaçamento mín. entre coletas (m)
A	69,6	1465	0,001024	32,3	500	2
A-B	370,0	870	0,36	84,1	174	10
B	131,1	2597	0,36	47,0	500	5
Gn	10,5	32	0,09	142,6	377,5	5
Gr	1,5	22	0,08	10,6	40	4
M	0,6	0,6	0,6	10	10	10

A= arenito; A-B= arenito-basalto; B= basalto; Gn= gnaisse; Gr= granito; M= mármore; ha= hectare; m= metros; máx= máximo; mín= mínimo.

O alcance depende do tamanho da área amostrada e da escala de observação, sendo tanto maior o alcance quanto maior for o intervalo entre amostras (Trangmar et al., 1986). Ocorre uma diminuição no alcance da dependência espacial decorrente da redução na distância da amostragem, situação esta já confirmada por trabalhos como os de Nanni et al. (2011), Molin et al. (2012) e Cherubin et al. (2014).

A distância entre pontos de coleta das amostras irá promover a detecção de dependências especiais causadas por distintos fatores e isso afetará o alcance da dependência espacial, se esta existir.

Quando se compara os alcances medianos do arenito (rocha sedimentar) com os do basalto (rocha magmática) verifica-se menores valores para o arenito (Tabela 4).

Na literatura é possível encontrar pesquisas que mostram a influência da geologia (Liu et al., 2013; Siqueira, et al., 2014), na variabilidade dos atributos do solo. Porém em estudo realizado por Bahia (2016), os atributos SB e V% não apresentaram influência da geologia graças ao manejo intensivo do solo, levando a homogeneização da área, o que diminui a influência dos fatores intrínsecos do solo. Campos et al. (2007) afirmaram que em regiões de transições geológicas arenito-basalto, o manejo da área não é capaz de homogeneizar a variabilidade proporcionada pelas características intrínsecas do solo. Logo, áreas de transição geológica comportam-se de forma distinta, afetando o padrão de continuidade mais em algumas regiões do que em outras.

Segundo Siqueira (2013), solos que tem sua origem em rochas sedimentares, formadas em ambiente fluvial, apresentam vocação para um padrão de variabilidade maior, logo se faz necessário realizar maior número de amostragens para a representação da área.

O teor de argila reflete a influência que o material de origem teve sobre os solos, evidenciado pelo maior conteúdo deste atributo em solos derivados de basalto em relação às rochas areníticas (Teixeira et al., 2009). Solos originados de basalto apresentam textura argilosa a muito argilosa, enquanto os solos originados de rochas sedimentares podem apresentar desde textura arenosa a muito argilosa (Prado, 2013). Solos que possuem a característica de textura argilosa têm menor susceptibilidade a erosão e boa drenagem quando comparados a solos de textura arenosa que possuem baixa capacidade de agregação esses fatores influenciam diretamente na perda de solo pelo processo erosivo, o que aumenta a variabilidade dos atributos do solo e conseqüentemente diminui o alcance do variograma.

É importante utilizar a geologia como informação auxiliar na delimitação de unidades, já que os padrões de variabilidade dos atributos estão muito relacionados

à geologia da área (Teixeira et al., 2018). Assim, o delineamento de unidades para áreas extensas parece ser responsivo à utilização deste tipo de informação (Silvero, 2018).

As informações geológicas muitas vezes não são utilizadas no mapeamento de solos, pela ausência destas informações dentro da área de estudo ou pela falta de entendimento das possíveis relações desta com a formação do solo (Gray et al., 2014). É importante salientar que uma mesma rocha poderá originar solos muito diferentes, dependendo da variação dos demais fatores de formação. O material de origem mais frias, com menores índices pluviométricos e nos primeiros estádios do desenvolvimento do solo. Em regiões mais úmidas, com o decorrer do tempo, outros fatores ofuscam a influência da rocha de origem (Bigarella et al., 1996.).

4.3 Alcance de variograma nas diferentes classes de solo

Houve a predominância de trabalhos realizados na classe de solo dos Latossolos, seguido dos Argissolos para todos os atributos avaliados (Figura 10). Essas classes de solo são predominantes no Brasil e representam, respectivamente, 39% e 24% aproximadamente do território nacional (Santos, 2018).

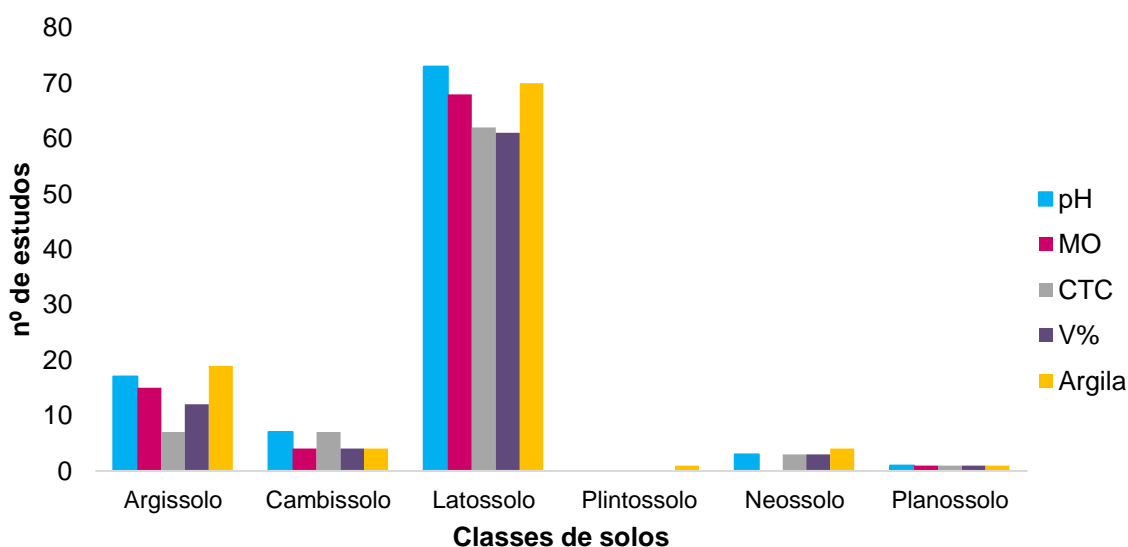


Figura 10: Número de estudos utilizados para os atributos nas diferentes classes de solo.

Na análise dos gráficos boxplot para os valores de alcance dos atributos pH, MO, CTC, V% e argila em função da classe de solo (Figura 11), o Latossolo

apresentou maiores valores medianos de alcances para os atributos pH (121,2 m), MO (118,25 m), V% (245,5 m) e argila (290 m). Já o Argissolo apresentou maiores valores medianos para o alcance da CTC (326 m) (Tabela 6). O Latossolo apresentou uma maior quantidade *outliers* quando comparado às demais classes de solo.

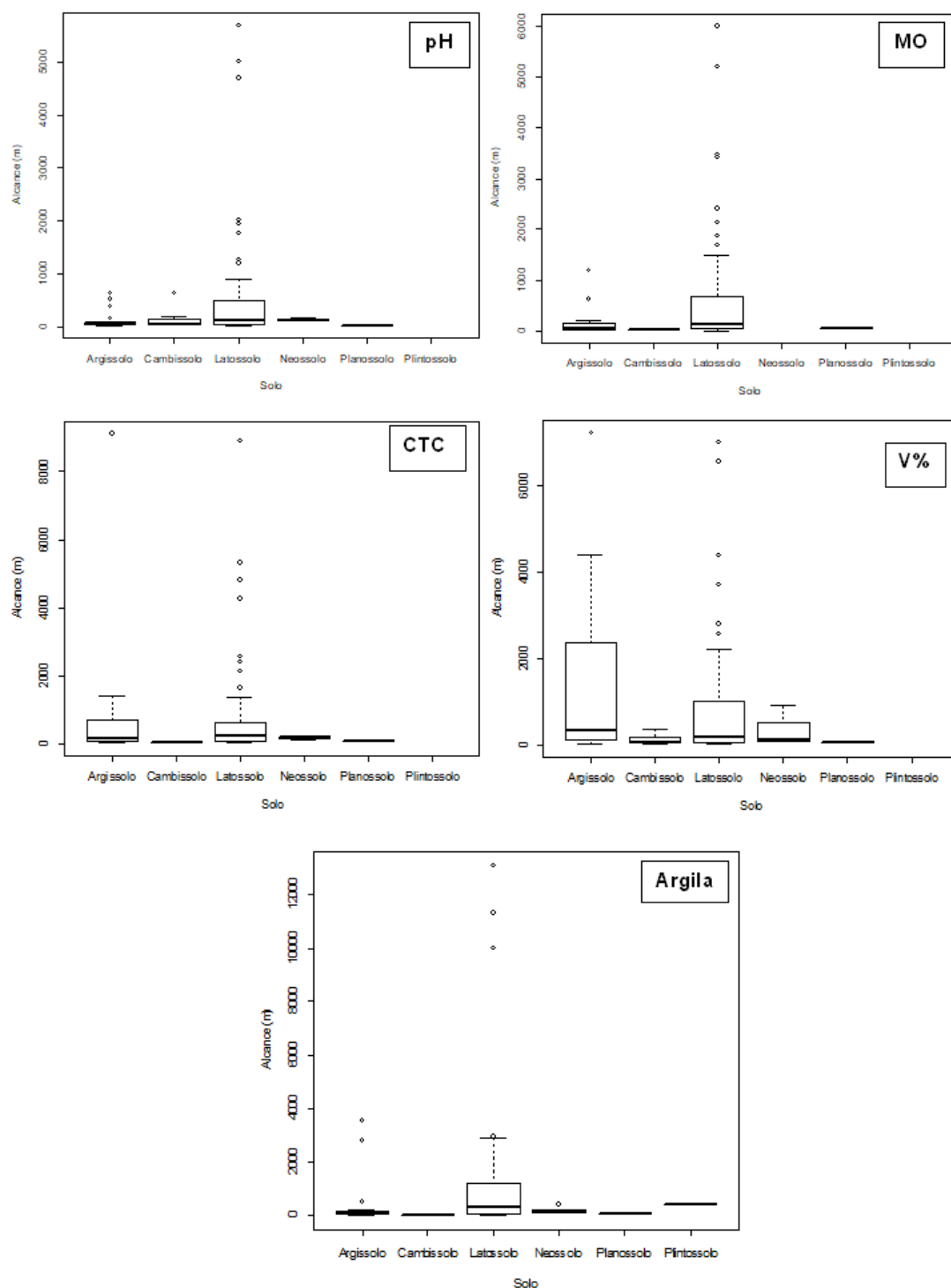


Figura 11: Gráficos boxplot dos valores de alcance para pH, MO, CTC, V% e teor de argila de acordo com as classes de solo no 1º nível categórico (Argissolo, Cambissolo, Latossolo, Neossolo, Planosso e Plintossolo). Os limites inferiores e superiores da caixa indicam, respectivamente, o primeiro (Q1) e terceiro quartil (Q3); a linha no interior da caixa indica a mediana dos dados.

Tabela 6: Valores das medianas dos alcances para os atributos pH, MO, CTC, V% e argila nas diferentes classes de solo.

Classe de solo	Atributos do solo				
	pH	MO	CTC	V%	Argila
P	50,16	63,5	326	159	87,65
C	40	28,2	52,5	26,4	16
L	121,2	118,25	169	245,5	289,9
R	109	-	112	179	136
S	10,48	49,3	46,2	52,2	37,1
F	-	-	-	-	389

P= Argissolo; C= Cambissolo; L= Latossolo; R= Neossolo; S= Planossolo; F= Plintossolo.

O conceito de Latossolo implica que os atributos do solo são homogêneos tanto em relação ao perfil, quanto em relação à extensão horizontal (Montanari et al., 2008). Ambientes pedogenéticos mais evoluídos e estáveis são mais homogêneos, confirmando o fato dessas classes terem maiores alcances médios para três dos cinco atributos estudados (pH, MO e V%). A baixa suscetibilidade a erosão dessa classe de solo (principalmente os de textura média a argilosa), associado ao fato de ocorrerem, em sua grande maioria, em relevos planos ou com suave declividade, faz com que os latossolos apresentem um comportamento espacial de seus atributos com poucas variações.

Planossolos e Argissolos por terem como característica O incremento de argila em profundidade, o que promove uma mudança de textural de forma abrupta e acentuada, confere a essas classes de solo uma alta suscetibilidade à erosão e com isso o aumento da variabilidade dos seus atributos. Esse processo erosivo é minimizado nos Planossolos pela situação de ocorrência em relevos planos e suave ondulados e acentuado nos Argissolos quando ocorrem em relevos mais movimentados.

É de se esperar que a CTC e o V% tenham comportamentos espaciais parecidos, uma vez que expressam grandezas semelhantes (Vieira, 1997).

Como a argila é pouco influenciada pelo manejo adotado, a variação horizontal existente é resultado principalmente de processos pedogenéticos que atuaram sobre os diferentes materiais de origem, que são conhecidos como macrovariações. Normalmente as macrovariações se correlacionam espacialmente e apresentam altos valores de alcance da dependência espacial (Mello et al., 2006).

Zanão Júnior et al. (2007) relataram que as variações espaciais dos atributos do solo não são iguais entre si já que alguns atributos necessitam de números maiores de amostras que outros. Isso acontece porque as variações nos teores dos elementos do solo não são uniformes para todos. Os atributos que possuem forte dependência espacial são influenciados por fatores intrínsecos do solo, enquanto aqueles que possuem fraca dependência espacial têm maior influência de fatores externos, devido ao tipo de manejo adotado durante e depois do cultivo (Cambardella et al., 1994; Carvalho et al., 2002).

Os resultados apresentados no presente estudo podem auxiliar na determinação de planejamentos amostrais para locais sem conhecimento prévio da variabilidade, os quais devem ser levados em consideração para posteriores pesquisas para aperfeiçoar suas amostragens em diferentes compartimentos geológicos e pedológicos.

5. CONCLUSÃO

Tanto o material de origem quanto a classe de solo influenciam no alcance do variograma, quando se estuda os atributos do solo e esses fatores devem ser levados em consideração quando se deseja fazer um planejamento estratégico para se realizar um manejo específico na área.

A quantidade de amostras deve variar em função dos diferentes materiais de origem e classe de solo bem como em função do atributo do solo de interesse.

A geologia de transição Arenito-basalto e a classe dos Latossolos apresentaram os maiores valores dos alcances para os atributos do solo estudados.

Espera-se continuar alimentado a base de dados gerada para obter respostas mais sólidas e precisas, conforme haja o aumento da quantidade de dados disponíveis. Dessa forma, lacunas que não foram analisadas nesta dissertação poderão ser preenchidas.

6. REFERÊNCIAS

- Alho LC, Campos MCC, Silva DMP, Mantovanelli BC, Souza ZMD (2014) Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 44:246-254.
- Almeida KNS (2016) **Aptidão agrícola dos solos do estado do Piauí**. 71f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UFPI, Bom Jesus.
- Alvares CA, Gonçalves JLDM, Vieira SR, Silva CRD, Franciscatte W (2011) Spatial variability of physical and chemical attributes of some forest soils in southeastern of Brazil. **Scientia Agricola** 68:697-705.
- Alves SMDF, Queiroz DMD, Alcântara GRD, Reis EFD (2014) Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo usando técnicas de análise de componentes principais e geoestatística. **Bioscience Journal** 30:22-30.
- Amado TJC, Nicoloso R, Lanzasova M, Santi AL, Lovato T (2005) A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto** 89:34-42.
- Amaro Filho J, Negreiros RF, Assis Júnior RN, Amota JCA (2007) Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:415-422.
- Anchieta, L (2012) **Amostragem de solo em agricultura de precisão: particularidades e recomendações**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – USP, Piracicaba.
- Aquino RE, Campos MCC, Oliveira IA, Siqueira DS, Soares MDR, Freitas L. (2015) Técnicas geoestatísticas na avaliação de atributos químicos em Cambissolo com agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 10:544-552.
- Aquino RE, Marques Júnior J, Campos MCC, Oliveira IA, Siqueira DS (2014) Distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 44:32-41.
- Araújo DR, Mion RL, Sombra WA, Andrade RR, Amorim MQ (2014) Variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo. **Revista Caatinga** 27:101-115.
- Arruda GPD, Demattê JAM, Chagas CDS (2013) Digital soil mapping by artificial neural networks based on soil-landscape relationships. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:327-338.
- Artuzo FD, Soares C, Weiss CR (2017) Inovação de processo: o impacto ambiental e econômico da adoção da agricultura de precisão. **Espacios** 38:1-6.

ARVUS TECNOLOGIA (2009) **A agricultura de precisão**. Disponível em: <<http://www.arvus.com.br>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

Assis LFA, Pereira SG, Alves JM (2018) Densidade amostral do solo na recomendação de calagem para cana-de-açúcar. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, **Anais...**Goiânia: SBZ.

Bahia ASRDS (2016) **Estimação de atributos do solo por espectroscopia de reflectância difusa e suscetibilidade magnética no contexto da paisagem**. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Barbieri DM, Marques Júnior J, Pereira GT (2008) Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola** 28:645-653.

Bernardi ADC, Naime JDM, Resende AD, Inamasu R Y, e Bassoi L (2014) **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação.

Berner PGM, Vieira SR, Lima E, dos Anjos LHC (2007) Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:837-844.

Bigarella JJ, Mousinho MR, Silva JX (1965) Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia** 16:117-152.

Boissel JP (1994) Méta-analyse des essais cliniques: intérêts et limites. **Archives des Maladies du Coeur et des Vaisseaux** 87:11-17.

Bottega EL, Queiroz DM, Pinto FDAC, Souza CMA (2013) Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica** 44:1-9.

Branco SB, Salviano AA, Matias SS, Júnior JM, Santos HL (2013) Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos em área degradada de Gilbués, PI. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 8:324-330.

BRASIL (2013) **Agricultura de precisão**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 36p.

Brungard CW, Boettinger JL, Duniway MC, Wills SA, Edwards Junior TC (2015) Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. **Geoderma** 239:68-83.

Buol SW, Hole FD, McCracken RJ (1997) **Soil genesis and classification**. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 527p.

Burak DL, Passos RR, Andrade FV (2012) Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia** 71:538-547.

Bussab EO, Morettin PA (2003) **Estatística básica**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 526p.

Camargo ECG (1998) **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE, cap. 5.

Camargo ECG, Felgueiras CA, Monteiro AMV (2001) A importância da modelagem da anisotropia na distribuição espacial de variáveis ambientais utilizando procedimentos geoestatísticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, FOZ DO IGUAÇU, **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE; SELPER, p.395-402.

Camargo ECG, Fucks SD, Câmara G (2004) **Análise espacial de superfícies**: análise espacial de dados geográficos. Planaltina: Embrapa Cerrados 79-122.

Cambardella CA, Moorman TB, Parkin TB, Karlen DL, Novak JM, Turco RF, Konopka AE (1994) Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal** 58:1501-1511.

Campos MCC, Marques Júnior J, Pereira GT (2010) Influência das superfícies geomórficas na distribuição espacial dos atributos do solo em área sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 40:133-141.

Campos MCC, Marques Júnior J, Pereira GT, Montanari R, Siqueira DS (2007) Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica** 38:149-157.

Campos MCC, Marques Júnior J, Pereira GT, Souza ZMD, Montanari R (2009) Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 13:297-304.

Campos MCC, Marques Júnior JM, Pereira GT, Freitas EVS (2007) Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica** 38:350-359.

Campos MCC, Marques Júnior, J, Pereira, GT, Montanari R, Camargo LA (2007) Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:519-529.

Campos MCC, Soares MDR, Aquino RE, Santos LAC, Mantovanelli BC (2014) Distribuição espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo em uma área de agrofloresta na região de Humaitá, AM. **Comunicata Scientiae** 5:509-517.

Cancian LC (2019) **Estratégias para predição de classes de solo**. 100 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – UFSM, Santa Maria.

Canellas JM (2015) **Revisão sistemática e meta-análise do perfil lipídico da carne de bovinos de corte**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - UFRS, Porto Alegre.

Caon D (2012) **Espacialização e mapeamento da fertilidade em diferentes camadas do solo e densidades amostrais**. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UECO, Guarapuava.

Carvalho JRP, Silveira PM, Vieira SR (2002) Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37:1151-1159.

Carvalho LCC (2016) **Determinação da densidade amostral ótima para a geração de mapas temáticos na cafeicultura de precisão**. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - UFLA, Lavras.

Carvalho LCC, Silva FM, Silva FC, Stracieri J (2013) Spatial variability of soil physical attributes and agronomic characteristics of coffee crop. **Coffee Science** 8:265-275.

Carvalho SP, Custódio TN, Baliza DP, Rezende T (2012) Meta-análise para estimativas de herdabilidade de caracteres vegetativos e reprodutivos de Coffea arabica L. **Semina: Ciências Agrárias** 33:1291-1298.

Castro AA (2001) Revisão sistemática e meta-análise. **Compacta: temas de cardiologia** 3:5-9.

Cavalcante EGS, Alves MC, Pereira GT, Souza ZM (2007) Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural** 37:394-400.

Ceddia MB, Vieira SR, Villela ALO, Mota LM, Anjos LHC, Carvalho DF (2009) Topografia e variabilidade espacial de propriedades físicas do solo. **Scientia Agricola** 66:338-352.

Chaves LHG, Farias CHA (2009) Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrônômica** 40:211-218.

Cherubin MR, Santi AL, Eitelwein MT, Menegol DR, Da Ros CO, Pias OHC, Berghetti J (2014). Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural** 44:425-432.

Chiba MK, Vieira SR, González AP, Dechen SCF, Maria ICD (2010) Alterations and spatial variability of soil fertility in successive years under no tillage system. **Bragantia** 69:29-38.

Chitolina JC (1982) **Contribuição de alguns fatores nos resultados da análise química de terra e seus efeitos nas recomendações de adubação e calagem**. 200 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – USP, Piracicaba.

Chitolina JC, Prata F, Silva FCD, Coelho AM, Casarini DCP, Muraoka T, Vitti AC, Boaretto AE (2009) Amostragem de solo para análises de fertilidade, de manejo e de

contaminação. In: Silva (Ed.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa, p.23-55.

Chung CK, Chong SK, Varsa EC (1995) Sampling strategies for fertility on a stoy silt loam soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 26:741-763.

Corá JE, Araújo AV, Pereira GT, Beraldo JMG (2004) Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do solo** 28:1013-1021.

Cortez LA, Marques Júnior J, Peluco RG, Teixeira DDB, Silveira DS (2011) Susceptibilidade magnética para identificação de áreas de manejo específico em citricultura. **Revista Energia na Agricultura** 26:60-79.

Costa WG (2018) **Meta-análise das estimativas de parâmetros em genótipos de arroz irrigado em Minas Gerais** (94 f) Dissertação (Mestrado em Genética e melhoramento) - UFV, Viçosa.

Da Silva, SF, Guimarães AM, Canteri MG (2014) Determinação de modelo estatístico para meta-análise na validação da escala diagramática usando o ambiente R. In: CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO, **Anais...** Criciúma: Unesc/SBC, p.1-8.

D'Agostino RB, Weintraub M (1995) Meta-analysis: a method for synthesizing research. **Clinical Pharmacology an Therapeutics** 58:605-616.

Dalchiavon FC, Carvalho MP, Freddi OS, Andreotti M, Montanari R (2011) Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia** 70:908-916.

Dalchiavon FC, Passos M, Andreotti M, Montanari R (2012) Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica** 43:453-461.

Dalchiavon FC, Rodrigues AR, Lima ES, Lovera LH, Montanari R (2017) Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias** 16:144-154.

Darim EP (2017) **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em área irrigada**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação no Cerrado) - IFGO, Ceres.

Davis JC (2002) **Statistic and data analysis in geology**. New York: John Wiley & Sons, 656 p.

Di HJ, Kemp RA, Trangmar BB (1989) Use of geostatistics in designing sampling strategies for soil survey **Soil Science Society of America Journal** 53:1163-1167.

Eloy LR (2017) **Meta-análise do desempenho reprodutivo de novilhas e vacas primíparas de corte**. 144 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - UFRS, Porto Alegre.

EMBRAPA (1998) **Base de informações georreferenciada de solos**: metodologia e guia básico do aplicativo SigSolos, versão 1.0. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CD-ROM.

Eysenck HJ (1952) Os efeitos da psicoterapia: uma avaliação. **Journal of Consulting Psychology** 16:319.

Fagard RH, Staessen JA, Thijs L (1996) Advantages and disadvantages of the meta-analysis approach. **Journal of Hypertension** 14:9-13.

Ferreiro JP, Almeida VP, Alves MC, Abreu CA, Vieira S R, Vázquez EC (2016) Spatial variability of soil organic matter and cation exchange capacity in an oxisol under different land uses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 47:75-89.

Flores CA, Alba JMF (2014) **A pedologia e a agricultura de precisão**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado.

Gelain E (2016) Arranjo amostral para mapeamento de atributos do solo. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UFDG, Dourados.

Giannotti JDG (2004) **Meta-análise de parâmetros genéticos de características de crescimento em bovinos de corte sob enfoques clássico e bayesiano**. 86f. Tese (Doutorado em Agronomia) – USP, Piracicaba.

Giotto E, Cardoso CDV, Sebem E, Pires FS (2013) **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro**. Santa Maria: Laboratório de Geomática, DER – CCR – UFSM.

Glanz JT (1995) **Saving our soil**: solutions for sustaining Earth's vital resource. Boulder: Johnson Books.

Glass GV (1976) Primary, secondary, and meta-analysis of research. **The Educational Researcher** 6:3-8.

Goderya FS (1998) Field scale variations in soil properties for spatially variable control: a review. **Journal of Soil Contamination** 7:243-264.

Gomes ECB, Leite FRB, Cruz MLB (1993) Aptidão agrícola das terras através de sistema de informações geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.132-139.

Gontijo I, Ziviani AB, Oliveira AC, Paris JO, Lima WO, Santos EOJ (2015) Planejamento amostral de propriedades químicas do solo em uma lavoura de macadâmia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Viçosa: SBCS.

Goovaerts P (1998) Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. **Biology and Fertility of Soils** 27:315-334.

Gray J, Bishop T, Wilford J (2014) Lithology as a powerful covariate in digital soil mapping. **GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System**. Leiden: CRC Press, p. 433–439.

Grego CR, Oliveira RP, Vieira SR (2014) **Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão**. Campinas: Embrapa Territorial.

Grego CR, Vieira SR, Xavier MA (2010) Spatial variability of some biometric attributes of sugarcane plants (variety IACSP93-3046) and its relation to physical and chemical soil attributes. **Bragantia** 69:107-119.

Guedes Filho O (2009) **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. 97f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - IAC, Campinas.

Guerra PAG (1988) **Geoestatística operacional**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 145p.

Guimarães EC (2004) **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 78p. v.1.

Hartemink AE, McBratney AB (2008) A soil science renaissance. **Geoderma** 148:123-129.

Hengl T, Nussbaum M, Wright MN, Heuvelink GB, Gräler B (2018) Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. **Peer J Preprints** 6:e5518

Isaaks EH, Srivastava RM (1989) **An introduction to applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 561p.

Knob MJ (2006) **Aplicação de Técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades**. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UFMS, Santa Maria.

Krige DG (1951) A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa** 52:151-163.

Lagacherie P, McBratney AB (2006) Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. **Developments in soil science** 31:3-22.

Landim PMB (2006) Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didatica** 2:19-33.

Leão MG, Marques Júnior J, Souza ZMD, Pereira GT (2010) Variabilidade espacial da textura de um latossolo sob cultivo de citros. **Ciência e Agrotecnologia** 34:121-131.

Leão MG, Marques Júnior J, Souza ZMD, Siqueira DS, Pereira GT (2011) Formas do relevo e variabilidade espacial de propriedades do solo em área cultivada com citros. **Engenharia Agrícola** 31:643-651.

Lepsch IF (2002) **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 178p.

Lima FV, Silvino GDS, Melo RSDS, Lira EC, Ribeiro TDS (2015) Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga** 28:53-63.

Liu Y, Lv J, Zhang B, Bi J (2013) Spatial multi-scale variability of soil nutrients in relation to environmental factors in a typical agricultural region, Eastern China. **Science of the Total Environment** 450:108-119.

Lovatto PA, Lehnen CR, Andretta I, Carvalho AD, Hauschild L (2007) Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia** 36:285-294.

Lovatto PA, Quadros FLF, Silveira V (2006) Modelagem animal: análise e perspectivas do ponto de vista acadêmico brasileiro. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM PRODUÇÃO ANIMAL. **Anais...** Santa Maria: SBZ. 1 CD-ROM.

Lovera LH (2015) **Atributos do solo e componentes produtivos da soja: uma abordagem linear, multivariada e geoestatística**. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Unesp, Ilha Solteira.

Luiz AJB (2002) Meta-análise: definição, aplicações e sinergia com dados espaciais. **Caderno de Ciência & Tecnologia** 19:407-428.

Machado FC, Montanari R, Shiratsuchi LS, Lovera LH, Lima EDS (2015) Dependência espacial da condutividade elétrica e propriedades químicas do solo por indução eletromagnética. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39:1112-1120.

Mantovani EC, Queiroz DM, Dias GP (1998) Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da. (Coord.). **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: Nome da Editora, p. 109-157.

Marchesi CDS (2018) **Planejamento amostral para mapeamento de argila do solo com cokrigagem e suscetibilidade magnética**. 102f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Unesp, Jaboticabal.

Marques Júnior J, Alleoni LRF, Teixeira DDB, Siqueira DS, Pereira GT (2015) Sampling planning of micronutrients and aluminium of the soils of São Paulo, Brazil. **Geoderma Regional** 4:91-99.

Marques Júnior J, Siqueira DS, Camargo LA, Teixeira DDB, Barrón V, Torrent J (2014) Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize

the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. **Geoderma** 219:63-71.

Marques Junior J, Souza ZM, Pereira GT, Barbieri DM (2008) Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista de Biologia e Ciências da terra** 8:143-152.

Martins CMS (2017) **Estoques de carbono no solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Brasil: uma meta-análise**. 90f. Tese (Doutorado em Metodologia Aplicada) – UFV, Viçosa.

Matias SSR, Marques Junior J, Siqueira DS, Pereira GT (2014) Outlining precision boundaries among areas with different variability standards using magnetic susceptibility and geomorphic surfaces. **Engenharia Agrícola** 34:695-706.

McBratney A, Minasny B (2007) On measuring pedodiversity. **Geoderma** 141:149–154.

Mcbratney A, Mynasny B, Stephen R, Cattle R, Vervoort W (2002) From pedotransfer functions to soil inference systems. **Geoderma** 109:41-73.

McBratney AB, Santos MLM, Minasny, B (2003) On digital soil mapping. **Geoderma** 117:03–52.

McBratney AB, Webster R (1983) Quantas observações são necessárias para a estimativa regional das propriedades do solo? **Soil Science** 135:177-183.

McBratney AB, Webster R (1986) Choosing functions for the semivariograms of soil properties and fitting them to sample estimates. **European Journal of Soil Science** 37:617-639.

Mello G, Bueno CR, Pereira GT (2006) Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 10:294-305.

Miguel FRM (2010) **Variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade em área cultivada com cana-de-açúcar**. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura tropical e subtropical) – IAC, Campinas.

Molin JP, Amaral LR, Colaço A (2015) **Agricultura de precisão**. Cidade: São Paulo. Oficina de Textos.

Molin JPAF, Colaço EF, Mattos Junior CD (2012) Yield mapping, soil fertility and three gaps in an orange orchard. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 34:1256-1265.

Montanari R, Marques Júnior J, Pereira GT, Souza ZM (2005) Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 40:69-77.

Montanari R, Panachuki E, Lovera LH, Correa AR, Oliveira IS, Queiroz HA, Tomaz, PK (2015) Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39:385-396.

Montanari R, Pereira GT, Marques Júnior J, Souza ZMD, Pazeto RJ, Camargo LA (2008) Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural** 38:1266-1272.

Monteiro RNM (2010) **Metodologias de meta-análise aplicadas nas Ciências da Saúde**. 119 f. Tese (Doutorado em Aplicações de Estatística às Ciências da Saúde da Vida e do Ambiente) - UBI, Covilhã.

Motomiya AV, Molin JP, Motomiya WR, Vieira, SR (2011) Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 15:996-1003.

Motomiya AVA, Corá JE, Pereira GT (2006) Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 30:485-496.

Moura LC, Marques AFSM, Hadad RM, Andrade H, Alves HMR (2007) A aptidão agrícola das terras do município de Machado/ MG e a cafeicultura. **Caderno de Geografia** 17:141-162.

Nanni MR, Povh FP, Demattê JAM, Oliveira RB, Chicati ML, Cazar E (2011) Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola** 68:386-392.

Nascimento AL (2015) **Estratégia de amostragem para caracterização da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo**. 44 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UFV, Viçosa.

Negreiros Neto JV, Santos AC, Guarnieri A, Souza DJDAT, Daronch DJ, Dotto, MA, Araújo AS (2014) Spatial variability of chemical and physical attributes of dystrophic Red-Yellow Latosol in no tillage. **Semina: Ciências Agrárias** 35: 193-204.

Oliveira DC (2018) **Potencial de sequestro de carbono no solo e dinâmica da matéria orgânica em pastagens degradadas no Brasil**. 82 f Tese (Doutorado em Ciências) – USP, Piracicaba.

Oliveira IA, Campos MCC, Soares MDR, Aquino RE, Marques Júnior J, Nascimento EP (2013) Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:1103-1112.

Oliveira IA, Marques Junior J, Campos MCC, Aquino RE, Freitas L, Siqueira DS, Cunha JM (2015) Variabilidade Espacial e Densidade Amostral da Suscetibilidade Magnética e dos Atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39: 668-681.

Oliveira RBD (2007) **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 150 f Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - UFES, Alegre.

Oliveira RP, Grego CR, Brandão ZN (2015) **Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 152p.

Omuto C, Nachtergaele F, Rojas RV (2013) **State of the art report on global and regional soil information: Where are we? Where to go?** Roma: FAO, 69p.

Ortiz GC (2002) **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial de variáveis físicas do solo**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – USP, Piracicaba.

Peluco RG (2016) **Magnetismo e cor na identificação de solos com diferentes potenciais de sorção de imazaquim**. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal.

Peluco RG, Marques Júnior J, Siqueira DS, Pereira GT, Barbosa RS, Teixeira DDB (2015) Mapeamento do fósforo adsorvido por meio da cor e da suscetibilidade magnética do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 50: 259-266.

Peluco RG, Marques Júnior JM, Siqueira DS, Pereira GT, Barbosa RS, Teixeira DDB, Cortez LA (2013) Suscetibilidade magnética na identificação de áreas para aplicação de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 48:661-672.

Pereira GT, Souza ZM, Teixeira DDB, Montanari R, Marques Júnior J (2013) Optimization of the sampling scheme for maps of physical and chemical properties estimated by kriging. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:1128-1135.

Pinto CM (2013) Metanálise qualitativa como abordagem metodológica para pesquisas em letras. **Atos de Pesquisa em Educação** 8:1033-104.

Pires JLF, Cunha GR, Pasinato A, França S, Rambo L (2004) **Discutindo agricultura de precisão-aspectos gerais**. Passo Fundo: Embrapa Trigo.

Pollo GZ (2013) **Suscetibilidade magnética, atributos do solo e da planta na discriminação de áreas de manejo específico na cultura do café**. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Pötter MB (2014) **Análise comparativa entre amostragem de solo convencional e amostragem de solo para agricultura de precisão**. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – UFMS, Santa Maria.

Prado H (2013) **Pedology: Applications for Tropical Soils**. Piracicaba, 284 p.

R Core Team (2018). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Áustria: R-project.org.

Raij BV (1991) **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 343p.

Rauch JN (2011) Global distributions of Fe, Al, Cu, and Zn contained in Earth's derma layers. **Journal of Geochemical Exploration** 110:193-201.

Reichert JM, Dariva TA, Reinert DJ, Silva VR (2008) Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geostatística e análise de regressão. **Ciência Rural** 38:981-988.

Resende AV, Coelho AM (2017) **Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.

Resende JMDA, Marques Júnior J, Martins Filho MV, Dantas JS, Siqueira DS, Teixeira DDB (2014) Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste maranhense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 38:1077-1090.

Rodrigues CL, Ziegelmann P (2010) **Metanálise: um guia prático**. Monografia (Graduação em Matemática) - UFRGS, Porto Alegre.

Rodrigues KM (2014) **Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e biológicos do solo e a produtividade da cana-de-açúcar**. 176f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) - IAC, Campinas.

Roque CG, Centurion JF, Pereira GT, Beutler AN, Freddi ODS, Andrioli I (2005) Variabilidade espacial de atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com seringueira. **Revista de Ciências Agro-Ambientais** 3:26-45.

Salviano AAC (1996) **Variabilidade de atributos de solo e de Crotalaria juncea em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 91 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – USP, Piracicaba.

Sana RS, Anghinoni I, Brandão ZN, Holzschuh MJ (2014) Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18:994-1002.

Sánchez GAR (2010). **Variabilidade espacial do carbono e outros atributos do solo em uma área destinada ao reflorestamento no Rio Grande do Norte**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - USP, Piracicaba.

Sanchez MGB (2009) **Relação solo relevo em áreas sob cultivo de café no sudoeste de Minas**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Unesp, Jaboticabal.

Sanchez MGB, Marques Júnior J, Siqueira DS, Camargo LA, Pereira GT (2013) Delineation of specific management areas for coffee cultivation based on the soil–relief relationship and numerical classification. **Precision agriculture** 14:201-214.

Sanchez RB, Marques Júnior J, Pereira GT, Souza ZM (2005) Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 9:489-495.

Sanchez RB, Marques Júnior J, Souza ZM, Pereira GT, Martins Filho MV (2009) Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia** 68:1095-1103.

Santos EOJ (2015) **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob lavoura de café conilon**. 92f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – UFES, São Mateus.

Santos EOJ, Gontijo I, Silva MB, Partelli FL (2017) Planejamento amostral de Propriedades Físicas do Solo em um Campo de Café Conilon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 41:1-13.

Santos HG, Jacomine PKT, Dos Anjos LHC, De Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho MR, De Almeida JA, Araujo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF (2018) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa,

Santos HL, Marques Júnior J, Matias SS, Siqueira DS, Pereira GT (2011) Suscetibilidade magnética na identificação de compartimentos da paisagem em uma vertente. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 710-716.

Santos RF (2004) **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Texto.

Santos, EODJ, Gontijo I, Silva MBD (2013) Planejamento amostral de propriedades químicas do solo em lavoura de café conillon. **Coffee Science** 8:423-431.

Sauvant D, Schmidely P, Daudin JJ, St-Pierre NR (2008) Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. **Animal** 2:1203-1214.

Scherpinski C (2005) **Variabilidade espacial de atributos físicos e hídricos do solo e da produtividade da cultura da soja em uma área comercial**. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UEOP, Cascavel.

Silva AFD, Pereira MJ, Zimback CR, Landim P, Soares A (2015) Simulação sequencial de atributos diagnósticos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 19:418-425.

Silva FMD, Souza ZM, Figueiredo CAPD, Marques Júnior J, Machado RV (2007) Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural** 37:401-407.

Silva Neto SP, Santos AC, Leite RLL, Dim VP, Neves Neto DN, Silva JEC (2012) Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal** 28:41-53.

Silva PRTD (2017) **Geoestatística e análise múltipla de atributos químicos de um latossolo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo**. 87f Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Unesp, Ilha Solteira.

Silvero NEQ, Marques Júnior J, Siqueira DS, Costa MMR, Gomes RP (2018) Densidade amostral para caracterização da qualidade física do solo sob cultivo de café no sudoeste de Minas Gerais. **Revista Engenharia Agrícola** 38:2

Siqueira DS (2010) **Suscetibilidade magnética para a estimativa de atributos do solo e mapeamento de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar**. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Unesp, Jaboticabal.

Siqueira DS (2013) **Mapeamento de atributos e planejamento amostral para Latossolos utilizando suscetibilidade magnética, cor e relação solo-paisagem**. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Unesp, Jaboticabal.

Siqueira DS, Marques Júnior J, Pereira GT, Barbosa RS, Teixeira DDB, Peluco RG (2014) Sampling density and proportion for the characterization of the variability of Oxisol attributes on different materials. **Geoderma** 232:172-182.

Siqueira DS, Marques Júnior J, Pereira GT, Teixeira DDB, Vasconcelos V, Carvalho Júnior OA, Martins EDS (2015) Detailed design of mapping unit based on soil-landscape relationship and spatial variability of magnetic susceptibility and soil color. **Catena** 135:149-162.

Siqueira DS, Marques Júnior J, Teixeira DDB, Matias SSR, Camargo LA, Pereira GT (2016) Magnetic susceptibility for characterizing areas with different potentials for sugarcane production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51: 1349-1358.

Siqueira GM, Vieira SR, Dechen SCF (2009) Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. **Bragantia** 68:751-759.

Smith ML, Glass GV (1997) Meta-analysis of psychotherapy outcome studies. **American psychologist** 32:752.

Soria JE (2014) **Correlações lineares e espaciais entre atributos físico-químicos de solos de diferentes ambientes de produção de cana-de-açúcar no Noroeste do Estado de São Paulo**. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Unesp, Ilha Solteira.

Sotomayor JFM (2009) **Métodos de amostragem de solos para a determinação de carbono em três ambientes**. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - USP, Piracicaba.

Souza CK (2006) **Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional**. 65 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Souza CK, Marques Júnior J, Martins Filho MV, Pereira GT (2003) Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27:1067-1074.

Souza LS (1992) **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - UFRS, Porto Alegre.

Souza ZM, Barbieri DM, Marques Júnior J, Pereira GT, Campos MCC (2007) Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia** 31:371-377.

Souza ZM, Marques Júnior J, Pereira GT (2004) Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob o cultivo da cana. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28:937-944.

Souza ZM, Marques Júnior J, Pereira GT (2009) Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciencia Rural** 40:48-56.

Souza ZM, Marques Júnior J, Pereira GT, Barbieri DM (2006) Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia agricola** 63:161-168.

Souza ZM, Souza GSD, Marques Júnior J, Pereira GT (2014) Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural** 44:261-268.

Teixeira DDB, Bicalho EDS, Panosso AR, Perillo LI, Iamaguti JL, Pereira GT, La Scala Júnior N (2012) Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:1466-1475.

Teixeira DDB, Bicalho ES, Panosso AR, Cerri CEP, Pereira GT, La Scala N (2013) Spatial variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area characterized by secondary information. **Scientia Agricola** 70:195-203.

Teixeira DDB, Marques Júnior J, Siqueira DS, Vasconcelos V, Carvalho Júnior OA, Martins É, Pereira GT (2017) Sample planning for quantifying and mapping magnetic susceptibility, clay content, and base saturation using auxiliary information. **Geoderma** 305:208-218.

Teixeira DDB, Marques Júnior J, Siqueira DS, Vasconcelos V, Carvalho Júnior OA, Martins É, Pereira GT (2018) Mapping units based on spatial uncertainty of magnetic susceptibility and clay content. **Catena** 164:79-87.

Teixeira W, Fairchild TR, Toledo MCM (2009) **Descifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, p.623.

Trangmar BB, Yost, RS, UEHARA G (1986) Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in agronomy** 38:45-94.

Valente JMGP (1989) **Geomática** – Lições de geoestatística. Ouro Preto: Ed. Da Fundação Gorceis, v.8.

Vieira SR (1997) Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia** 56:181-190.

Vieira SR (2000) **Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F et al (Eds). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira De Ciência Do Solo p. 1-53.

Vieira SR (2004) **Análise da variabilidade espacial e temporal de umidade do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico em Campinas, São Paulo**. IN: RELATÓRIO FAPESP, 2004, 2: 02863-3.

Vieira SR, Dechen SCF, Siqueira GM, Dufranc G (2011) Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia** 70:185-195

Vieira SR, Guedes Filho O, Chiba MK, Cantarella H (2009) Spatial variability of soil chemical properties after coffee tree removal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33:1507-1514.

Vilela PA (2017) **Meta-análise da inoculação com *Lactobacillus buchneri* na ensilagem de cana-de-açúcar**. 35 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UFG, Jataí.

Watanabe AM, Bessa LPD, Martins TGM (2002) **Porque fazer análise de solo?** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Projeto Solo Planta (Folder).

Webster R (1985) Quantitative spatial analysis of soil in field. **Advances in Soil Science** 3:1-70.

Webster R (2015) Technological developments for spatial prediction of soil properties, and Danie Krige's influence on it. **Journal- South African Institute of Mining and Metallurgy** 115:165-172.

Webster R, Butler BE (1976) Soil classification and survey studies at Ginninderra. **Soil Research** 14:1-24.

Webster R, Oliver MA (2007) **Geostatistics for environmental scientists**. Hoboken: Editora Wiley-Blackwell, 333p.

Wolf FM (1986). **Meta-analysis: quantitative methods for research synthesis** Newbury Park, CA: Sage, 65p.

Yamamoto JK, Landim PMB (2013) **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de textos, 215p.

Zanão Júnior LA, Lana RMQ, Guimarães EC (2007) Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural** 37:1000-1007.

Zonta JH, Brandão ZN, Medeiros JDC, Sana RS, Sofiatti V (2014) Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi** 18:595-602.

APÊNDICE

Tabela 1A: Geologias estudadas, com a prospecção dos alcances do variograma, em metros, para o pH, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V%), argila e identificação dos autores dos respectivos artigos, usados para a meta-análise.

Geologia	Tamanho da área (ha)	Classe de solo	Latitude	Longitude	Profundidade de coleta (cm)	Autores	pH	MO	CTC	V%	Argila
Arenito	38,5	Latossolo	-22,482500	-57,839167	0-20	Anchieta, 2012	36,25	-	-	383,2	122,8
Arenito	38,5	Latossolo	-22,482500	-57,839167	20-40	Anchieta, 2012	48,12	200,3	203,4	257,1	271,3
Arenito	101	Latossolo	-21,638889	-55,558333	0-20	Gelain, 2016	361	509	195	286	431
Arenito	0,75	Latossolo	-22,333333	-51,183333	0-10	Silva, 2017	26,5	73,2	23,9	-	-
Arenito	0,75	Latossolo	-22,333333	-51,183333	10-20	Silva, 2017	26,7	49,9	33,3	-	-
Arenito	-	Latossolo	-18,283333	-46,993333	0-20	Sanchez et al., 2005	110,7	135,28	106,6	98,4	155,8
Arenito	505	Latossolo	-20,687500	-51,062500	0-25	Campos et al., 2009	1947	2128	1309	1137	1211
Arenito	0,123	Latossolo	-18,699444	-40,050000	0-20	Santos et al., 2013	8,4	-	36,6	30,2	-
Arenito	18	Latossolo	-22,877231	-46,946697	0-20	Rodrigues, 2014	137	309	236	106	176
Arenito	18	Latossolo	-22,877231	-46,946697	20-40	Rodrigues, 2014	184	328	183	139	202
Arenito	0,48	Cambissolo	-7,474722	-63,035278	0-20	Aquino et al., 2015	-	-	52,5	-	-
Arenito	0,49	Cambissolo	-7,474722	-63,035278	40-60	Aquino et al., 2015	37,6	29,1	68,17	19,8	-
Arenito	0,49	Cambissolo	-7,960556	-63,240833	0-20	Aquino et al., 2015	17,4	26,1	26,7	13,9	-
Arenito	0,49	Cambissolo	-7,960556	-63,240833	40-60	Aquino et al., 2015	28,2	27,3	29,72	34,2	-
Arenito	57,6	Latossolo	-16,171111	-47,629722	-	Zonta et al., 2014	121,2	91,58	-	168,2	-
Arenito	1465	Argissolo	-21,250000	-48,433333	0-20	Mello et al., 2006	518	1188	4380	814	3560
Arenito	1465	Argissolo	-21,250000	-48,433333	60-80	Mello et al., 2006	392	-	7225	9110	-
Arenito	8,8	Argissolo	-3,600000	-42,866667	0-20	Resende et al., 2014	153,07	182,37	101,2	169,95	87,6
Arenito	8,8	Argissolo	-3,600000	-42,866667	20-40	Resende et al., 2014	65,69	214,81	150,3	75,06	96,93
Arenito	0,75	Latossolo	-20,301389	-52,650556	0-20	Dalchiavon et al., 2011	25,8	14,1	38,8	15,1	-

Geologia	Tamanho da área (ha)	Classe de solo	Latitude	Longitude	Profundidade de coleta (cm)	Autores	pH	MO	CTC	V%	Argila
Arenito	56,1	Latossolo	-16,227819	-47,627992	0-20	Sana et al., 2014	301	-	203	210	313
Arenito	1,4	Planossolo	-29,691389	-53,800833	0-15	Reichert et al., 2008	10,48	49,3	46,2	52,2	37,1
Arenito	5	Latossolo	-13,675278	-57,891944	0-20	Dalchiavon et al., 2016	93,8	-	-	130,4	-
Arenito	3,42	Latossolo	-22,883333	-47,066667	0-20	Guedes Filho et al., 2009	77,8	116,5	80,4	65	-
Arenito	83,5	Latossolo	-22,250000	-48,766667	0-20	Leão et al., 2011	391	-	406	576	539
Arenito	102	Cambissolo	-5,649444	-37,795833	0-20	Artut et al., 2014	629	-	350	-	-
Arenito	102	Cambissolo	-5,649444	-37,795833	20-40	Artut et al., 2014	190	-	329	-	-
Arenito	100	Neossolo	-5,665556	-36,601111	0-10	Sanchez, 2010	96	-	76	125	-
Arenito	100	Neossolo	-5,665556	-36,601111	10-20	Sanchez, 2010	109	-	112	179	-
Arenito	100	Neossolo	-5,665556	-36,601111	20-30	Sanchez, 2010	153	-	900	182	-
Arenito	1	Argissolo	-9,816667	-45,333333	0-20	Branco et al., 2013	47,63	113,4	-	-	-
Arenito	1	Latossolo	-21,083333	-49,016667	0-20	Marques Jr et al., 2014	42	-	52	-	-
Arenito	140	Argissolo	-9,816667	-45,333333	0-20	Santos et al., 2011	37	52,65	25,2	107,9	-
Arenito	39	Argissolo	-21,600000	-48,483333	0-20	Pollo, 2013	56	-	-	-	194
Arenito	39	Argissolo	-21,600000	-48,483333	60-80	Pollo, 2013	16	-	-	-	38
Arenito	0,12	Latossolo	-18,699444	-40,050000	0-20	Santos et al., 2014	-	-	-	-	-
Arenito	0,4	Latossolo	-20,301389	-52,650556	0-10	Basso et al., 2011	-	48,9	-	-	-
Arenito	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	0-20	Souza et al., 2009	-	21	-	-	-
Arenito	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	20-40	Souza et al., 2009	-	22	-	-	-
Arenito	0,0196	Latossolo	-22,333333	-51,183333	0-10	Cavalcante et al., 2007	-	8	9,6	-	-
Arenito	0,0196	Latossolo	-22,333333	-51,183333	0-10	Cavalcante et al., 2007	-	12,8	11,5	-	-
Arenito	1	Argissolo	-21,083333	-49,083333	0-20	Barbieri et al., 2008	-	-	-	35	-
Arenito	2	Argissolo	-21,083333	-49,083333	20-40	Barbieri et al., 2008	-	-	-	132	-
Arenito	90	Latossolo	-23,489722	-48,412778	0-10	Vieira et al., 2011	-	600	-	-	600
Arenito	35	Latossolo	-22,603056	50,001111	0-10	Vieira et al., 2011	-	500	-	-	392,29

Geologia	Tamanho da área (ha)	Classe de solo	Latitude	Longitude	Profundidade de coleta (cm)	Autores	pH	MO	CTC	V%	Argila
Arenito	90	Latossolo	-21,250000	-48,300000	0-20	Motomiya et al., 2006	-	585	-	1384	-
Arenito	1	Latossolo	-22,416667	-51,350000	10-20	Ferreiro et al., 2016	-	54,4	61,1	-	-
Arenito	1	Latossolo	-22,416667	-51,350000	10-20	Ferreiro et al., 2016	-	55	62	-	-
Arenito	200	Argissolo	-21,099167	-49,017222	0-20	Sanches et al., 2009	-	624	378	159	483
Arenito	-	Argissolo	-22,700000	-47,600000	0-20	Gonçalves et al., 2001	-	-	-	-	25
Arenito	83,5	Latossolo	-22,250000	-48,766667	0-20	Leão et al., 2010	-	-	-	-	310
Arenito	83,5	Latossolo	-22,250000	-48,766667	60-80	Leão et al., 2010	-	-	-	-	371
Arenito	0,5	Neossolo	-3,792778	-39,270278	0-15	Araujo et al., 2014	-	-	-	-	402,5
Arenito	10,5	Cambissolo	-7,506667	-63,082222	0-20	Campos et al., 2014	-	-	-	-	6,9
Arenito	10,5	Cambissolo	-7,506667	-63,082222	40-60	Campos et al., 2014	-	-	-	-	32,5
Arenito	3,42	Latossolo	-22,883333	-47,066667	0-10	Siqueira et al., 2009	-	-	-	-	110
Arenito	2	Argissolo	-6,965538	-35,770458	0-10	Lima et al., 2015	-	-	-	-	124,53
Arenito	2	Argissolo	-6,965538	-35,770458	10-20	Lima et al., 2015	-	-	-	-	125,57
Arenito	0,75	Latossolo	-20,366667	-51,366667	0-10	Lovera, 2015	35,5	17,1	-	-	-
Arenito	0,75	Latossolo	-20,366667	-51,366667	10-20	Lovera, 2015	21	21	-	20	73,8
Arenito	158	Latossolo	-21,283333	-48,166667	0-50	Montanari et al., 2008	329	-	259	267	-
Arenito	172	Argissolo	-20,933333	-48,933333	0-50	Montanari et al., 2008	638	-	326	692	-
Arenito	0,00102	Latossolo	-18,716111	-39,858889	0-20	Santos, 2015	-	-	-	-	21,3
Arenito	18,7	Latossolo	-20,338889	-51,019444	0-25	Soria, 2014	4700	6000	3700	4800	13100
Arenito	18,7	Latossolo	-20,338889	-51,019444	25-50	Soria, 2014	5700	5200	7000	8900	10000
Arenito	1,24	Latossolo	-18,716111	-39,855833	0-20	Santos et al., 2017	-	-	-	-	21,3
Arenito	530	Latossolo	-20,586111	-51,183889	0-25	Campos et al., 2010	2013	1885	2787	2389	2968
Arenito	530	Latossolo	-20,586111	-51,183889	80-100	Campos et al., 2010	1760	2408	2572	1637	2410
Arenito	57,6	Latossolo	-16,171111	-47,629722	-	Zonta et al., 2014	121,2	91,58	-	168,2	-
Arenito	61	Plintossolo	-20,242778	-56,363889	0-10	Montanari et al., 2015	-	-	-	-	389

Geologia	Tamanho da área (ha)	Classe de solo	Latitude	Longitude	Profundidade de coleta (cm)	Autores	pH	MO	CTC	V%	Argila
Arenito	3	Latossolo	-20,348889	-51,405833	0-10	Dalchiavon et al., 2012	62	50,1	-	62	-
Arenito	3	Latossolo	-20,348889	-51,405833	10-20	Dalchiavon et al., 2012	60	73,2	-	56,8	-
Arenito	21,88	Latossolo	-23,916667	-48,36666	0-30	Alvares et al., 2011	15,82	4,95	6,56	-	16,9
Arenito	21,88	Latossolo	-23,916667	-48,36666	30-60	Alvares et al., 2011	11,38	12,72	11,38	-	10,92
Arenito	2,5	Latossolo	-21,477778	-48,027222	-	Camargo et al., 2015	-	-	-	-	1697
Arenito	-	Argissolo	-21,467222	-49,221389	0-20	Roque et al., 2005	29,82	21,97	-	58,87	-
Arenito	-	Argissolo	-21,467222	-49,221389	60-80	Roque et al., 2005	20,96	63,33	-	20,31	-
Basalto	38,5	Latossolo	-17,768056	-49,472222	0-20	Anchieta, 2012	30,81	73,89	4377	5318	112,8
Basalto	38,5	Latossolo	-17,768056	-49,472222	20-40	Anchieta, 2012	-	577,3	2199,59	2557,53	-
Basalto	38,5	Latossolo	-24,920833	-50,295278	0-20	Anchieta, 2012	150,9	376,1	229,1	2132,43	1425
Basalto	38,5	Latossolo	-24,920833	-50,295278	20-40	Anchieta, 2012	164,9	-	108,7	120,7	190
Basalto	94	Latossolo	-21,283333	-48,133333	0-20	Montanari et al., 2005	744	426	747	785	-
Basalto	94	Latossolo	-21,283333	-48,133333	60-80	Montanari et al., 2005	558	141	660	893	-
Basalto	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	0-20	Souza et al., 2006	25	77	16	25	36
Basalto	0,85	Latossolo	-21,203056	-47,878069	0-20	Rodrigues, 2014	46	-	66	128	80
Basalto	0,85	Latossolo	-21,203056	-47,878069	20-40	Rodrigues, 2014	64	69	55	47	90
Basalto	36	Latossolo	-21,333333	-48,150000	0-20	Souza et al., 2014	-	-	-	-	255
Basalto	48	Latossolo	-25,535556	-51,638056	0-10	Caon, 2012	479	-	-	556	-
Basalto	48	Latossolo	-25,535556	-51,638056	0-20	Caon, 2012	498	-	-	506	-
Basalto	2597	Latossolo	-21,183333	-48,166667	0-20	Mello et al., 2006	404	3478	6562	385	10000
Basalto	2597	Latossolo	-21,183333	-48,166667	60-80	Mello et al., 2006	5020	3420	-	4263	11330
Basalto	42	Latossolo	-21,316667	-48,216667	0-20	Souza et al., 2004	345	-	-	235	-
Basalto	42	Latossolo	-21,316667	-48,216667	60-80	Souza et al., 2004	320	-	-	230	-
Basalto	1,85	Latossolo	-21,176667	-47,820833	0-20	Grego et al., 2010	50	80	-	89,2	-

Geologia	Tamanho da área (ha)	Classe de solo	Latitude	Longitude	Profundidade de coleta (cm)	Autores	pH	MO	CTC	V%	Argila
Basalto	90	Latossolo	-18,466667	-52,683333	0-20	Motomiya et al., 2011	127,65	-	199,51	74,32	-
Basalto	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	0-20	Souza et al., 2006	48,1	77	56,2	47,5	-
Basalto	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	20-40	Souza et al., 2006	-	60	-	-	-
Basalto	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	60-80	Souza et al., 2006	59,7	-	26,3	42,9	-
Basalto	1,92	Latossolo	-22,250000	-47,066667	0-20	Chiba et al., 2010	-	62,5	65,79	-	-
Basalto	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	0-20	Souza et al., 2009	-	77	-	-	-
Basalto	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	20-40	Souza et al., 2009	-	60	-	-	-
Basalto	90	Latossolo	-20,931944	-54,961389	0-20	Bottega et al., 2013	-	-	108	-	910
Basalto	93	Latossolo	-21,283333	-48,133333	0-20	Souza et al., 2003	-	396	-	-	561
Basalto	42	Latossolo	-21,316667	-48,216667	0-20	MarquesJr et al., 2008	-	665	46	-	-
Basalto	42	Latossolo	-21,316667	-48,216667	60-80	MarquesJr et al., 2008	-	-	44	-	-
Basalto	0,36	Latossolo	-21,350000	-48,183333	-	Teixeira et al., 2012	-	46,72	-	-	-
Basalto	42	Latossolo	-21,316667	-48,216667	0-20	Souza et al., 2004	-	-	-	-	230,1
Basalto	42	Latossolo	-21,316667	-48,216667	60-80	Souza et al., 2004	-	-	-	-	215,2
Basalto	150	Latossolo	-21,466667	-48,016667	0-25	Siqueira et al., 2014	-	-	-	605,5	814
Basalto	150	Latossolo	-21,466667	-48,016667	25-50	Siqueira et al., 2014	-	-	-	373	920
Basalto	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	0-20	Souza et al., 2009	-	-	-	-	35
Basalto	1	Latossolo	-21,316667	-48,216667	20-40	Souza et al., 2009	-	-	-	-	45
Basalto	2	Latossolo	-21,316667	-48,216667	40-60	Souza et al., 2009	-	-	-	-	19
Basalto	70	Latossolo	-20,913767	-54,966750	0-20	Machado et al., 2015	-	431	905	363	-
Arenito-basalto	90	Latossolo	-21,250000	-48,300000	0-20	Corá et al., 2004	783	126	522	799	299
Arenito-basalto	90	Latossolo	-21,250000	-48,300000	60-80	Corá et al., 2004	40,7	53,1	155	256	280,8
Arenito-basalto	505	Latossolo	-20,687500	-51,062500	0-25	Campos et al., 2009	1947	2128	1309	1137	1211
Arenito-basalto	42	Latossolo	-21,316667	-48,216667	0-20	Souza et al., 2007	345	-	-	235	-
Arenito-basalto	380	Latossolo	-21,466667	-48,016667	0-25	Siqueira et al., 2015	255,6	1410,8	1080,1	437,3	930

Geologia	Tamanho da área (ha)	Classe de solo	Latitude	Longitude	Profundidade de coleta (cm)	Autores	pH	MO	CTC	V%	Argila
Arenito-basalto	380	Latossolo	-21,466667	-48,016667	25-50	Siqueira et al., 2015	381,6	1267,2	818,6	469,2	746,7
Arenito-basalto	870	Latossolo	-21,477778	-48,027222	-	Teixeira et al., 2018	-	-	-	-	2053,4
Arenito-basalto	380	Latossolo	-21,496667	-48,037778	0-25	Peluco et al., 2015	-	-	-	-	1284
Arenito-basalto	770	Latossolo	-21,383333	-48,183333	0-20	Siqueira, 2010	1260	1500	1700	-	1500
Arenito-basalto	770	Latossolo	-21,383333	-48,183333	0-40	Siqueira, 2010	1200	1100	1200	-	850
Arenito-basalto	530,67	Latossolo	-20,687500	-51,062500	0-25	Campos et al., 2007	2013	1885	2787	2398	-
Arenito-basalto	530,67	Latossolo	-20,687500	-51,062500	80-100	Campos et al., 2007	1760	2408	2572	1637	-
Arenito-basalto	770	Latossolo	-21,383333	-48,183333	0-20	Siqueira et al., 2016	1260	1500	1700	-	1500
Arenito-basalto	770	Latossolo	-21,383333	-48,183333	20-40	Siqueira et al., 2016	1200	1100	1200	-	850
Arenito-basalto	110	Latossolo	-21,400000	-48,150000	0-20	Matias et al., 2014	480	1692	972	456	930
Arenito-basalto	110	Latossolo	-21,400000	-48,150000	60-80	Matias et al., 2014	891	1011	1240	621	2381
Arenito-basalto	380	Latossolo	-21,496667	-48,037778	0-80	Peluco et al., 2013	-	435	844	-	1284
Arenito-basalto	530,67	Latossolo	-20,687500	-51,062500	0-25	Campos et al., 2007	-	-	-	-	2968
Arenito-basalto	530,67	Latossolo	-20,687500	-51,062500	25-50	Campos et al., 2007	-	-	-	-	2901
Arenito-basalto	530,67	Latossolo	-20,687500	-51,062500	80-100	Campos et al., 2007	-	-	-	-	2410
Granito	0,49	Latossolo	-7,911667	-61,530556	0-20	Aquino et al., 2014	60,5	16,91	24,3	30,3	15,7
Granito	0,49	Latossolo	-7,911667	-61,530556	40-60	Aquino et al., 2014	58,12	39	27,7	28,5	-
Granito	0,49	Latossolo	-7,912361	-61,529083	0-20	Aquino et al., 2014	38,7	63,5	73	35,7	30
Granito	0,49	Latossolo	-7,912361	-61,529083	40-60	Aquino et al., 2014	50,16	92	78,8	21,2	46,1
Granito	0,175	Latossolo	-11,729167	-49,068611	0-10	Negreiros Neto et al., 2014	20,5	21,3	30,6	-	41,1
Granito	0,44	Cambissolo	-21,754444	-41,324444	0-10	Berner et al., 2007	40	-	45	-	-
Granito	1	Latossolo	-20,754808	-41,285794	0-20	Oliveira, 2017	-	-	50,4	50,3	-
Granito	1	Latossolo	-20,754808	-41,285794	20-40	Oliveira, 2017	42	-	14,7	19,4	19,8
Granito	0,077	Latossolo	-16,485556	-49,308889	0-5	Carvalho et al., 2002	-	-	-	-	17,3
Granito	0,078	Latossolo	-16,485556	-49,308889	0-5	Carvalho et al., 2002	14	-	-	-	14,7

Geologia	Tamanho da área (ha)	Classe de solo	Latitude	Longitude	Profundidade de coleta (cm)	Autores	pH	MO	CTC	V%	Argila
Granito	0,49	Argissolo	-7,917250	-61,529222	0-20	Oliveira et al., 2015	32,7	33,1	-	-	19
Granito	0,49	Argissolo	-7,912361	-61,529083	0-20	Oliveira et al., 2015	38,7	63,5	-	-	21
Granito	0,49	Argissolo	-7,911667	-61,530556	0-20	Oliveira et al., 2015	60,5	16,91	-	-	15,7
Granito	0,49	Argissolo	-7,917250	-61,529222	40-60	Oliveira et al., 2015	24,2	40	-	-	2805
Granito	0,49	Argissolo	-7,912361	-61,529083	40-60	Oliveira et al., 2015	50,16	92	-	-	-
Granito	0,49	Argissolo	-7,911667	-61,530556	40-60	Oliveira et al., 2015	58,12	39	-	-	6,9
Granito	22	Argissolo	-16,366667	-48,700000	-	Alves, et, al, (2014)	-	138,3	-	1390,8 4	33,27
Granito	0,49	Cambissolo	-7,828333	-63,251389	0-10	Oliveira et al., 2013	-	-	-	-	17,3
Granito	0,49	Cambissolo	-7,910556	-63,240833	0-10	Oliveira et al., 2013	-	-	-	-	14,7
Gnaisse	2	Cambissolo	-21,674722	-45,919722	0-20	Souza, 2006	55	33	-	33	-
Gnaisse	0,09	Latossolo	-22,873889	-47,078333	0-25	Vieira, 1997	20	-	20	20	15
Gnaisse	1	Latossolo	-22,873889	-47,078333	0-20	Vieria et al., 2009	37	49	-	-	-
Gnaisse	1	Latossolo	-22,873889	-47,078333	0-40	Vieria et al., 2009	-	45	-	-	-
Gnaisse	4,2	Latossolo	-21,169722	-44,976944	0-20	Silva et al., 2007	72,91	-	98,45	-	-
Gnaisse	20,2	Latossolo	-20,709167	-42,571389	0-20	Nascimento, 2015	585	289,5	253,7	173,6	201
Gnaisse	22	Latossolo	-21,432778	-45,414167	0-20	Carvalho, 2016	150	120	85,9	77,4	-
Gnaisse	32	Latossolo	-18,283333	-46,983333	0-20	Silvero et al., 2018	-	-	-	-	233,18
Gnaisse	18	Neossolo	-22,883333	-46,933333	0-20	Miguel, 2010	-	-	-	-	236,26
Gnaisse	10,58	Latossolo	-21,435556	-45,414722	0-20	Carvalho et al., 2013	-	-	-	-	39,18
Gnaisse	10,59	Latossolo	-21,435556	-45,414722	20-40	Carvalho et al., 2013	-	-	-	-	265,75
Gnaisse	2,84	Argissolo	-22,733333	-44,666667	0-10	Ceddiai et al., 2009	-	-	-	-	87,7
Gnaisse	2,84	Argissolo	-22,733333	-44,666667	10-20	Ceddiai et al., 2009	-	-	-	-	77,7
Gnaisse	2,84	Argissolo	-22,733333	-44,666667	20-30	Ceddiai et al., 2009	-	-	-	-	92
Gnaisse	31,7	Argissolo	-18,283333	-46,983333	0-20	Sanchez et al., 2013	-	-	-	295,2	233,2
Mármore	0,6	Latossolo	-20,754842	-41,286461	0-10	Burak et al., 2012	39,9	-	-	-	-

Geologia	Tamanho da área (ha)	Classe de solo	Latitude	Longitude	Profundidade de coleta (cm)	Autores	pH	MO	CTC	V%	Argila
Mármore	0,6	Latossolo	-20,754842	-41,286461	0-10	Burak et al., 2012	15,7	-	-	-	-