

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS - FCAV
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS COM APTIDÕES PARA O CULTIVO
DE FEIJÃO-CAUPÍ EM ITAITUBA/PA**

Naum Pestana Collins

Engenheiro Ambiental

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS - FCAV
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS COM APTIDÕES PARA O CULTIVO
DE FEIJÃO-CAUPÍ EM ITAITUBA/PA**

Naum Pestana Collins

**Orientador: Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso
Coorientador: Prof. Dr. Daniel De Bortoli Teixeira**

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

2020

C712d Collins, Naum Pestana
Definição de áreas com aptidões para o cultivo de
feijão-caupí em Itaituba/PA / Naum Pestana Collins. -- , 2020
60 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,
Orientador: Alan Rodrigo Panosso
Coorientador: Daniel De Bortoli Teixeira

1. Fertilidade do solo. 2. Acidez do solo. 3. Análise
multivariada. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DEFINIÇÃO DE ÁREAS COM APTIDÕES PARA O CULTIVO DE FEIJÃO-CAUPI EM ITAITUBA/PA

AUTOR: NAUM PESTANA COLLINS

ORIENTADOR: ALAN RODRIGO PANOSSO

COORIENTADOR: DANIEL DE BORTOLI TEIXEIRA

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

Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO
FCAV / UNESP/Jaboticabal (SP)

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

Dr. DIOGO MAZZA BARBIERI
Athenas Consultoria Agrícola e Laboratório / Jaboticabal/SP

Jaboticabal, 24 de março de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

NAUM PESTANA COLLINS – Filho de José de Ribamar Reis Collins e Teodora Pestana Collins, nasceu em São Luís – MA em 27 de outubro de 1984. Em agosto de 2008 ingressou no curso de Engenharia Ambiental na Universidade CEUMA (MA). Entre 2012 e 2014 especializou-se em Engenharia de Segurança do Trabalho na mesma universidade. Foi estagiário da Companhia Vale (2012 – 2013) fiscal da área de saneamento pela empresa RBM Engenharia (2013 - 2014) e Gerente de saneamento na EBES Engenharia LTDA (2014-2016). Em 2015 foi aprovado no concurso público para a para o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) e nomeado em 05 de abril de 2016 para o Câmpus Itaituba. Coursou a especialização em Docência para a Educação Profissional, Científica e Tecnológica no IFPA – campus Itaituba. Em fevereiro de 2018 ingressou no mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus Jaboticabal-SP.

A educação não transforma o mundo.
A educação muda as pessoas.
As pessoas mudam o mundo.

Paulo Freire

DEDICO

A minha mãe pelo amor incondicional que me oferece, por acreditar, torcer e sempre está disponível para me ouvir e consolar nos momentos difíceis.

As minhas irmãs que tanto amo, que sempre estão do meu lado e foram as grandes estimuladoras para que eu buscasse dentro de mim forças para conquistar meus objetivos.

Ao meu querido pai que me ensinou que o carinho, a compaixão, a empatia e o perdão são fundamentais para o sucesso em qualquer lugar.

Em especial a Deijovan Bezerra Cruz, meu companheiro nesta jornada da vida que ao longo desses 17 anos acredita, apoia e encara todas as dificuldades ao meu lado.

Sou eternamente grato a todos que fazem e fizeram parte da minha jornada!

Amo muito todos vocês!!!!!!!

AGRADECIMENTOS

Agradeço prioritariamente a Deus, pelo dom da vida e pelas graças alcançadas.

Àquela que, nunca mediu esforços para que eu me sentisse bem. Que tem força interior imensurável. Fazendo me sentir forte e capaz de ir cada vez mais longe. A ela que tenho o prazer de chamar de mãe.

Ao meu pai, que mesmo distante sempre esteve torcendo por mim e presente em meu coração e que é, também, responsável pelo que sou hoje.

Às minhas irmãs Elisabeth Collins, Margareth Collins e Maria Gomes pelo companheirismo e dedicação.

Ao grande amor da minha vida, Deijovan Bezerra Cruz, que foi o primeiro a acreditar e enxergar em mim qualidades que nem mesmo eu conseguia observar. Saiba que você é o responsável por todas as coisas boas que aconteceram na minha vida. Sempre serei grato!

Aos meus companheiros de jornada e queridos amigos, Ellen, José, Kathleen Fernandes, Deise, Karollyne e Priscila.

Ao Dr. Diego Silva Siqueira, por acreditar e me fazer acreditar que tudo daria certo.

Aos membros da minha banca de qualificação, Prof. Dr. Marcílio Filho, Prof. Dr. Gener Pereira e Prof. Dr. Daniel Teixeira pelas contribuições significativas para a melhoria do presente trabalho.

A professora Dr. Mara Cristina Pessoa da Cruz, ser humano fantástico que tive o prazer de conhecer e conviver durante alguns dias. Sempre será uma grande referência.

Ao meu coorientador Daniel Teixeira, ao meu orientador Professor Dr. Alan Panosso, ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciências do Solo) da FCAV/UNESP e o IFPA pela oportunidade e todo apoio Realização deste trabalho para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Feijão-caupi e a Importância da Agricultura Familiar	3
2.2 Condições de Desenvolvimento do Feijão-caupi	5
2.3 Qualidade e atributos do Solo	6
2.4 Métodos Estatísticos Multivariados	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Localização e Caracterização da Área.....	14
3.2 Planejamento Amostral	16
3.3 Análise Química	17
3.4 Avaliação dos Atributos Físicos	18
3.5 Biometria	18
3.6 Extração dos Óxidos de Ferro Pedogênicos	19
3.7 Suscetibilidade magnética (SM).....	19
3.8 Análises de Dados	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5 CONCLUSÃO	38
6 LITERATURA CONSULTADA.....	39

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM APTIDÕES PARA O CULTIVO DE FEIJÃO-CAUPI

RESUMO – O sucesso da produção agrícola depende de vários fatores e muitos desses são influenciados pela forma diferenciada da paisagem, que mesmo com pequenas diferenças podem influenciar no processo de intemperização e por conseguinte na variação dos atributos do solo. O objetivo do trabalho foi definir áreas com diferentes aptidões para o cultivo do feijão-caupi na cidade de Itaituba/PA em diferentes posições na paisagem. O solo foi coletado na profundidade 0-0,20 m e foram determinados atributos químicos, físicos, teores de ferro cristalino e não cristalino, susceptibilidade magnética (SM), a variação da SM em dupla frequência (XFD) e variáveis biométricas do feijoeiro (número de ramos, número de folhas e comprimento dos ramos). A análise dos dados ocorreu por meio de análise exploratória multivariada (análises de agrupamento e componentes principais), análise de variância e subsequente teste de Tukey para comparação de médias ($p < 0,05$). A análise de agrupamento indicou, a formação de 3 grupos que apresentaram dissimilaridades entre si (distância euclidiana), sendo a posição da paisagem a possível causa da diferença entre os grupos em função da variação da inclinação e altitude. A análise de componente principal demonstrou que as áreas com maior afinidade para a produção da cultura foram as que apresentaram maior correlação com os atributos pH, V e P. Os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) explicaram 54,25% da variabilidade total contida no conjunto das variáveis. O CP1 foi caracterizado pelos atributos químicos que representam a fertilidade do solo enquanto CP2 foi caracterizado pelas variáveis mineralógicas ligadas ao processo de formação do solo. As variáveis areia total, Número de ramos, Feo e argila não apresentaram diferença significativa entre os grupos oriundos da análise de agrupamento e de componentes principais. As áreas que apresentaram maior aptidão para o cultivo de feijão-caupi estão indicadas pelo grupo II ao lado direito do gráfico biplot que representou áreas com menores altitudes.

Palavras-chave: acidez do solo, agricultura familiar, análise de agrupamento, componentes principais, qualidade do solo.

IDENTIFICATION OF AREAS WITH FITNESS FOR THE GROWING OF BEAN-CAUPÍ

ABSTRACT – The success of agricultural production depends on several factors and many of these are influenced by the different shape of the landscape, which even with small differences can influence the weathering process and therefore the variation of soil attributes. The objective of the work was to define areas with different aptitudes for the cultivation of cowpea in the city of Itaituba / PA in different positions in the landscape. The soil was collected at a depth of 0-0.20 m and chemical, physical attributes, crystalline and non-crystalline iron content, magnetic susceptibility (SM), the variation of SM in double frequency (XFD) and biometric variables of the bean (number number of leaves, number of leaves and length of branches). Data analysis took place through multivariate exploratory analysis (cluster analysis and principal components), analysis of variance and subsequent Tukey test for comparison of means ($p < 0.05$). The cluster analysis indicated the formation of 3 groups that showed dissimilarities with each other (Euclidean distance), the position of the landscape being the possible cause of the difference between the groups according to the variation of the slope and altitude. The principal component analysis showed that the areas with the highest affinity for crop production were those that showed the highest correlation with the attributes pH, V and P. The first two principal components (CP1 and CP2) captured 54.25% of the total variability contained in the set of variables. CP1 was characterized by the chemical attributes that represent soil fertility while CP2 was characterized by mineralogical variables linked to the process of soil formation. The analysis of variance and Tukey's test ($p < 0.05$) showed that the variables total sand, Number of branches, Feo and clay did not show significant difference between the groups from the analysis of cluster and main components. The areas that showed greater aptitude for the cultivation of cowpea are indicated by group II on the right side of the biplot graph that represented areas with lower altitudes.

Keywords: soil acidity, family farming, cluster analysis, principal components, soil quality.

1 INTRODUÇÃO

O feijão tem um papel importante na dieta alimentar da população e na geração de receitas dos pequenos produtores que utilizam força de trabalho familiar. A produção desse grão é bastante difundida em todo o território nacional e distribuída em três safras ao longo do ano, sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial, ainda destacando-se como um grande consumidor (Conab, 2018).

No entanto o sucesso da produção é dependente de diversos fatores que se inter-relacionam entre a interface solo-planta e fatores externos como ar, luz, temperatura e outros. O conhecimento dos atributos físicos, químicos, mineralógicos e microbiológicos do solo comumente são tidos como fatores determinantes para o aumento da produção de diversas culturas. (Lopes, 1995).

O solo pode ser considerado um sistema extremamente heterogêneo e que apresenta interações entre seus atributos. Souza et al. (2006) e Corrêa et al. (2009) afirmaram que os atributos do solo variam em diferentes níveis, estando relacionada a fatores como: clima, relevo, ação de organismos, tempo, variação do material de origem nos processos genéticos e/ou efeitos de técnicas de manejo.

Em relação a esses fatores manter a qualidade do solo e sua capacidade de funcionamento dentro dos limites de um ambiente manejado para sustentar a produtividade das plantas e ter continuidade do fornecimento de alimentos para animais e homens têm sido um grande desafio para os produtores. Especialmente os produtores rurais, que carecem de recursos, investimentos e apoio técnico especializado principalmente em locais de difícil acesso, como é o caso de muitos municípios da região amazônica.

Contudo, é de grande relevância caracterizar os atributos do solo que possam indicar sua qualidade, fertilidade e a aptidão para produção. Dentre outros fatores que podem interferir nos atributos do solo, têm-se a intensificação do seu uso e a perda de cobertura vegetal natural que pode acelerar o processo de degradação e alteração de sua qualidade. Neste sentido a degradação das propriedades químicas, físicas, biológicas do solo acarreta a redução de sua fertilidade (Freitas, 2014). Associado a isso, têm-se a intensificação do intemperismo, principalmente em zonas tropicais, provocado pelas altas temperaturas e altos índices pluviométricos (Lopes, 1995).

Os estudos para a avaliação da qualidade e caracterização do solo vêm aumentando nos últimos anos. Assim a investigação para identificar áreas com diferentes características e propriedades, tornou-se de grande relevância para a produção de alimentos. Estes estudos visam, principalmente, identificar áreas com maior potencial produtivo e o direcionamento do manejo adequado do solo conforme as suas necessidades específicas. Por esse motivo a compreensão da diversidade e da relação dos atributos do solo tornou-se foco de muitos pesquisadores (Sanchez et al., 2005; Siqueira et al., 2010).

Nesse sentido a busca pela caracterização do solo e a identificação de zonas de manejo específico dentro de áreas de cultivo podem ser realizadas por diferentes técnicas que vão desde métodos químicos e físicos convencionais (Embrapa, 2011; Raji et al., 2001), a quantificação de Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (Salvador e Antuniassi, 2011; Veiverberg, 2016), até o uso de técnicas indiretas como a susceptibilidade magnética (Barrios et al., 2017; Grimley e Vepraskas, 2000; Siqueira et al., 2016) e Espectroscopia de Reflectância Difusa (Carmo et al., 2016; Resende et al., 2014) entre outras.

O levantamento dos atributos do solo e a compreensão das suas relações auxiliam no melhor entendimento sobre a possibilidade de produção em determinada área, possibilitando definir locais com maior aptidão para o cultivo de uma cultura, assim como, identificar necessidades específicas para a correção do solo de uma determinada área. O objetivo desse trabalho foi identificar áreas com diferentes aptidões para o cultivo do feijão-caupi na cidade de Itaituba/PA em diferentes posições na paisagem por meio da análise multivariada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feijão-caupi e a Importância da Agricultura Familiar

O feijão é uma das principais culturas produzidas no Brasil e no mundo. Sua importância extrapola o aspecto econômico, dada sua relevância enquanto fator de segurança alimentar e nutricional e sua importância cultural na culinária de diversos países e culturas. O feijão é, historicamente, um dos principais alimentos consumidos no Brasil e no mundo, sobretudo entre os estratos sociais menos favorecidos (Posse et al., 2010)

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.)) tem uma grande importância, tanto como alimento quanto como gerador de emprego e renda. É rico em proteína, minerais e fibras e constitui um componente alimentar básico das populações rurais e urbanas das regiões Norte e Nordeste (Freire Filho et al., 2011).

Uma cultura de origem africana, o feijão-caupi, segundo Freire Filho (1988) foi introduzido no continente americano ainda no século XVI, simultaneamente por espanhóis e portugueses. Provavelmente, iniciou-se nas colônias espanholas e em seguida no Brasil, possivelmente pelo estado da Bahia. A partir da Bahia, acredita-se que o caupi, acompanhando a colonização, difundiu-se por todas as regiões do País. Sendo assim, tem seu cultivo concentrado nas regiões Nordeste e Norte, que possuem climas tropicais, aos quais, por sua própria origem, é bem adaptado.

A produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste e Norte e está se expandindo para a região Centro-Oeste. Nessas regiões, a produção tradicionalmente concentra-se nas áreas semiáridas, onde outras culturas leguminosas anuais, em razão da irregularidade das chuvas e das altas temperaturas, não se desenvolvem satisfatoriamente. A produção de feijão-caupi nas regiões Nordeste e Norte é feita por empresários e agricultores familiares que ainda utilizam práticas tradicionais (Freire Filho et al., 2011) e ainda emprega milhares de pessoas em todo o território nacional. (Posse et al., 2010).

No Pará, os plantios são realizados no regime de sequeiro e em sistema convencional. A safra de 2017 apresentou uma considerável redução no cultivo de feijão comum, que foi compensada, com sobras, pelo feijão-caupi. A mesorregião do

sudoeste paraense responde pelo cultivo de 3.545 ha, correspondendo a 58,1% da área cultivada no estado. Os demais cultivos estão distribuídos nas mesorregiões do baixo Amazonas, sudeste paraense e metropolitana de Belém, principalmente nos municípios de Castanhal e Bujaru (Conab, 2018).

No norte e nordeste o cultivo do feijão é predominantemente por agricultores familiares em zonas rurais. Para Silva (2015) o espaço rural concentra grande parte dos recursos naturais essenciais para a manutenção da vida humana, cuja definição é necessariamente territorial, tais como terra, água e biodiversidade. A interação entre sociedade e esses recursos da natureza ocorre de maneira específica a cada localidade, de acordo com a rede de atores locais (públicos e privados) que possuem diferentes formas de acesso e direitos de propriedade a tais recursos. Assim, a dinâmica territorial da agricultura familiar passa a ter uma importância fundamental na manutenção e no aproveitamento desses recursos.

A agricultura familiar tem sido vista com a noção de multifuncionalidade dentro dos debates de desenvolvimento territorial (Silva, 2015). Portanto, mais que focar na atividade agrícola, compreendida na maioria das vezes apenas como setor econômico, deve-se privilegiar a família de agricultores, em suas complexas relações com a natureza e a sociedade que define as formas intrínsecas de produzir e de convivência. Esse caráter multifuncional é particularmente expressivo nesse setor pela importância considerável entre a produção agrícola, a sociedade e o meio ambiente (Carneiro e Maluf, 2003).

Muitas são as funções da agricultura familiar considerando os conceitos de multifuncionalidade. Cazella et al. (2009) destacaram dentre outras funções da agricultura familiar, as seguintes funções: a) reprodução socioeconômica das famílias rurais; b) promoção da segurança alimentar das próprias famílias rurais e da sociedade; c) manutenção do tecido social e cultural e d) preservação dos recursos naturais e da paisagem rural.

Neste contexto observa-se uma perspectiva de valorização dos princípios de sustentabilidade, atendendo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos em 2015 pela Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável onde foram estipulados 17 Objetivos e 169 metas (ONU, 2015).

Entre os ODS existem temas diversificados, como a segurança alimentar e agricultura, erradicação da pobreza, saúde, educação, água e saneamento, energia, crescimento econômico sustentável, infraestrutura, redução das desigualdades, cidades sustentáveis, padrões sustentáveis de consumo e de produção, mudança do clima, sociedades pacíficas, justas e inclusivas e meios de implementação (ONU, 2015). Muitos destes corroboram com valorização da agricultura familiar e o incentivo à produção de alimento de forma sustentável.

2.2 Condições de Desenvolvimento do Feijão-caupi

O Feijão-caupi pode ser cultivado em quase todos os tipos de solos. De modo geral, desenvolve-se em solos com regular teor de matéria orgânica, soltos, leves e profundos, arejados e dotados de boa fertilidade. Quando o teor de areia aumenta nos solos, a terra fica mais solta, proporcionando maior arejamento ao sistema radicular, a planta se desenvolve melhor e a sua produtividade é aumentada (Oliveira e Carvalho, 1988).

Para Posse et al. (2010) é importante à manutenção dos teores dos nutrientes nas faixas de teores médio e alto. Promovendo condições adequadas a disponibilidade de nutrientes para as plantas e possibilitando produtividades satisfatórias, caso não ocorra outro fator limitante. Dessa forma verifica-se na tabela 01 a interpretação de resultados de análise de solo proposta por Raij et al. (1997).

Tabela 01: Interpretação de resultados de análise de solo

Teor	P (resina)	K	Mg	Ca	Fe	pH em CaCl ₂	V
	mg dm ⁻³	-----mmolc dm ⁻³ -----			mg dm ⁻³	-	%
Muito Baixo	0-6	0-0,7	-	-	-	<4,4	0-25
Baixo	7-15	0,8-1,5	0-4	0-3	0-0,20	4,4-5,0	26-50
Médio	16-40	1,5-3,0	5-8	4-7	0,21-0,60	5,1-5,5	51-70
Alto	40-80	3,0-6,0	>8	>7	>0,60	5,6-6,0	71-90
Muito Alto	> 80	>6,0	-	-	-	>6,0	>90

Fonte: adaptado de Raij et al. (1997).

O feijoeiro é uma cultura que responde bem a adubação química, obedecendo sempre às quantidades recomendadas de acordo com a análise de solo. Apesar de ser uma cultura bastante eficiente em solos de baixa fertilidade natural, o feijão-caupi é uma cultura que necessita de Ca e Mg, e pH próximo da neutralidade (Oliveira Júnior et al., 2002).

Em relação à acidez Silva et al. (2010) reafirma a importância de monitorar o nível de acidez do solo, a fim de se manter o solo com a saturação por bases próxima do ideal, ou seja, pH em CaCl₂ próximo de 5,5 e V superior a 50.

2.3 Qualidade e atributos do Solo

A existência da variedade e da riqueza dos recursos naturais existentes no Brasil já não são novidades. Toda esta riqueza está distribuída em seus diversos biomas e estão presentes no solo, no ar e na água. Certamente o solo é uma dessas riquezas naturais de extrema importância. A variabilidade de seus atributos químicos, físicos e mineralógicos é alta, e dependente dos processos de formação e as formas de usos e manejos (Araújo et al., 2007).

Assim como o ar ou a água, a qualidade do solo tem um efeito profundo sobre a saúde e produtividade de um determinado ecossistema. Entretanto, diferentemente do ar ou da água que possuem padrões de qualidade e que podem ser definidos por seus níveis de contaminação e seus efeitos na saúde humana e no ecossistema, a qualidade do solo não possui um conceito simples. A qualidade do solo não está apenas relacionada ao seu nível de contaminação, demonstrando claramente que não é um conceito direto, e sua significação encontrará suas aplicações numa ampla variedade de áreas de estudos (Hinge et al., 2019).

Dessa forma, encontram-se diversos conceitos acerca do tema, no entanto uma definição sobre a qualidade do solo mais difundida é dada por Doran e Parkin (1994) que a definem como “a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”.

A capacidade de identificar propriedades básicas do solo que servem como indicadores de qualidade do solo são complicados por seus muitos fatores físicos, químicos e biológicos envolvidos e por suas variadas interações no tempo, espaço e intensidade. No entanto, um ponto de partida é identificar uma lista básica de propriedades do solo mensuráveis que definam os principais processos que funcionam no solo e garantam que as medições realizadas reflitam as condições que existem no campo (Doran e Parkin, 1994).

Uma forma de avaliação do processo de alteração da qualidade do solo tem ocorrido por meio do processo de comparação dos seus atributos com um tipo como referência, com mínima interferência humana (Silva et al., 2015b). Pois sabe-se que a forma de manejo e uso do solo pode influenciar nas características e valores médios dos atributos químicos e físicos (Carneiro et al., 2009; Gonçalo Filho, 2015), biológicos (Brookes, 1995; Carneiro et al., 2009; Leite et al., 2010) e mineralógicos (Matias et al., 2013; Siqueira et al., 2014).

A forma diferenciada da paisagem também exerce influência nas características da qualidade e quantidade dos atributos do solo. Por isso Souza et al. (2004) afirma que pela própria natureza das propriedades formadora, o solo, demonstra heterogeneidade tanto vertical como horizontalmente. Este fato ocorre porque o próprio material de origem não é uniforme em toda a sua extensão, ou seja, o material de origem não sofre o processo de intemperização de forma homogênea e contínua.

Segundo Corrêa; Tavares; Uribe-Opazo (2009) a variabilidade espacial e temporal dos atributos dos solos ocorre em diferentes níveis, estando relacionada a fatores tais como: clima, relevo, ação de organismos, tempo, variação do material de origem nos processos genéticos de formação do solo e/ou efeitos de técnicas de manejo. Para Silva et al. (2010b) a variabilidade pode ser demonstrada por levantamentos e análises, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas. No entanto esses levantamentos e análises podem ser inviabilizados pela falta de recursos, investimentos e dificuldades em apoio técnico regional principalmente em locais de difíceis acessos.

Dentre as propriedades químicas estudadas para a compreensão da qualidade dos solos estão: o conteúdo da matéria orgânica do solo (MOS) e seus componentes,

estoque de C, pH, Al, Ca, Mg, K, P, soma de bases, capacidade de troca de cátions e percentagem de saturação por bases (Menezes, 2008). A matéria orgânica destaca-se entre os parâmetros químicos de qualidade do solo, pois segundo Reinert et al. (2006) é altamente suscetível a alteração frente às práticas de manejo. Segundo Barbosa (2017) a MOS constitui forte relação com outras propriedades do solo como a retenção de água, densidade, a porosidade, a superfície específica e a estrutura.

Um importante indicador de qualidade do solo é a acidez que pode afetar o crescimento das plantas de várias formas, pois sempre que o pH é baixo (a acidez é alta), um ou mais efeitos podem afetar o crescimento das culturas (Lopes, 1995). O pH do solo é o atributo que mais varia ao longo do tempo e pode ser influenciado pelo manejo do solo. É um indicador das alterações nos processos do solo aos quais envolvem a disponibilidade e absorção dos nutrientes pelas plantas (Gonçalo Filho, 2015).

Sua origem nos solos conforme Ernani (2008) está intimamente relacionado com as formas de manejo e a influência do intemperismo. O autor ressalta ainda que as condições naturais, sobretudo nas regiões com clima quente e com altos índices pluviométricos, tendem a acidificar os solos, por esse motivo, os solos nessas regiões são naturalmente ácidos. Assim a acidificação resulta do intemperismo dos minerais de argila, pela decomposição da matéria orgânica, pela produção de gás carbônico (CO_2), pela nitrificação, por fertilizantes de reação ácida, pela lixiviação de cátions básicos e pela absorção de cátions pelas plantas.

A acidez do solo é dividida em três componentes: a) acidez ativa que corresponde à atividade dos íons hidrogênio em solução e determinada através de potenciômetro ou medidor de pH; b) acidez trocável que corresponde, normalmente, à quantidade de Al^{3+} adsorvido aos colóides do solo; e c) acidez potencial que corresponde à soma da acidez trocável com os íons hidrogênio adsorvidos na superfície dos colóides, utilizando uma solução tampão (Ebeling et al., 2008)

A acidez tem forte relação com os nutrientes. Essa discussão foi estabelecida há muito tempo. Malavolta (1976) relata que após diversas pesquisas em solução nutritiva por muitos pesquisadores, os manuais de fertilidade adotaram um formato didático de expressar essa relação (figura 01). Para Lopes (1995) compreender o comportamento dos macro e micronutrientes (Figura 01) é de grande importância, pois

indica a importância do manejo adequado do solo para aumentar a disponibilidade de nutrientes essenciais para a planta.

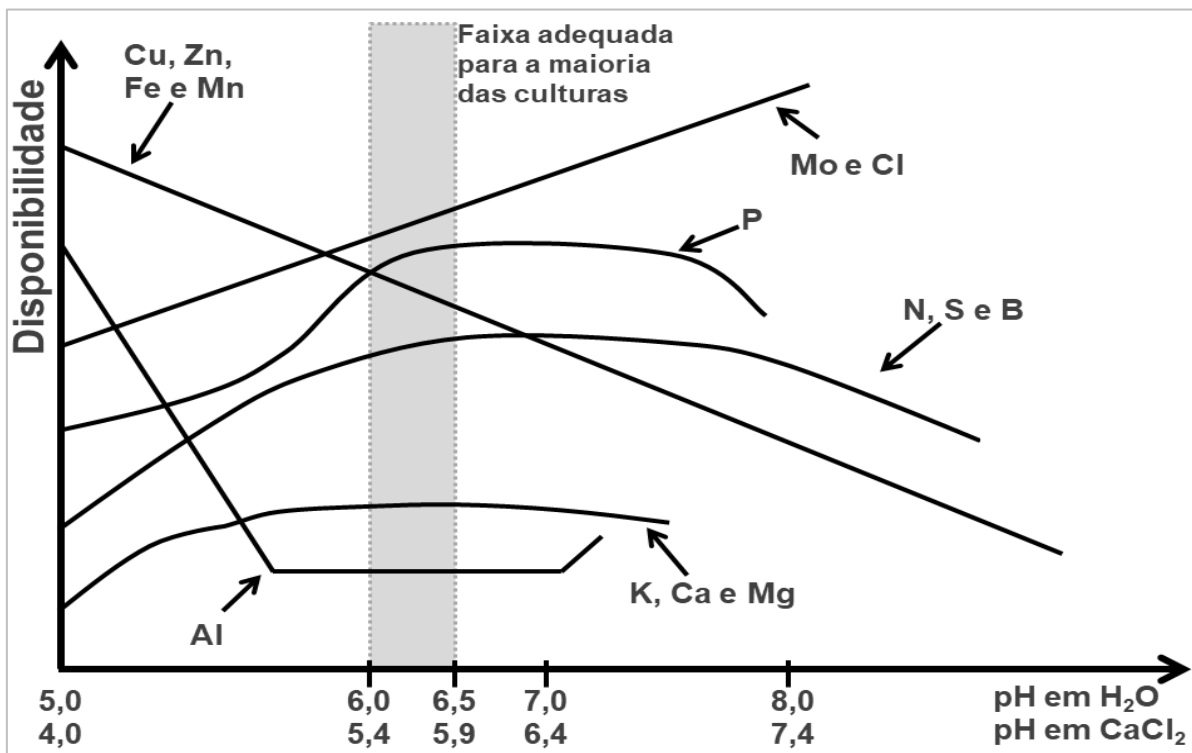


Figura 01: Representação esquemático-didática da disponibilidade de nutrientes em função do pH do solo

Fonte: (adaptado de Malavolta, 1976; Lopes, 1998; Zardin, 2018)

Ainda sobre a interpretação da figura 01, Lopes (1995) relata que com exceção do ferro, manganês, cobre e zinco que apresentam diminuição na sua disponibilidade com a elevação do pH, todos os demais nutrientes (fósforo, nitrogênio, cálcio, magnésio, enxofre, potássio, molibdênio e cloro) podem ter sua disponibilidade aumentada quando o manejo do solo prevê o uso racional da calagem em solos ácidos.

A fertilidade do solo sem dúvida é vital para o desenvolvimento e produtividade, mas um solo fértil não é necessariamente um solo produtivo, existem outros fatores que necessitam ser compreendidos que podem favorecer ou limitar a produtividade (Lopes, 1995).

Um excelente indicador das condições gerais de fertilidade do solo é a saturação por bases, indicado como V%. Esta representa a participação das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) no complexo sortivo do solo (Gonçalo Filho, 2015).

Os atributos físicos mais utilizados para levantamentos e diagnósticos de solo são: granulometria; densidade do solo; porosidade total; resistência à penetração; estabilidade de agregados; capacidade de retenção de água; e condutividade hidráulica. Todos eles mantêm uma correlação entre si, a qual pode ser direta ou inversamente proporcional (Araújo et al., 2007; Silva, 2013). Um importante atributo do solo é a granulometria, que conforme relata Reinert (2006) varia pouco ao longo do tempo. Possivelmente a variação só acontece quando ocorre mudança na composição do solo em função dos processos de intemperismo que ocorrem numa escala de séculos a milênios.

Soma-se a essa dinâmica dos atributos do solo, os mineralógicos, que, em geral, são alterados ao longo do tempo pela ação dos fatores de formação (Lira, 2016). Dessa maneira, um importante atributo mineralógico são os óxidos de ferro, comuns em solos tropicais, que têm sua formação influenciada pelas condições do ambiente. A Concentração de óxidos de Fe está relacionada tanto ao material de origem quanto ao grau de intemperização e aos processos pedogenéticos que contribuem para a acumulação ou remoção de Fe, essa característica torna os óxidos de ferro um importante indicador ambiental. (Kampf e Curi, 2000).

O tipo de óxido de ferro presente no solo pode influenciar na estabilidade dos complexos da matéria orgânica devido à variação na cristalinidade, característica que influencia a área superficial específica e a concentração de grupos-OH disponíveis para interações com a matéria orgânica (Cornell e Schwertmann, 1996). A determinação dos teores de ferro relativos aos óxidos de ferro pode ser realizada por meio de técnicas laboratoriais onde o ferro é extraído por dissolução seletiva dos óxidos de ferros (Mehra e Jackson, 1960; Schwertmann, 1973). No entanto, existem técnicas alternativas com garantia de eficiência para avaliação desses atributos e de baixo custo e impactos ambientais (Bahia et al., 2015). Dentre essas técnicas alternativas, tem-se a susceptibilidade magnética (SM).

A SM pode ser compreendida como uma característica dos minerais presentes nas rochas e no solo e pode ser definida como a medida da facilidade com que um

material se magnetiza em presença de um campo magnético (Verosub e Roberts, 1995). A SM é dependente das características e concentração dos minerais magnéticos presentes no solo (Özdemir e Dunlop, 1997).

A SM complementa a caracterização dos minerais da fração argila. A resposta magnética dos sedimentos e dos solos está determinada, predominantemente, pelos minerais magnetita e/ou maghemita. Goethitas e hematitas também possuem uma pequena magnetização, exibindo, portanto, propriedades magnéticas características (Camargo, 2013).

Para Fabris et al. (1998) é na fração areia que se encontra o principal mineral de caráter magnético em função da magnetita. Tida como um mineral litogênico (primário) a magnetita é responsável por instituir o caráter de magnetismo ao solo. Na fração argila encontram-se os minerais secundários (pedogênicos) que contribuem relativamente menos em função dos óxidos predominantes.

Sendo assim, pesquisadores têm apontado a SM como uma técnica para a quantificação indireta dos atributos do solo (Siqueira et al., 2010). Esse método tem sido utilizado para fins ambientais que visam a detectar a poluição de solos por metais pesados e, conseqüentemente, mapear áreas contaminadas (Canbay et al., 2010; Iswanto e Zulaikah, 2019) e mapeamento de variabilidade espacial de propriedade do solo (Matias et al., 2013; Siqueira et al., 2014). Pollo (2013) demonstrou a eficácia da SM na discriminação da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo relacionada à produtividade da cultura do café, identificando e mapeando zonas de manejo específico para a cultura.

O potencial de uso da SM em solos tropicais e a confiabilidade dos resultados deste método já foram comprovados por estudos anteriores (Matias et al., 2013; Peluco et al., 2013; Siqueira et al., 2010). Ao avaliar a eficiência da SM do solo para estimar a capacidade de suporte de áreas à aplicação de vinhaça Peluco et al. (2013), identificaram que a SM apresenta correlação espacial linear significativa com as doses de vinhaça recomendadas e com a capacidade de suporte do solo à aplicação desse efluente, e pode ser utilizada como componente da função de pedotransferência na quantificação indireta da capacidade de suporte.

Através da SM pode-se obter os valores de XDF que é a porcentagem de frequência dependente resultante das medidas em alta e baixa frequência da SM. Os

valores de XFD são proporcionais à concentração de minerais ferrimagnéticos na amostra e têm sido utilizados em diversos estudos (Mullins, 1977; Dearing, 1994).

A XFD é um importante indicador mineralógico, pois segundo Silva et al. (2010) reflete a proporção de maghemita e magnetita na amostra, contribuindo para entendimento dos processos pedogenéticos e das condições edafoclimáticas atuantes sobre os solos analisados. Segundo Costa et al. (1999) é na areia que se encontram os minerais responsável pelos altos valores de XFD, como a magnetita do material litogenético.

2.4 Métodos Estatísticos Multivariados

Muitas são as áreas da ciência que buscam por meio de pesquisas a compreensão de fenômenos e das às relações que ocorrem num determinado meio estudado (Hair Jr et al., 2009). As análises multivariadas de dados podem ser muito eficientes, pois possibilitam a visualização de correlações naturais e de múltiplas influências sobre um comportamento, principalmente quando se utilizam técnicas multivariadas de interdependência, ou seja, quando nenhuma variável ou grupo é tratado como dependente ou independente (Hair Jr et al., 2005).

A estatística multivariada utiliza métodos que de acordo com Johnson e Wichern (2007) podem ser empregados em trabalhos científicos com os objetivos de simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno que está sendo estudado por meio da construção de índices ou variáveis alternativas que sintetizem a informação original dos dados. Grobe (2005) enfatiza que conhecer as variáveis isoladamente não é o bastante, é necessário conhece-las em sua totalidade, pois uma depende da outra e as informações são obtidas pelo conjunto e não individualmente. Para Silva et al. (2015a) a análise multivariada é uma alternativa eficaz na compreensão das relações entre as variáveis estudadas.

A Análise Multivariada segundo Hair Jr et al. (2009) refere-se a todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos sob investigação. Assim, qualquer análise simultânea de mais do que duas variáveis podem ser consideradas, a princípio, como multivariada. As

Análises Multivariadas foram realizadas após padronização dos dados, com média 0 e variância 1

Um dos Métodos Estatísticos de Multivariada é a Análise de agrupamento, também conhecida como Análise de Cluster. Conforme Ferreira (1996) a análise de agrupamento é o nome dado a um conjunto de técnicas utilizadas na identificação de padrões de comportamentos em bancos de dados através da formação de grupos homogêneos de casos. Essa técnica não considera o número de grupos, é realizada com base na similaridade e dissimilaridade. Esta análise tem o objetivo de agrupar objetos semelhantes conforme suas características ou variáveis.

A Análise de Agrupamento por método hierárquico consiste numa técnica multivariada exploratória que tem por finalidade reunir as unidades amostrais em grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre eles (Hair Jr, 2005). A estrutura de grupos contida nos dados é vista em um gráfico denominado dendrograma, construído com a matriz de semelhança entre as amostras (Sneath e Sokal, 1973, Hair Jr, 2005). Os dendrogramas também são conhecidos por gráfico em árvore (Lopes et al., 2004).

Este tipo de análise estatística tem sido comumente aplicada na área agrônômica em pesquisas que envolvem as relações entre os atributos do solo (Freitas et al., 2014; Melém Júnior et al., 2008; Santos, 2016; Valadão, 2010); na qualidade ambiental dos solos relacionados a metais pesados (Carvalho et al., 2011); em classificação dos solos (Fontana et al., 2008; Santos et al., 2015); entretanto tem sido utilizada também em trabalhos de silvicultura (Lopes et al., 2004); e no melhoramento genético (Liaqat et al., 2014; Sheikh et al., 2015) entre outros.

Outra técnica multivariada que é aplicado nas diversas áreas da pesquisa é a análise de componentes principais (ACP). Esta técnica consiste em transformar um conjunto de variáveis em outro conjunto, os componentes principais, de mesma dimensão, porém com propriedades importantes em que cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, que são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados (Johnson e Wichern, 2007).

A ACP condensa a informação contida num conjunto de variáveis originais em um conjunto de menor dimensão, composto de novas variáveis latentes, preservando quantidade relevante da informação original (Moitinho, 2017). As novas variáveis são os autovetores (componentes principais) gerados por combinações lineares das variáveis originais, construídos com os autovalores da matriz de covariância (Hair Jr. et al., 2005).

A ACP têm sido aplicada para compreender as relações de micronutrientes com a acidez, fertilidade e mineralogia (Vendrame et al., 2007), no comportamento das alterações químicas do solo sob diferentes formas de manejo (Theodoro et al., 2003; Hinge et al., 2019), associado a geoestatística para compreender as mudanças espaciais e temporais das propriedades e da fertilidade de solo (Chen et al., 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e Caracterização da Área

O estudo foi conduzido no município de Itaituba – PA (Figura 02), situado a sudoeste do Estado do Pará, entre a latitude de 04° 16' 34" Sul e a longitude 55° 59' 01" Oeste a margem esquerda do Rio Tapajós, situado a 18 m acima do nível do mar (Figura 02).

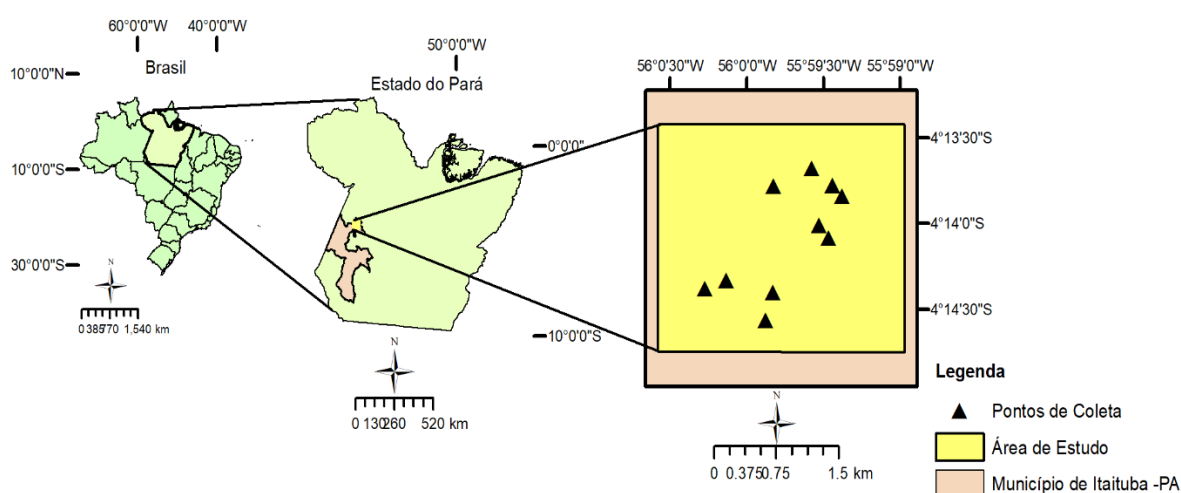


Figura 02: Localização da área de estudo, em relação ao Brasil e ao Estado do Pará.

A área possui 28 ha e pertence à INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Nesta área há duzentas e trinta quadras de 50 × 25 m cedidas a agricultores familiares que estabeleceram o feijão como principal cultivo (Figura 03).

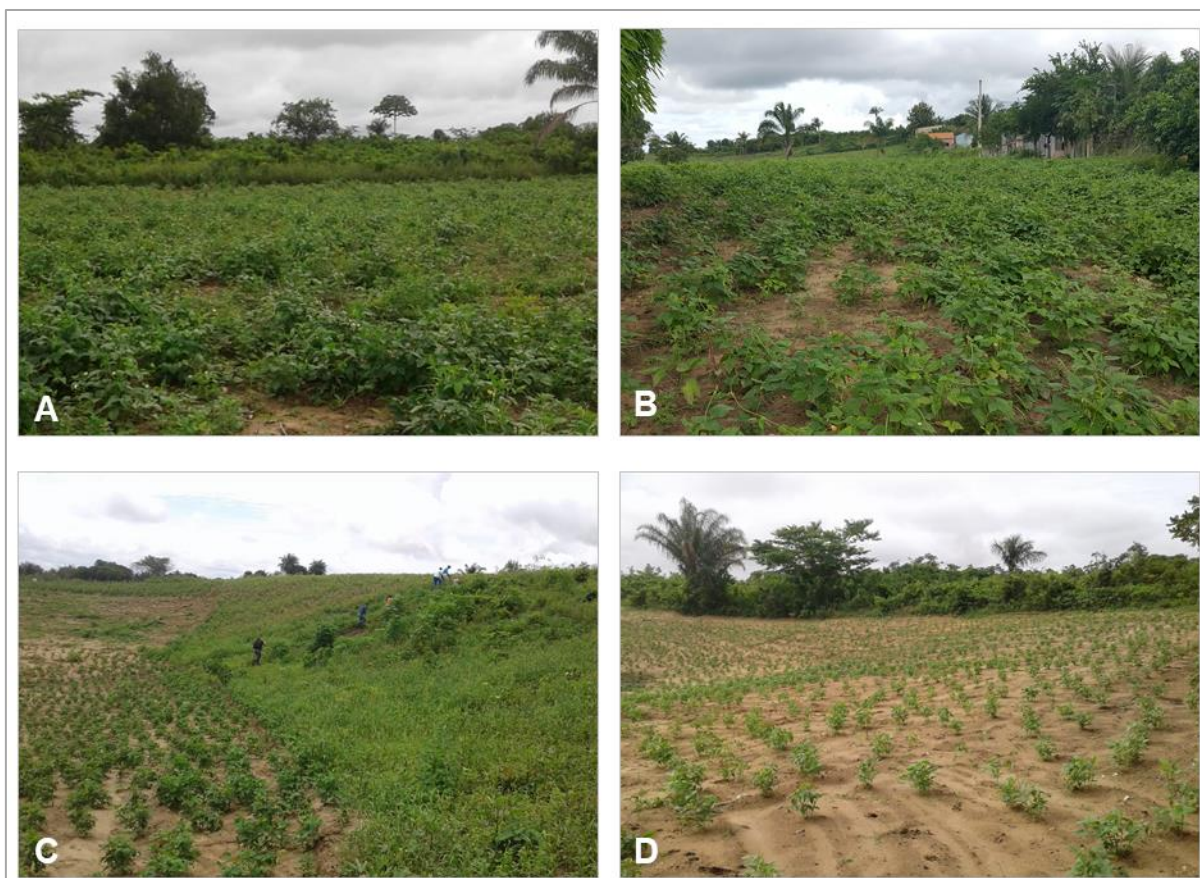


Figura 03: demonstração das áreas de estudo. A e B áreas planas e C e D áreas que apresentam declividade.

A classificação climática para a região, segundo Köppen-Geiger, é do tipo Am, ou seja, clima equatorial-tropical. A precipitação e a temperatura média anual situam-se próximas de 2136 mm e 27,3 °C, respectivamente. O solo da região é classificado segundo IBGE (2009) como Latossolo Amarelo distrófico, com relevo plano e suave ondulado.

3.2 Planejamento Amostral

Utilizou-se amostragem aleatória estratificada proposta por Embrapa (2006). As áreas foram definidas por características previamente identificadas por meio do programa Google Earth pro. As 10 (dez) áreas definidas foram identificadas como A, B, C, D, E, F, G, H, I e J (Figura 04).



Figura 04: A – coleta de solo e B – amostras de solo separadas por ponto de amostragem.

Em cada área foram definidos 3 (três) pontos (Figura 05) totalizando 30 (trinta) locais de coleta. As amostras foram coletadas na profundidade 0-0,20 m, os pontos foram georreferenciados através do sistema de Posicionamento Global (GPS – Global Positioning System com o auxílio do equipamento da marca Garmim Etrex 10.

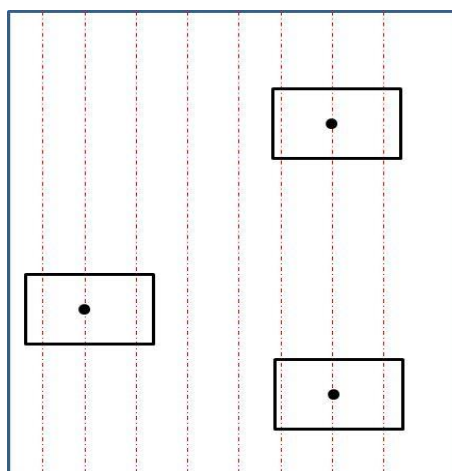


Figura 05: planejamento amostral

3.3 Análise Química

A análise química foi realizada em todas as amostras coletadas e foram determinados os atributos: pH em CaCl_2 (acidez ativa), $\text{H}^+ + \text{Al}^{2+}$ (acidez potencial - representado por $\text{H} + \text{Al}$), matéria orgânica (MO), Fósforo (P), Alumínio (Al), Boro (B), Enxofre (S), Ferro (Fe) e as bases trocáveis Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K).

A acidez ativa (pH em CaCl_2) foi determinada em solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, seguido de agitação em 220 rpm por 10 minutos em agitador com movimento orbital e decantação por 30 minutos, em seguida a determinação é feita através de eletrodos mergulhados na solução. A determinação de acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{2+}$ representado neste trabalho por $\text{H} + \text{Al}$) foi realizada por meio do uso da solução tampão SMP seguindo a metodologia de Raij et al. (2001).

A matéria orgânica do solo foi determinada segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001), que consiste em sua oxidação a CO_2 por íons dicromato em meio fortemente ácido. As bases trocáveis cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) foram definidas baseando-se nos mecanismos de troca iônica com os cátions da solução extratora cloreto de amônio (NH_4Cl) e suas determinações (avaliação de seus teores) foram realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica (Raij et al., 2001).

O Fósforo (P) foi determinado por meio da metodologia de Raij et al. (2001) que utiliza a dissolução gradativa de compostos fosfatados da fase sólida do solo e transferência de íons ortofosfato para a resina de troca iônica. A determinação do P, baseia-se na formação de espécies de cor azul do complexo fosfoatimolibdênio, em meio sulfúrico e com ácido ascórbico como redutor. Com base nos resultados das análises químicas, foram calculadas a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases do solo (V%).

Para a determinação do Alumínio (Al) foi utilizado a solução extratora de Cloreto de Potássio e determinado por titulação (Raij et al., 2001). Para a concentração de Boro foi utilizado a solução extratora de cloreto de bário e leitura em espectrofotômetro (Raij et al., 2001). No caso do Enxofre o método baseia-se na extração do sulfato (S-SO_4^{2-}) por meio de solução de fosfato de cálcio, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e a quantificação foi feita por turbidimetria, provocada pela presença de BaSO_4 , formada

pela reação do cloreto de bário com o sulfato, extraído das amostras de solo (Raij et al., 2001).

O Ferro e o Boro foram determinados através da metodologia de Raij et al. (2001). Para o Ferro a metodologia consiste na utilização da solução extratora de Ácido Dietilenotriamina penta acético (DTPA), seguida de agitação e filtração e posterior leitura do extrato diretamente no Espectrofotômetro de Absorção Atômica. A determinação do Boro ocorreu em água quente. Para sua extração foi necessário o uso da solução extratora de cloreto de bário $1,25\text{g L}^{-1}$, seguido da adição de carvão ativado e aquecimento em forno micro-ondas por 4 minutos em temperatura máxima. A leitura do extrato ocorreu no espectrofotômetro (colorímetro) com capacidade para determinação em 420nm.

3.4 Avaliação dos Atributos Físicos

A granulometria foi determinada de acordo com a Lei de Stokes, pelo método da pipeta com solução normal de Hidróxido de Sódio (NaOH) como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa velocidade por 16 horas, seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (2011). Os atributos físicos utilizados neste trabalho foram: teores de argila, silte, areia fina, areia grossa e areia total.

3.5 Biometria

Os dados biométricos foram avaliados adaptando a metodologia de Silva Junior (2015) dentro de uma área de $2,5\text{ m} \times 2,5\text{ m}$ sob os mesmos pontos georreferenciados em que foram coletadas as amostras de solo. Foram selecionadas 10 (dez) plantas de forma aleatória para determinação do número de ramos (Nramos), número de folhas (Nfolhas) e comprimento dos ramos (CompRamos). Para comprimento dos ramos da planta foi utilizada uma trena graduada e foram medidos os comprimentos de todos os ramos. A haste principal foi medida desde o colo até a última folha e os ramos secundários do início da ramificação até a última folha visível. A contagem do número de folhas foi realizada considerando-se todas as folhas vivas ao longo da haste principal e das ramificações.

3.6 Extração dos Óxidos de Ferro Pedogênicos

O ferro extraído pela dissolução seletiva dos óxidos de ferro pedogênicos inclui óxidos cristalinos e de baixa cristalinidade, como, por exemplo, hematita, goethita, maghemita, lepidocrocita e ferrihidrita (Junior e Kämpf, 2003).

A determinação dos teores de ferro relativo à totalidade dos óxidos de ferro pedogenéticos cristalinos extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (Fed) foram determinados de acordo com a metodologia de Mehra e Jackson (1960) que consiste no princípio que em meio tamponado (bicarbonato pH 7,3), o ferro é reduzido pelo ditionito e complexado pelo citrato, permanecendo em solução. Na Figura 06 demonstra-se uma das fases do processo de determinação dos teores de ferro relativo aos óxidos de ferro pedogenéticos cristalinos extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (Fed).

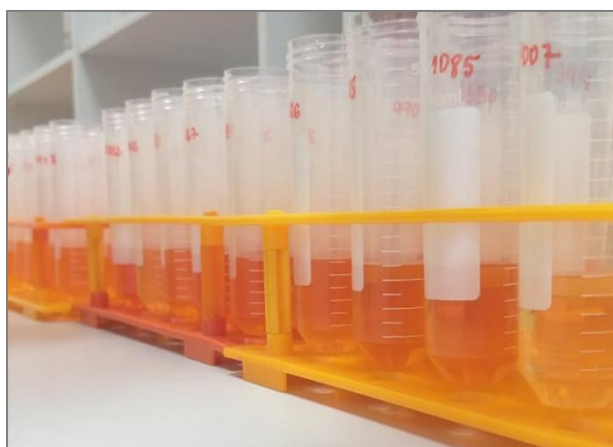


Figura 06: Processo de extração do Fed.

A determinação dos teores de ferro amorfo extraídos por oxalato de amônio (Feo) relativos aos óxidos de ferro pedogenéticos de baixa cristalinidade seguiu a metodologia citada por Camargo et al. (1986) adaptado de Schwertmann (1973) que visa a solubilização do ferro amorfo em ácido oxálico e seu sal de amônio.

3.7 Suscetibilidade magnética (SM)

A suscetibilidade magnética (SM) foi determinada na TFSA (terra fina seca ao ar) das amostras coletadas (10 g) utilizando o equipamento Bartington MS2, acoplado

ao sensor Bartington MS2B (Figura 07). A avaliação foi feita em baixa e alta frequência (0,47 kHz e 4,7 kHz respectivamente) (Dearing 1994). Segundo Dearing (1994) as medições de dupla frequência (alta – 4,7 kHz e baixa – 0,47 kHz) devem ser utilizadas em estudo de caráter qualitativo para indicar a presença de minerais magnéticos de domínio simples e múltiplos. O potencial de uso em solos tropicais e a confiabilidade dos resultados deste método já foram comprovados por estudos anteriores (Siqueira et al., 2010; Matias et al., 2013; Peluco et al., 2013).



Figura 07: Equipamento e sensor Bartington MS2

A SM é um atributo do solo que reflete parte da sua composição mineralógica Matias et al. (2013). O XFD é a porcentagem da suscetibilidade magnética de frequência dependente resultante das medidas em alta e baixa frequência da SM (Eq. 1). Assim, os valores de XFD são proporcionais à concentração de minerais ferrimagnéticos na amostra e têm sido utilizados em diversos estudos (Mullins, 1977; Dearing, 1994).

$$XFD = \frac{(\chi_{BF} - \chi_{AF})}{\chi_{BF}} \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Em que, XFD é a porcentagem da SM em dupla frequência, χ_{BF} é a SM em baixa frequência e χ_{AF} é a SM em alta frequência.

3.8 Análises de Dados

Os dados foram analisados utilizando o software R (R Core Team, 2019). Na busca da caracterização de um padrão ou comportamento das variáveis e sabendo-

se que o padrão ou comportamento dependem das diversas interações entre as variáveis estudadas, optou-se inicialmente neste estudo por análises multivariadas.

Os dados foram submetidos a análises exploratórias multivariadas de Agrupamento por Método Hierárquico e Avaliação de Componentes Principais (ACP). A Análise de Agrupamento ou de Cluster foi realizada a partir de uma matriz padronizada constituída por 30 pontos de coleta, caracterizados por 32 variáveis. Utilizou-se o Método Aglomerativo Hierárquico que consiste numa série de combinações das observações por suas semelhanças, esse processo é repetido até esgotar as possibilidades de combinações e que todas as observações estejam contidas em um só agrupamento.

Para possibilitar a união entre os grupos, foi utilizado o Método Ward de ligação ou Método da Mínima Variância, o qual determina que a similaridade usada para juntar agrupamentos seja calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos somados sobre todas as variáveis. Esse método tende a resultar em agrupamentos de tamanhos aproximadamente iguais devido à sua minimização de variação interna (Hair Jr et al., 2009). Para medir a similaridade entre as observações utilizou-se a Distância Euclidiana, mais comumente utilizada, e essencialmente é uma medida do comprimento de um segmento de reta desenhado entre dois objetos, quando representados graficamente.

Os agrupamentos formados foram representados por gráficos na forma de Dendrograma ou Gráfico em Árvore. Este método retrata cada estágio do processo e o um dos eixos indica o coeficiente de aglomeração, neste caso a distância usada para unir agrupamentos. Tipicamente este tipo de gráfico é escalonado, de maneira que distâncias menores entre combinações indicam maior homogeneidade. Uma vez formado o Dendrograma, a separação dos grupos é realizada, observando-se as ramificações formadas num corte em determinado nível. Neste trabalho a Distância Euclidiana ou corte para separação dos agrupamentos foi definida em 20.

A ACP foi executada com o intuito de simplificar a descrição de um conjunto de variáveis inter-relacionadas. Sendo assim, a ACP foi aplicada com o objetivo de descrever uma grande parte da variabilidade dos dados usando Componentes Principais. A ACP condensa informações relevantes levando em consideração um conjunto menor de variáveis ortogonais não correlacionadas entre si, chamadas de

autovetores (Johnson e Wichern, 2002) também denominadas de componentes principais (CP), provenientes de combinações lineares entre as variáveis originais estudadas do solo e planta.

Análise de Componentes Principais, segundo Johnson e Wichern (2002) dependerá apenas da matriz covariância (Σ) ou da matriz correlação (ρ) de $X_1, X_2, \dots, X_p$, ou seja do vetor $\underline{X}$. A obtenção das componentes principais se dá, segundo os autores, por um vetor aleatório $\underline{X}' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ com médias $\underline{\mu}$ e matriz covariância Σ e autovalores $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$. Considerando as combinações lineares:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \underline{c_1} \underline{X} = c_{11}X_1 + c_{21}X_2 + \dots + c_{p1}X_p \\ Y_2 &= \underline{c_2} \underline{X} = c_{12}X_1 + c_{22}X_2 + \dots + c_{p2}X_p \\ &\vdots \\ Y_p &= \underline{c_p} \underline{X} = c_{p1}X_1 + c_{p2}X_2 + \dots + c_{pp}X_p \end{aligned} \quad (\text{Eq.2})$$

$$\text{Ou } \underline{Y} = \underline{C}' \underline{X} \text{ em que } \underline{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_p \end{bmatrix} \text{ e } \underline{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1p} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2} & \dots & c_{pp} \end{bmatrix} \text{ com:} \quad (\text{Eq.3})$$

$$E(Y_j) = E(\underline{c_j}' \underline{X}) = \underline{c_j}' E(\underline{X}) = \underline{c_j}' \underline{\mu} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$V(Y_j) = V(\underline{c_j}' \underline{X}) = \underline{c_j}' V(\underline{X}) \underline{c_j} = \underline{c_j}' \Sigma \underline{c_j} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\text{Cov}(Y_i, Y_j) = V(\underline{c_i}' \underline{X}, \underline{c_j}' \underline{X}) = \underline{c_i}' \Sigma \underline{c_j} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\text{para } i \neq j = 1, 2, \dots, p. \text{ E a solução normalizada } \underline{c_j}' \underline{c_j} = \sum_{i=1}^p c_{ij}^2 = 1 \quad (\text{Eq. 7})$$

As componentes principais são combinações lineares não correlacionadas $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$, em que a primeira componente principal é uma combinação linear $\underline{c_1}' \underline{X}$ que maximiza $V(\underline{c_1}' \underline{X})$ sujeita a restrição $\underline{c_1}' \underline{c_1} = 1$, a segunda componente principal é a combinação linear $\underline{c_2}' \underline{X}$ que maximiza $V(\underline{c_2}' \underline{X})$ sujeita a restrição $\underline{c_2}' \underline{c_2} = 1$ e $\text{Cov}(\underline{c_1}' \underline{X}, \underline{c_2}' \underline{X}) = 0$ até j-ésima componente principal como combinação linear $\underline{c_j}' \underline{X}$ que maximiza $V(\underline{c_j}' \underline{X})$ sujeita as restrições $\underline{c_j}' \underline{c_j} = 1$ e $\text{Cov}(\underline{c_i}' \underline{X}, \underline{c_j}' \underline{X}) = 0$ para todo $i < j$.

Foram considerados os CP cujos autovalores foram superiores à unidade, conforme estabelecido por Kaiser (1958). Esses autovalores geram componentes com quantidade relevante de informação das variáveis originais. Autovalor é considerado como a soma em coluna de cargas fatoriais ao quadrado para um fator; também

conhecido como raiz latente e representa a quantia de variância explicada por um fator.

Os coeficientes das funções lineares que definem os componentes principais que são utilizados na interpretação de seu significado usando o sinal e o tamanho relativo dos coeficientes como uma indicação do peso a ser atribuído para cada variável foi definida considerando os valores maiores a 0,50.

A ACP foi representada através do gráfico bidimensional ou gráfico Biplot com o objetivo de mostrar a nova distribuição das unidades. O gráfico Biplot dos dois primeiros componentes principais representa o espaço original e demonstra quais os atributos do solo que mais colaboram para a discriminação dos agrupamentos formados (Hair Jr, 2005; valladares et al., 2008).

Com os atributos oriundos da ACP realizou-se o teste F da Análise de Variância (ANOVA) e posteriormente a comparação das médias pelo teste de Tukey considerando o nível de significância a 5% ($p < 0,05$). O objetivo dessa etapa é a realização de um teste de inferência estatística com os atributos em relação aos grupos formados na ACP.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise de agrupamento por método hierárquico dos dados, obteve-se o arranjo das semelhanças das áreas de estudo representado por meio do dendrograma, oriundo da matriz de correlação entre as variáveis (Figura 08) estudadas após a padronização dos dados. Sempre que há uma variação expressiva nos valores da distância euclidiana entre os acessos, no conjunto de variáveis estudadas, é possível perceber uma divisão de grupos (Figura 09).

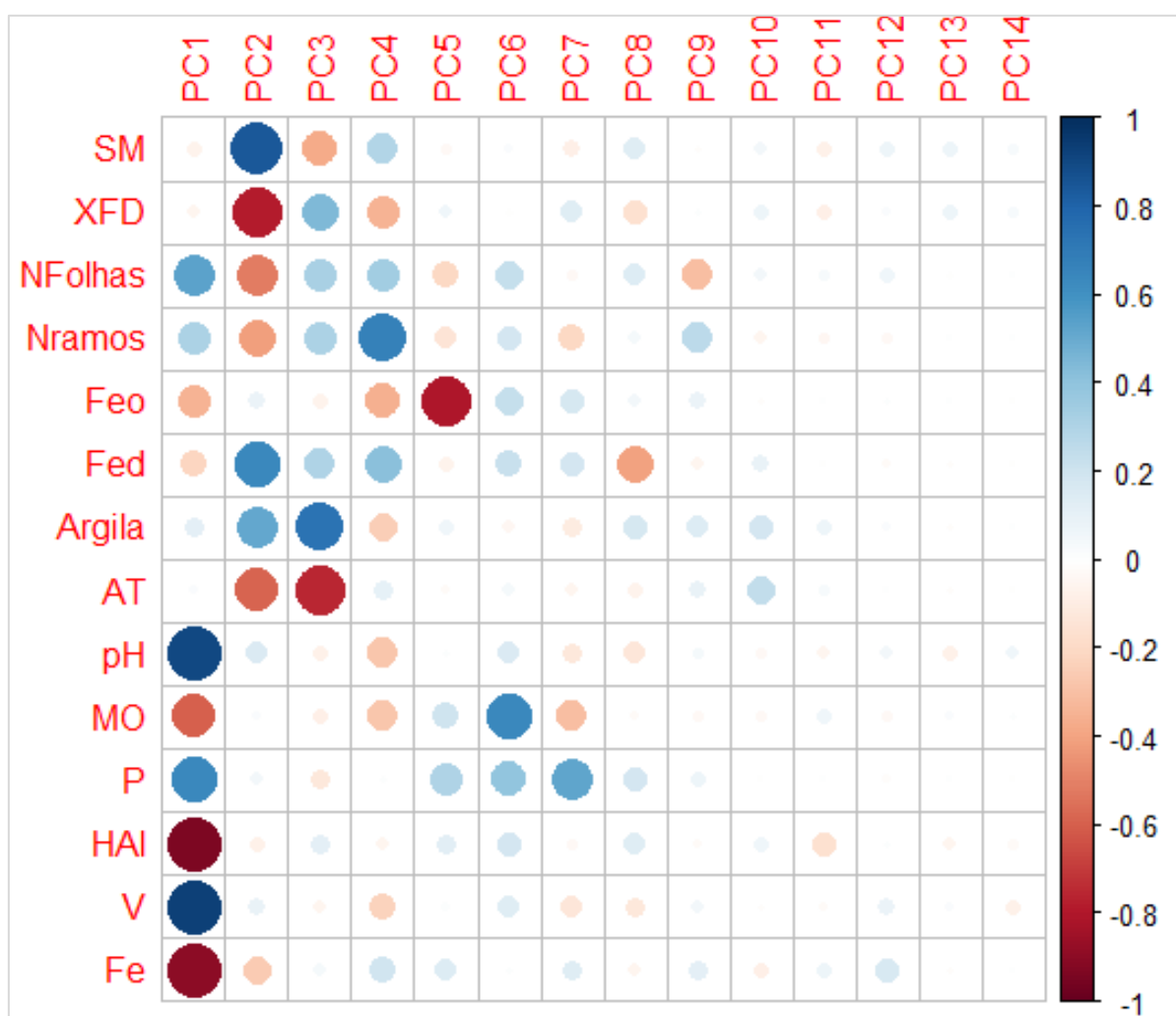


Figura 08: matriz de correlação entre as variáveis

Na altura de corte da distância euclidiana em aproximadamente 17,5 (Figura 09), que representou o maior salto (Figura 10), foi possível identificar a formação dos

grupos I e II. Na variação aproximada de 15,0 e 17,5 (Figura 10), no intervalo que representa o segundo maior salto, foi possível observar a divisão do grupo I em 2 subgrupos (Ia e Ib) e o grupo II, admitindo-se assim a formação dos grupos Ia, Ib e II (Figura 09). Essa divisão resultou numa importante ordenação dos acessos conforme as características do solo das áreas.

Sendo assim, considerando que as áreas estudadas estão em diferentes posições na paisagem (Figura 11 e 12), observa-se que no grupo I (Ia e Ib) ficaram concentrados os acessos que representaram as áreas em maior altitude (Figura 11) e maior variabilidade na classificação dos acessos. Esse fato é explicado por Landin (2003) quando relata que a técnica classificatória multivariada da análise de agrupamento é devidamente utilizada quando se pretende explorar as similaridades entre indivíduos ou entre variáveis. Sendo assim as áreas foram agrupadas considerando o seu grau de semelhança, com a finalidade de classificá-las em grupos mais ou menos homogêneos.

O grupo II foi representado por áreas localizadas em menor altitude, possivelmente indicando áreas mais baixas que possivelmente estão numa zona de deposição de sedimentos advindos das áreas localizadas em maiores altitudes. Novaes filho et al. (2007) explicam que a diversidade da paisagem condiciona o carreamento das águas e sedimentos, promovendo a variabilidade dos atributos do solo. Com isso, possivelmente explica-se a maior homogeneidade observado no grupo II e acredita-se que a paisagem exerceu influência no agrupamento dos acessos influenciando nas características das variáveis estudadas.

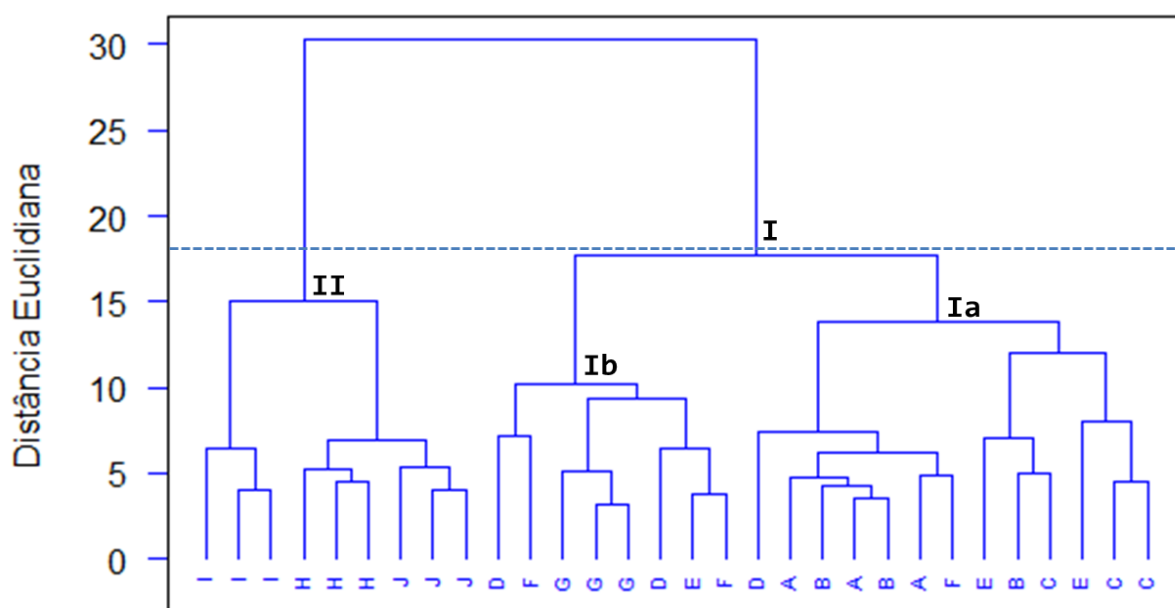


Figura 09: Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo as variáveis químicas, físicas, mineralógicas e biométricas.

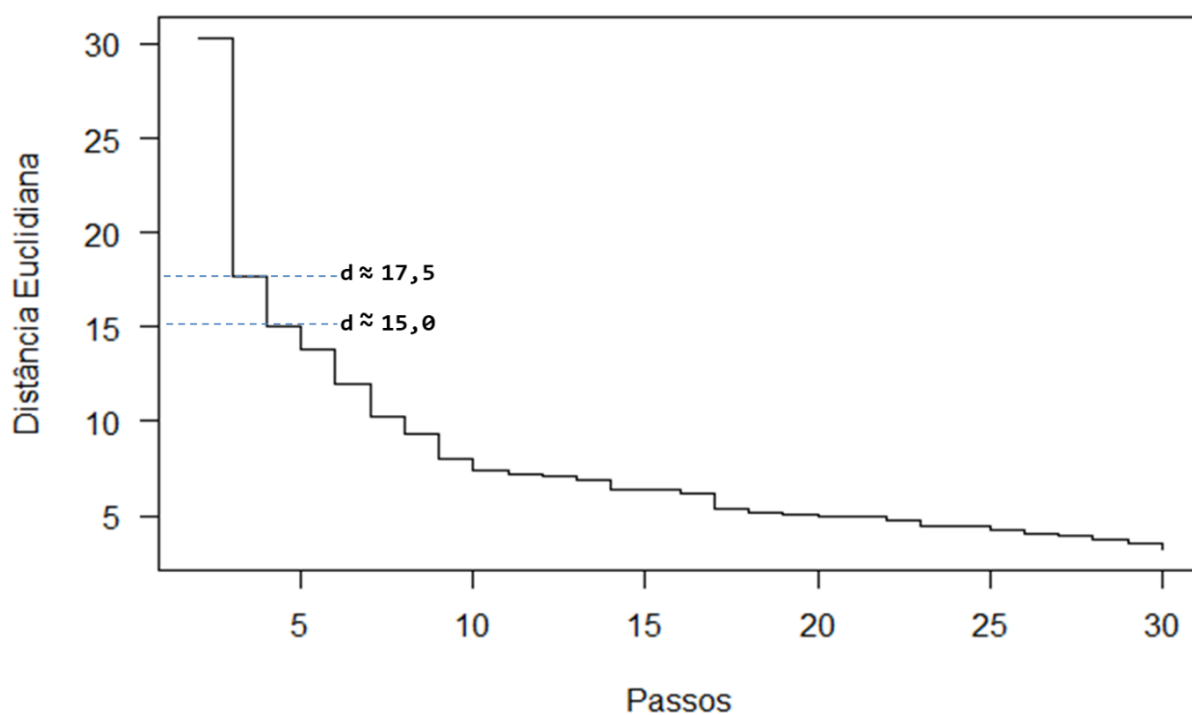


Figura 10: Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas que permitiu a separação de grupos

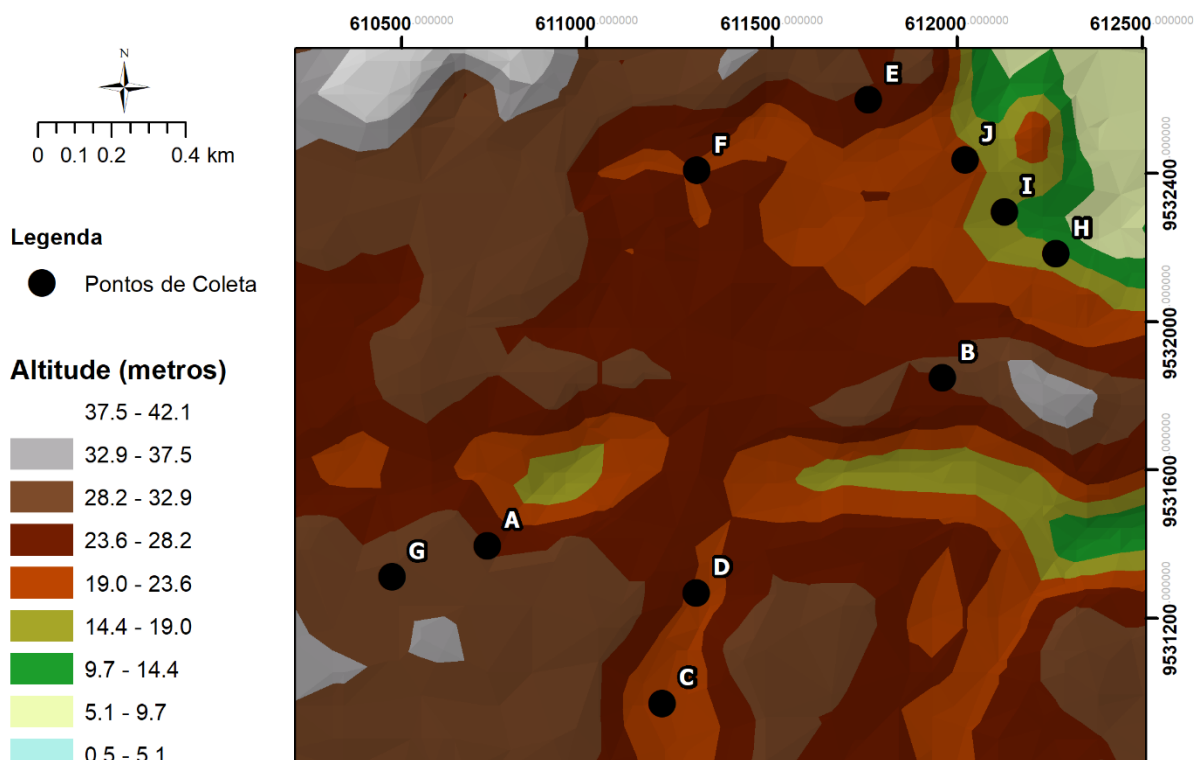


Figura 11: Representação da variação da altitude na área de estudo

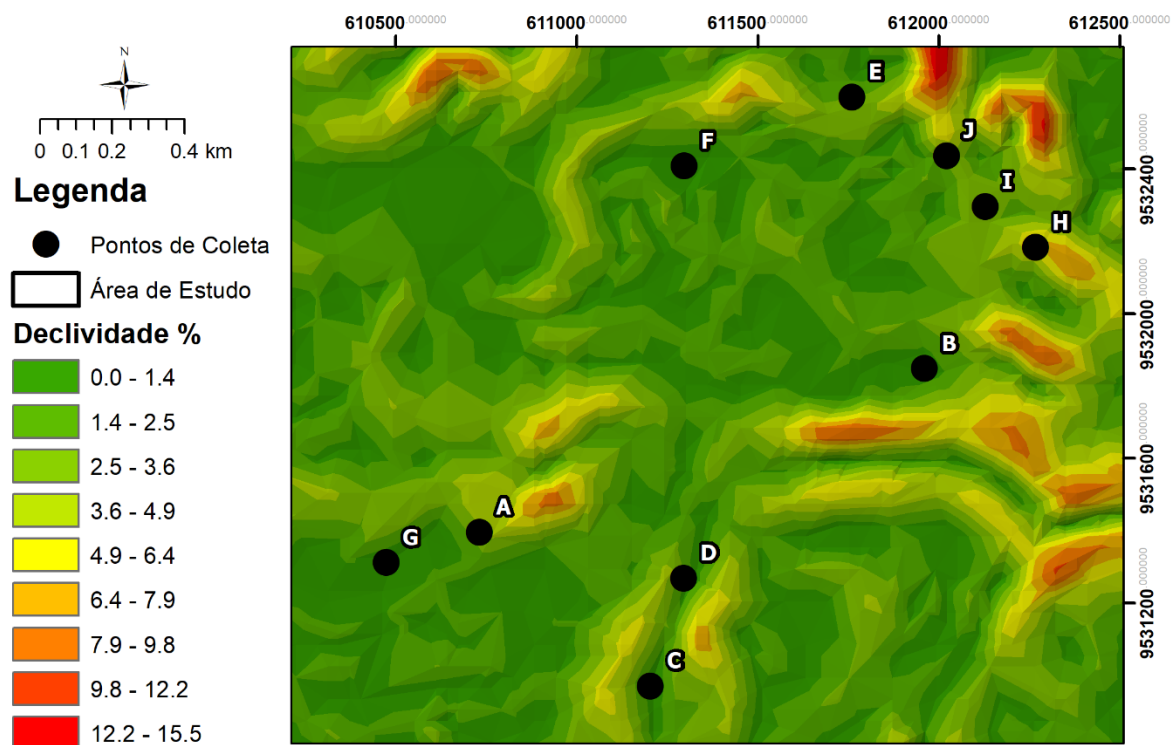


Figura 12: Representação da variação da inclinação do terreno da área de estudo

As alterações na forma da paisagem influenciam o acúmulo de material orgânico, no sentido do fluxo da água, na compactação, erosão hídrica e lixiviação. A diferença na elevação das áreas pode ocasionar o carreamento de partículas, das cotas mais altas para as mais baixas do terreno, refletindo também na variabilidade dos óxidos de ferro e da SM, evidenciando a influência das formas da paisagem na variação dos atributos do solo e qualidade da área (Souza et al., 2004; Artur et al., 2014).

O relevo condiciona processos de erosão, transporte e deposição que geram regiões com diferentes características (Sanchez et al., 2005). Essa influência das formas do relevo na variabilidade de atributos do solo ocorre mesmo que em pequenas variações (Souza et al., 2004), seja sob atributos físicos ou químicos do solo (Sanchez et al., 2005).

As variáveis selecionadas pela Análise de Componentes Principais foram (Tabela 02): Matéria Orgânica (MO), Ferro (Fe), Hidrogênio e Alumínio (H+Al), Fósforo (P), pH, V: saturação por bases (Ca, Mg, K), Areia total, Argila, Número de Folhas (NFolhas), Número de Ramos (Nramos), Ferro Oxalato (Feo), Ferro Ditionito-Citrato-Bicarbonato (Fed), Susceptibilidade Magnética (SM) e a porcentagem da SM em dupla frequência (XFD). A partir dessas variáveis, foram extraídos os quatro componentes principais. De acordo com Kaiser (1958), foram consideradas somente as variáveis com autovalores acima de 1, pois são aquelas que geram componentes com quantidade relevante de informação das variáveis originais.

Dessa forma observa-se que, os quatro primeiros componentes principais de forma acumulada explicaram 77,16% da variabilidade total dos dados (Tabela 02). Observa-se ainda que os dois primeiros CP acumularam juntos a maior variabilidade. Ainda na tabela 02 observa-se os resultados da ACP, os autovalores e a porcentagem de variância explicada para os componentes principais.

As correlações permitem identificar as variáveis que mais influenciaram na formação dos componentes principais. Para fins de explicação, neste trabalho foram considerados os CP1 e CP2, pois foram os componentes principais que apresentaram juntos maior porção de variância do conjunto de dados original. No CP1 e CP2 o critério de corte das correlações entre as variáveis para fins de explicação destes CP1 e CP2 foi valores maiores a 50.

Tabela 02: Correlação entre as variáveis do solo e planta com os componentes principais (CP1, CP2, CP3 e CP4)

Componente principal	CP1	CP2	CP3	CP4
Autovalor	4,69	2,89	1,80	1,40
Variância explicada (%)	33,55%	20,70%	12,87%	10,02%
Variância Acumulada (%)	33,55%	54,25%	67,13%	77,16%
Correlações				
SM	-0,06	0,84	-0,37	0,29
XFD	-0,05	-0,78	0,44	0,34
NFolhas	0,53	-0,50	0,32	0,35
Nramos	0,31	-0,41	0,31	0,67
Feo	-0,34	0,08	-0,06	-0,35
Fed	-0,21	0,64	0,30	0,41
Argila	0,11	0,51	0,73	-0,24
AT	0,02	-0,58	-0,75	0,10
pH	0,90	0,15	-0,07	-0,27
MO	-0,59	0,02	-0,08	-0,27
P	0,64	0,05	-0,12	0,01
V	0,93	0,09	-0,05	-0,22
HAI (H+Al)	-0,93	-0,07	0,11	-0,05
Fe	-0,89	0,25	0,04	0,19
Interpretação de CP1	Caracterização dos atributos químicos			
Interpretação de CP2	Indicação das características mineralógicas			
Interpretação de CP3	Representação das características físicas			
Interpretação de CP4	Representação das características biométricas			

SM = Susceptibilidade Magnética; XFD= porcentagem da SM em dupla frequência; NFolhas = Número de Folhas; Nramos= Número de Ramos; Feo = Ferro Oxalato; Fed = Ferro Ditionito-Citrato-Bicarbonato; AT: Areia Total; pH = potencial hidrogeniônico; MO = matéria orgânica; P = Fósforo; V: saturação por bases (Ca, Mg, K); HAI = soma dos íons hidrogênios e alumínio; Fe= Ferro disponível; CP: componente principal. Valores >50 em valor absoluto destacados em negrito foram utilizados para interpretação do componente principal.

Desse modo, no CP1 as variáveis que melhor correlacionaram-se, na ordem de importância, foram V (0,93), H+AL (-0,93), pH (0,90), Fe (-0,89), P (0,64), e MO, (-0,59). As variáveis com sinal positivo apresentam dependência direta entre si e as

variáveis com sinais negativos foram inversamente correlacionadas, demonstrando dependência indireta com os atributos com sinal positivo (Tabela 02). A variável H+Al é um importante atributo relacionado à qualidade ambiental e a fertilidade do solo. Assim, percebe-se sua correlação inversa com as variáveis V, P e pH demonstrando que com maior concentração de H+Al maior deverá ser a acidez e menor o potencial de fertilidade do solo.

As relações que ocorrem com as variáveis mais relevantes para a formação do processo observado no CP1 estão relacionadas com as características químicas do solo e com o número de folhas, e que podem estar relacionados ao potencial de fertilidade do solo.

Por esse motivo, para fins de interpretação da CP1, considerando os valores dos coeficientes > 50 , acredita-se que este pode ser definido pelas características químicas em função dos atributos: V, H+Al, pH, Fe, Nfolhas, P e MO (Tabela 02). Tal interpretação é possível pelo fato de ocorrer uma estreita relação entre as variáveis com a fertilidade do solo. Os atributos H+Al, MO e Fe apresentaram correlação negativa com os atributos pH, V e P. Essa correlação inversa entre as variáveis, pode ser atribuída ao fato que ambientes com maiores concentrações de íons H+Al indicam áreas que passaram pelo processo de acidificação do solo.

Segundo Melo (1985) o processo de acidificação do solo ocorre ou é acentuado devido à remoção das bases da superfície dos coloides e aumento dos íons H+Al. Para Gama (1998) no Pará a acidez é um fator limitante de grande relevância a ser superado para a obtenção de melhores produções agrícolas, já que há predominância de solos altamente intemperizados como é o caso do Latossolo Amarelo.

Para o CP2 a relação de dependência direta ocorreu entre as variáveis SM (0,84) e Fed (0,64) (Tabela 02). A variável XFD (-0,78) apresentou relação de dependência inversa com SM (0,84) e Fed (0,64) (Tabela 02). Acredita-se que para fins de interpretação do CP2 este represente as características mineralógicas, pois as variáveis SM, XFD e Feo foram as que apresentaram as maiores correlações (Tabela 02).

A representação gráfica biplot entre CP1 e CP2 (Figura 13) permitiu caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação dos agrupamentos Ia, Ib e II, reiterando os resultados da análise de agrupamento. Observa-se também no

gráfico biplot (Figura 13) a variância a eles atribuída que corresponde a 54,25% da variabilidade total contida no conjunto das variáveis originais. O componente principal 1 (CP1) explicou 33,55% e o segundo componente principal (CP2) explicou 20,70% da variância.

O grupo I, subdivido em subgrupo Ia (lado esquerdo do biplot) e Ib (parte inferior do biplot), indicou o agrupamento de áreas com maior potencial de acidez em função das variáveis H+Al e sua relação com a MO e Fe. Assim como, verifica-se a influência das variáveis SM e XFD na formação do grupo I. O grupo II foi formado principalmente por influência das variáveis pH, V e P, indicando maior potencial de fertilidade.

Ainda na figura 12, observa-se que as variáveis mais significativas do CP1 que foram apresentadas com sinal positivo na tabela 02, estão em direção contrária das variáveis com sinal negativo, demonstrando a correlação inversa dessas variáveis.

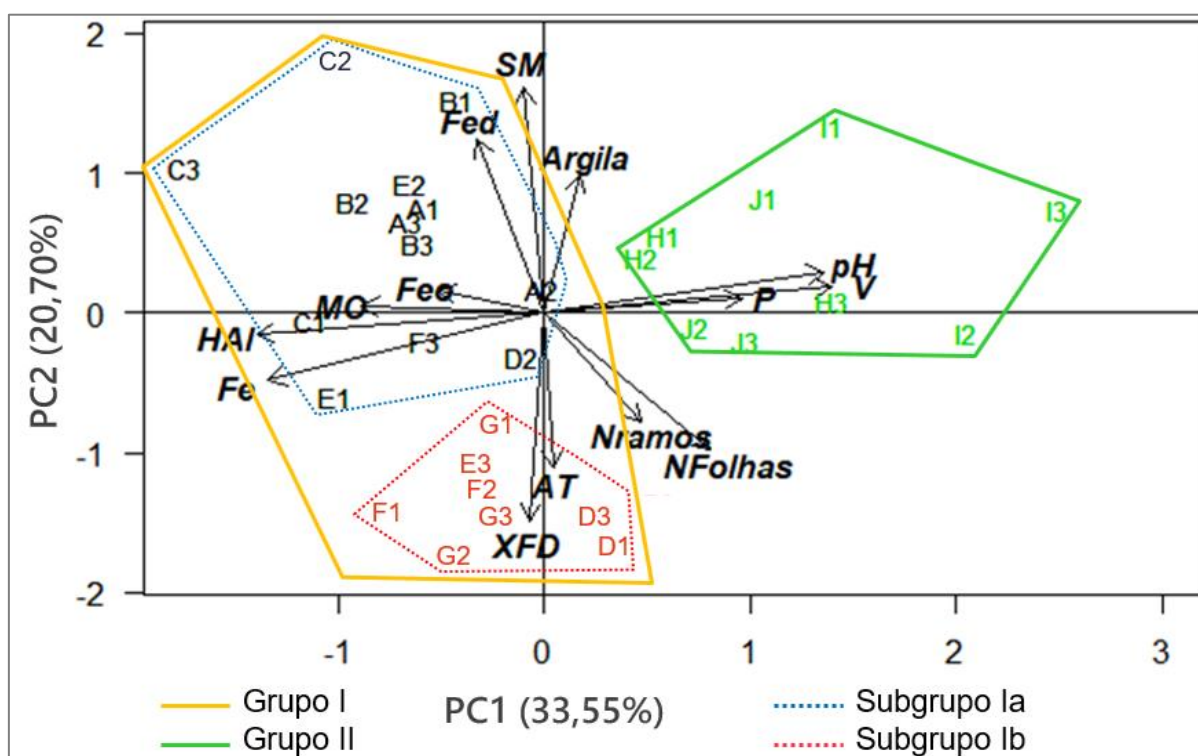


Figura 13: Gráfico biplot com os PC e grupos. SM = Susceptibilidade Magnética; Fed = Ferro Ditionito-Citrato-Bicarbonato; Feo = Ferro Oxalato; pH = potencial hidrogeniônico;; P = Fósforo; MO = matéria orgânica; HAl = soma dos íons hidrogênios e alumínio; Fe= Ferro; XFD= porcentagem da SM em dupla frequência; Nramos= Número de Ramos; NFolhas = Número de Folhas; AT: Areia Total; V: saturação por bases (Ca, Mg, K), e CP: componente principal.

Em adição, verifica-se uma ampla integração entre os autovalores de MO e H+Al (Figura 13), tal fato ocorre provavelmente devido a matéria orgânica do solo ser fornecedora dos íons H⁺. Conforme relatam Fassbender e Bornemisza (1987), dentre outras formas de acidificação do solo, a MO é fornecedora de H⁺ para o solo por meio da dissociação desses íons de grupos carboxílicos e fenólicos. Para Lopes (1995) a matéria orgânica do solo está continuamente sendo decomposta pelos microrganismos em ácidos orgânicos, dióxido de carbono (CO₂) e água, formando ácido carbônico. O ácido carbônico, por sua vez, reage com carbonatos de cálcio e magnésio no solo para formar bicarbonatos solúveis que são lixiviados, o que deixa o solo mais ácido.

A proximidade entre as variáveis P, V e pH (Figura 13), provavelmente ocorre em função dos maiores valores de pH, pois solos com maiores valores de pH (entre 5,1 e 6,0) apresentam normalmente maiores teores de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺) e P (Malavolta, 1981). Resultados semelhantes foram encontrados por Vendrame et al. (2007) ao analisar em 54 amostras de solos de municípios de Goiás, Mato Grosso e Distrito Federal, nas quais o V e o pH apresentaram forte correlação e mantiveram-se em sentidos opostos ao H+Al. Theodoro et al. (2003) também obtiveram resultados semelhantes, ao comparar a variação de acidez entre um fragmento de mata nativa com diferentes formas de manejo do cafeeiro.

O autovalor de P além de apresentar forte interação com V e pH, tem relação intermediária com os autovalores SM e Fed. Esse processo provavelmente ocorre devido a SM, que é um método indireto de caracterização dos minerais das frações areia e argila, permitir a identificação de minerais que possuem em sua estrutura o elemento Fe, ou seja, os óxidos de ferro (Siqueira et al., 2014). Esses óxidos de ferro, assim como o Ca são responsáveis de maneira significativa pela retenção do P adicionado ao solo, principalmente em solos tropicais mais intemperizados (Embrapa, 2006). A relação do P com o Fed ocorre possivelmente, porque o Fed é uma forma de mensuração dos óxidos de ferro pedogênicos presentes no solo.

A aproximação das variáveis SM, Fed e argila no CP2 (Figura 13) indicam a influência da mineralogia e a forte relação entre as variáveis. A SM é a expressão da resposta dos minerais, predominantemente os minerais ferrimagnéticos como a maghemita (mineral pedogenético da fração argila). Já o Fed é tido como um indicador

dos teores de óxidos de ferro em especial os minerais de maior cristalinidade (Oliveira, 2017). A ampla integração entre os vetores XFD e AT (areia total) indica, provavelmente, a presença de minerais com baixa cristalinidade que estejam em processo de formação, comuns nas frações areia e silte dos solos, a exemplo da magnetita (Costa et al., 1999).

A Análise de Variância entre os grupos (Tabela 03) realizada com as variáveis definidas pela ACP demonstra que os atributos que apresentaram diferença significativa ($p < 0.05$) entre os grupos representados na análise de agrupamento e componentes principais, são: V, pH, P, Fe, H+Al, MO, Nfolhas, Fed, SM e XFD.

Observa-se no teste de comparação de médias a confirmação dos resultados obtidos com a ACP, tal que o subgrupo Ia apresentou-se similar ao subgrupo Ib em relação às maiores média dos atributos Fe, H+Al e MO. O subgrupo Ia diferenciou-se do Ib em função da diferença significativa dos atributos Fed, Nfolhas e SM (Tabela 03).

As médias mais elevadas de Fed em relação ao Feo indicam que a maior parte dos óxidos de ferro presente nessas amostras está na forma mais cristalina (Bahia et al., 2018). Para Blume; Schwertmann (1969) essa maior cristalinidade indica um maior desenvolvimento dos solos e, conseqüentemente, em áreas com estágio mais avançado de intemperismo. A SM do subgrupo Ia apresentou maior média, juntamente com o grupo 03 (ambos $0,08 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) e pode ser utilizada como micro indicador das condições do solo (Mathé et al., 2006).

Ressalta-se ainda sobre o grupo Ia, a relação das maiores médias das variáveis SM e Fe, pois segundo Ferreira et al. (1994), já é conhecido que em solos com altos teores de óxidos de Fe magnéticos possuem maiores teores em elementos traços. Soma-se a esta característica, a possibilidade que em solos com menores teores de pH (maior acidez) há a ocorrência de maior concentração de micronutrientes, dentre eles o Fe.

Tabela 03: Análise de Variância (Teste F) e Teste de médias das variáveis entre os agrupamentos estudados (Teste de Tukey)

Médias (Teste de Tukey)					
Variáveis	Análise de Variância (p<0,05)	Grupo I (n=21)		Grupo II (n=9)	CV%
		Subgrupo Ia (n=13)	Subgrupo Ib (n=8)		
V	24,08*	8,61 b	16,5 b	47,55 a	59,11
pH	21,86*	4,09 b	4,22 b	5,17 a	8,88
P	8,39*	6,00 b	6,12 b	7,33 a	12,29
Fe	46,68*	79,79 a	75,75 a	32,00 b	18,28
H+Al	21,60*	44,23 a	41,62 a	19,66 b	25,01
MO	4,13*	13,69 a	13,00 ab	10,33 a	22,03
NFolhas	12,24*	17,52 b	35,38 a	33,58 a	34,33
AT	0,47 ^{ns}	87,69	89,12	88,11	3,74
Fed	4,84*	4,96 a	3,98 b	4,45 ab	15,47
SM	33,48*	0,08 a	0,06 b	0,08 a	9,84
XFD	33,11*	17,12 b	69,09 a	22,39 b	45,74
NRamos	1,25 ^{ns}	2,43	3,04	2,65	32,19
Feo	1,11 ^{ns}	0,95	0,61	0,76	64,91
Argila	0,69 ^{ns}	9,76	9,00	10,33	23,92

V=(SB/CTC)* 100 (%); pH = potencial hidrogeniônico; P = Fósforo(mg dm⁻³); Fe= Ferro (mg dm⁻³); H+Al = soma dos íons hidrogênios e alumínio (mmolc dm⁻³); MO = matéria orgânica (g dm⁻³); NFolhas = Número de Folhas (unid.); AT: Areia Total(%); Fed = Ferro Ditionito-Citrato-Bicarbonato (g kg⁻¹); SM = Susceptibilidade Magnética (10⁻⁶ m3 kg⁻¹); XFD= variação da SM em dupla frequência (%);NRamos= Número de Ramos (unid.); Feo = Ferro Oxalato (g kg⁻¹); Argila (%).Fc= F calculado; CV%=Coeficiente de Variação.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

* = significativo a 5%

ns = não significativo a 5%

O indicativo da característica de maior acidez do GI (Ia e Ib) se dá pelos resultados apresentados na Tabela 03, onde se percebe que tanto as médias de H+Al (que corresponde à acidez potencial) quanto de MO apresentaram médias com maior correlação no GI (Figura 13). Esses resultados provavelmente ocorrem devido a maior

quantidade de material orgânico existente nesses pontos que, ao sofrer os processos de degradação, libera íons H^+ , que contribuem para a acidificação em superfície.

A média do teor de Fe do GI não diferiu significativamente ($p>0,05$) entre os subgrupos Ia e Ib, reafirmado a relação existente do Fe com as variáveis $H+Al$ e MO apresentados na Figura 13. Esse fato é explicado em função do aumento da concentração de Fe disponível que é diretamente proporcional ao aumento da acidez do solo (Lopes, 1995).

Para os subgrupos Ia e Ib os baixos valores das médias referentes à pH indicam a maior necessidade de correção por calagem para elevar o pH, aumentar a disponibilidade de nutrientes e evitar a lixiviação (Oliveira et al., 2019). Os resultados obtidos para P disponível se assemelham aos obtidos por Chaves et al. (2004) e por Melém Júnior et al. (2008) no estado do Amapá, na região amazônica.

O teste de média foi não significativo para a variável AT entre os grupos (Tabela 03), indicando homogeneidade do teor de areia total entre as áreas. No entanto essa variável foi relevante para os altos valores apresentados pela variável XFD. Segundo Costa et al. (1999) é na areia que se encontram os minerais responsáveis pelos altos valores de XFD, como a magnetita do material litogenético. Dessa forma percebe-se na tabela 03 que a variável XFD apresentou diferença significativa entre os subgrupos Ia e Ib.

No subgrupo Ib a variável XFD foi a que apresentou maior média pelo teste de Tukey ($p<0.05$), diferenciando-se significativamente dos demais grupos (Tabela 03), o que permitiu considerar esta variável determinante para a sua diferenciação do subgrupo Ia. A maior média do XFD indicou indiretamente que no grupo Ib a taxa de formação do solo e a presença de minerais com baixa cristalinidade são maiores refletindo a variação mineralógica nos solos.

Observa-se que os atributos V, pH, $H+Al$, Fe e pH no subgrupo Ib não apresentaram diferenças significativas em relação às médias do subgrupo Ia (Tabela 03). As menores médias de pH e maiores médias de $H+Al$ nesses subgrupos indicam que o solo nessas áreas possui características de acidez semelhantes. Essas variáveis refletem possivelmente que os subgrupos Ia e Ib (Figura 13) reúnam solos mais intemperizados e com características mais ácidas. As menores médias de V e P reafirmam o potencial de acidez dessas áreas e indicam áreas com baixa fertilidade e

menor aptidão para o cultivo de feijão, pois apresentam médias abaixo das faixas de teores adequados desses atributos (Tabela 01), demonstrando condições poucos satisfatórias para o desenvolvimento e produtividade (Posse et al., 2010).

A concentração de MO do subgrupo Ib não diferiu significativamente do subgrupo Ia. A variável NFolhas do subgrupo Ib apresentou teste de médias não significativo em relação GII, ambos com maiores médias que o subgrupo Ia. Essa característica torna-se possível no G2 devido o feijão-caupi ser considerado tolerante à acidez (Oliveira, 2019).

O GII foi o que apresentou as maiores médias para V, pH e P (respectivamente 47,55%, 5,17 e 7,33 mg dm⁻³) e menor média para o atributo H+Al (19,66mmolc dm⁻³) indicando a possibilidades de solos menos ácidos. Para Neves et al. (2009) os nutrientes mais extraídos e exportados pelo feijão-caupi apresentam a seguinte ordem decrescente N>K>Ca>P>Mg>S e as médias mais próximas das faixas adequadas conforme Posse et al. (2010) . Por esse motivo acredita-se que o GII apresenta áreas com maior aptidão de produção do feijão-caupi devido as maiores médias de V, pH e P.

As maiores médias para V e P (Tabela 03) estão diretamente relacionadas com os valores mais altos de pH nesses locais. Para Oliveira et al. (2019) altos teores de bases como o cálcio e magnésio são comuns em ambientes com maiores valores de pH. Ressalte-se, ainda, que o pH do solo é um fator que influencia diretamente a presença de nutrientes, existindo uma faixa ótima próxima de 6,5, em que se percebe um equilíbrio entre a disponibilidade de todos os nutrientes (Malavolta, 1981).

Para fins práticos, Lopes (1995) considera a faixa de pH entre 5,5 e 6,5 adequada para a maioria das plantas cultivadas no Brasil, e o feijoeiro está inserido nessa faixa. O autor afirma ainda que com exceção do ferro, cobre, manganês e zinco, que apresentam diminuição da disponibilidade com a elevação do pH, todos os demais, como as bases cálcio, magnésio e potássio e o fósforo, dentre outros, tem sua disponibilidade aumentada quando realizada a correção da acidez por meio do uso racional da calagem.

De uma forma geral observa-se nos resultados apresentados na Tabela 03 que o pH apresentou em todos os grupos médias abaixo do considerado desejável para a cultivo de feijão: 4,09 (subgrupo Ia), 4,22 (subgrupo Ib) e 5,17 (grupo II), indicando

assim a necessidade de calagem para aumentar o V. O grupo II foi o que mais se aproximou da condição ideal de pH. Essa característica de acidez se dá porque ao longo dos anos, com condições de precipitação mais intensa ocorre grande lixiviação das bases, permanecendo no complexo de troca, predominantemente os cátions H^+ + Al^{2+} (Theodoro et al., 2003).

Para Silva et al. (2010) é importante à manutenção dos teores dos nutrientes nas faixas de teores médio e alto. Promovendo condições adequadas a disponibilidade de nutrientes para as plantas e possibilitando produtividades satisfatórias, caso não ocorra outro fator limitante.

5 CONCLUSÃO

As variáveis que referem-se a fertilidade (V, H+Al, pH, Fe, P, MO) apresentaram maior correlação com a CP1 e contribuíram para a separação dos grupos formados pela análise de agrupamento e componentes principais.

As áreas que apresentaram maior aptidão para o cultivo de feijão-caupi estão indicadas no grupo II e representou áreas com menor percentual de inclinação e menor altitudes, possivelmente são áreas de deposição de sedimentos. O grupo II está localizado ao lado direito no biplot e seu agrupamento foi influenciado principalmente pela CP1, diferenciando-se sobretudo pelas maiores médias de V e P e menores médias de pH.

As áreas com maiores teores médios de H+Al possivelmente apresentam menor aptidão para cultivo do feijão. Essas áreas foram indicadas pelos subgrupos Ia e Ib localizadas ao lado esquerdo e na parte inferior do biplot. Nesses subgrupos a influência da CP1 foi através dos autovetores representados por H+Al, Mo e Fe. A CP2 influenciou nesses agrupamentos por meio dos autovetores AT, XFD, SM e Fed.

A análise de variância e teste tukey confirmou a existência de diferença significativa entre os grupos oriundos da análise de agrupamento e componentes principais, demonstrando que o grupo II tem maior aptidão para o cultivo do feijão.

6 LITERATURA CONSULTADA

Araújo R, Goedert WJ, Lacerda MPC (2007) Qualidade de um Solo sob Diferentes Usos e Sob Cerrado Nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1099–1108.

Artur AG, Oliveira DP, Costa MCG, Romero RE, Silva MVC, Ferreira TO (2014) Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo , associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2:141–149.

Bahia ASRS, Marques Júnior J, La Scala Júnior N, Cerri CEP, Camargo, LA. (2018) Prediction and Mapping of Soil Attributes using Diffuse Reflectance Spectroscopy and Magnetic Susceptibility. **Soil Science Society of America Journal**, 81: 1450–1462. doi: 10.2136/sssaj2017.06.0206.

Bahia ASRS, Marques Jr J, Siqueira DS (2015) Procedures using diffuse reflectance spectroscopy for estimating hematite and goethite in Oxisols of São Paulo, Brazil, **Geoderma Regional**, 5:150–156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.04.006>.

Barbosa PADC (2017) **Qualidade Física do Solo Submetido À Prática de Pousio em Área Sob Processo de Desertificação**. Tese (doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Ceará. Disponível em <: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5028624> Acesso em: 01 dez 2019.

Barrios MDR, Marques Junior J, Matias SSR, Panosso AR, Siqueira DS, La Scala Jr N (2017) Magnetic Susceptibility as Indicator Of Soil Quality In Sugarcane Fields, **Rev. Caatinga**, 30: 287–295.

Brookes PC (1995) The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals, **Biology and Fertility of Soils**, 19(4):pp. 269–279. Disponível em: < at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00336094>. Acesso em: 15 jan 2020.

Blume HP, Schwertmann, U (1969) Genetic evaluation of profile distribution of aluminum, iron, and manganese oxides. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 33, p. 438-444.

CAMARGO AO, MONIZ AC, JORGE JÁ, VALADARES LMAS (1986) **Métodos de análise química, mineralógica e física dos solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 96 p. (Boletim Técnico, 106).

Camargo LA (2013) **Relações Entre Mineralogia da Argila , Fósforo em Latossolos da Região de Jaboticabal - SP**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista - Unesp Câmpus de Jaboticabal.

Canbay M, Aydin A, Kurtulus C (2010) Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey). **Journal of Applied Geophysics**. Elsevier B.V., 70(1):46–57. doi: 10.1016/j.jappgeo.2009.11.002.

Carmo DAB, Marques Júnior J, Siqueira DS, Bahia ASRS, Santos HM, Pollo GZ (2016) Cor do solo na identificação de áreas com diferentes potenciais produtivos e qualidade de café. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 51(1):1261–1271. doi: 10.1590/S0100-204X2016000900026.

Carneiro MAC, Souza ED, Reis EF, Pereira HS, Azevedo WR (2009) Atributos Físicos, Químicos e Biológicos de Solo de Cerrado Sob Diferentes Sistemas De Uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33(1):147–157. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n1/16.pdf>.

Carnerio MJ, Maluf R (2003) **Para além da produção: multifuncionalidade e agricultura familiar**. Rio de Janeiro: Nead.

Carvalho SRL, Vilas Boas GS, Fadigas FDS (2011) Análise da Estrutura de Dados e Agrupamento de Variáveis de Solo Relacionadas com a Concentração de Alguns Metais Pesados, **Cadernos de Geociências**, 8:33–41.

Cazella AA, Bonnal P, Maluf RS (2009) **A Agricultura Familiar: multifuncionalidade e desenvolvimento territorial no Brasil**. Rio de Janeiro: Mauad X.

Chaves LHG, Tito GA, Chaves IB, Luna JG, Silva PCM. (2004) Propriedades Químicas do Solo Aluvial da Ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). **R. Bras. Ci. Solo**, 28(5):431–437.

CHEN S, Lin B, Li Y, Zhou S, (2020) Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain , China. **Geoderma**, 357: p. 13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113937>.

CONAB (2018) **Perspectivas para a agropecuária**. Companhia Nacional de Abastecimento. 5: 1–111.

Corrêa AN., Tavares MHF, Uribe-Opazo MA (2009) Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, 30, n.1, p. 81–94.

Cornell RM, Schwertmann U (1996) **The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses**. New York: VCH Publishers, 573p.

Costa ACS, Bigham JM, Rhoton FE, Traina SJ (1999) Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in southern Brazil. **Clays and Clay Minerals**, New York, v.4, n.4, p.466-473.

Dearing JA (1994) Environmental magnetic susceptibility. Using the Bartington MS2 system. England: **British Library**, 104 p.

Doran JW, Parkin TB (1994) Defining and Assessing Soil Quality. **Soil Science Society of America Journal**, 35, p. 21. doi: doi:10.2136/sssaspecpub35.c1.

Ebeling AG, Anjos LHC, Perez DV, Pereira MG, Valladares, GS (2008) Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, 67(2):429–439.

EMBRAPA (2006) **Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental: Solo, Água e Sedimentos**. 1ª. Embrapa Meio Ambiente.

EMBRAPA (2011) **Manual de métodos de análise de solos**. 2º ed. Rio de Janeiro:Embrapa Solos: **Embrapa Solos**.

Ernani PR (2008) **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, p. 154 – 187.

Fabris JD, Coey JMD, Mussel WN (1998) Magnetic soils from mafic lithodomains in Brazil. **Hyperfine Interactions**, v. 113, p. 249–258.

Fassbender HW, Bornemisza E (1987) Química dos Suelos com Ênfasis em Suelos de America Latina. San José: **IICA**, 1987, p.161-186.

Ferreira SAD, Santana DP, Fabris JD, Curi N, Filho EM, Coey JMD (1994) Relações Entre Magnetização, Elementos Traços E Litologia De Duas Seqüências De Solos Do Estado De Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18(l):167–174. Disponível em:< <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/66472/1/Relacoes-magnetizacao.pdf>>.

Ferreira DF (1996) **Análise Multivariada**. Lavras. MG. Departamento de Exatas. Apostila 400 p. Universidade Federal de Lavras.

Fontana A, Benites VM, Pereira MG, Anjos LHC (2008) Substâncias Húmicas como Suporte à Classificação de Solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2073–2080.

Freire Filho FR (1988) **Origem, Evolução e Domesticacao do Caupi**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP.

Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Rocha MM, Silva KKD, Nogueira MSR, Rodrigues EV (2011) **Feijão-Caupi no Brasil: Produção, Melhoramento Genético, Avanços e Desafios**. Terezina/PI: Embrapa Meio-Norte.

Freitas L (2014) **Qualidade e Erodibilidade de Latossolos Sob Mata e Cultivo de Cana-de-Açúcar**. Tese (doutorado em agronomia). Universidade Estadual Paulista - Unesp Câmpus De Jaboticabal.

Gama MAP (1988) **Determinação da Acidez Potencial e da Necessidade de Calagem em Solos do Nordeste Paraense**. Dissertação (mestrado em agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 83p, Piracicaba.

Gonçalo Filho F (2015) **Avaliação de técnicas de manejo da caatinga através da análise dos atributos físicos e químicos do solo**. Dissertação (mestrado em manejo de solo e água). Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA. Disponível em:< http://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/tede/427/1/FranciscoGF_DISSERT.pdf>. Acesso em: 15 nov 19.

Grimley DA, Vepraskas MJ (2000) Magnetic Susceptibility for Use in Delineating Hydric Soils. **Soil Science Society of America Journal**, 64:2174–2180.

Grobe JR (2005) **Aplicações da Estatística Multivariada na Análise de Resultados em Experimentos com Solos e Animais**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Paraná.

Hair JF, Anderson RE, Tatham RL, Blac WC (2005) **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 688 p.

Hair JF, Blac WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL (2009) **Análise Multivariada De Dados**. 6ª. Bookman.

Hinge G, Surampalli RY, Goyal MK (2019) Effects of Land Use and Soil Management on Soil Quality in India's Northeastern Himalayas. **Journal of Environmental Engineering (United States)**, 145(4):1–9. doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001507.

IBGE. (2009) **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Diretoria de Geociências. Mapa Esquemático de Solos – Pedologia. Estado do Pará. 1ª edição.

Iswanto BH, Zulaikah S (2019) Selection method to identify the dominant elements that contribute to magnetic susceptibility in sediment. **Journal of Physics: Conference Series**. 1402(7): 1–5. doi: 10.1088/1742-6596/1402/4/044087 Selection.

Johnson RA, Wichern DW (2007) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6º. New Jersey: **Prentice Hall**.

Junior AVI, Kämpf N (2003) Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditonito- citrato-bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27(1):1139–1147.

Kampf N, Curi N (2000) Óxidos de ferro: indicador de ambiente pedogênicos e geoquímicos. In: FREITAS, J. R. Tópicos em Ciência do Solo – Vol. 1. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. p. 107-138.

Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, New York, v. 23, n. 3, p. 187–200.

Landim PMB (2003) **Análise estatística de dados geológicos**. 2.ed. São Paulo. UNESP, 253 p

Leite LFC, Oliveira FC, Araújo ASF, Galvão SRS, Lemos JO, Silva, EFL (2010) Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, 48:(258–265) doi: <https://doi.org/10.1071/SR09122>.

Liaqat S, Qayyum A, Muhammad RW, Hamza A, Yousaf M, Shah J, Hussain M, Ahmad B, Irshad A, Ahmed RI, Noor E, Malik W, Ammar A, Mahmood S, Aziz MK, Ahmad MQ, Naseer NS (2014) Genetic evaluation and linkage studies among the economic traits of barley (*Hordeum vulgare* L .) under arid conditions. **Journal of Food, Agriculture & Environment**. Vol.12:718–724.

Lira EC (2016) **Indicadores da Qualidade do Solo Sob Monocultivo de Uva Isabel: Atributos Químicos e Mineralógicos do Solo**. Tese (doutorado em ciência do solo). Universidade Federal da Paraíba.

Lopes AS (1995) **Manual internacional de fertilidade do solo**, Potafos. Piracicaba.

Lopes MC, Haselein CR, Santini EJ, Menezes SJL, Fernandes SRDLG, Menezes LF de (2004) Agrupamento de Árvores Matrizes de *Eucalyptus Grandise* em Função das Variáveis Dendrométricas e das Características Tecnológicas da Madeira. **Ciência Florestal**, 14(2):133–144.

Malavolta E (1976) **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronomica Ceres, 528 p.

Malavolta E (1981) **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 594 p.

Matias SSR, Marques Júnior J, Siqueira DS, Pereira GT (2013) Modelos de paisagem e susceptibilidade magnética na identificação e caracterização do solo. **Pesq. Agropec. Trop**. 43: 93–103. Disponível em: < www.agro.ufg.br/pat ->. Acesso em: 15 nov 19.

Mathé V, Lévêque F, Mathé PE, Chevallier C, Pons Y (2006) Soil anomaly mapping using a caesium magnetometer: Limits in the low magnetic amplitude case. **Journal of Applied Geophysics**, Amsterdam, v.58, n. 3, p. 202–217.

MEHRA OP, JACKSON ML (1960) Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite- citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: SWINEFORD, A., editor. **National conference on clays and clay mineral**. Washington: Pergamon Press, p. 317– 342

MELO FAF (1985) **Origem, natureza e componentes da acidez do solo: critérios para calagem**. Campinas: Fundação Cargill, p.65-95.

Melém Júnior JN, Fonseca ICB, Brito OR, Decaëns T, Carneiro MM, Matos MFA, Melo FAF (2008) **Origem, natureza e componentes da acidez do solo: critérios para calagem**. Campinas: Fundação Cargill, p.65-95.

Mullins BA (1977) Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.28, n. 2, p.223-246.

Menezes, CEG (2008) **Integridade de Paisagem , Manejo e Atributos do Solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ**. Tese (doutorado em agronomia) Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro. Disponível em<: https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/tede/326/1/2008_Carlos_Eduardo_Gabriel_Menezes.pdf>. Acesso em: 10 nov 19.

Moitinho MR (2017) **Variabilidade da Emissão de CO₂ Do Solo Sob Diferentes Manejos Em Áreas de Cana-De-Açúcar**. Tese (doutorado em agronomia) Universidade Estadual Paulista – UNESP FCAV.

Neves ALR, Lacerda CF, Guimarães FVA, Hernandez FFF, Silva FB, Prisco JT, Hans Raj Gheyi (2009) Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, 39: 758–765.

Novaes Filho JP, Couto EG, Oliveira VA, Johnson MS, Lehmann J, Riha SS (2007) Variabilidade Espacial de Atributos Físicos de Solo Usada na Identificação de Classes Pedológicas de Microbacias na Amazônia Meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31(5):91–100.

Oliveira IP, Carvalho AM (1988) **A cultura do caupi nas condições de clima e de solo dos trópicos úmido e semi-árido do Brasil**. In: Araújo JPP, Watt EE (Ed.). O caupi no Brasil. Brasília: EMBRAPA-IITA, p.249-283.

Oliveira IA (2017) **Suscetibilidade magnética da terra preta arqueológica amazônica**. Tese (doutorado em agronomia). Universidade Estadual Paulista - FCAV.

Oliveira IJ, Fontes JRA, Dias MC, Barreto JF (2019) **Recomendações Técnicas para o Cultivo de Feijão-Caupi no Estado do Amazonas**. EMBRAPA, p.1517–2449.

Oliveira Júnior JO, Medeiros RD, Silva PRVP, Smiderle OJ, Júnior MM (2002) **Técnicas de manejo para o cultivo do caupi em Roraima**. EMBRAPA, p. 1–18.

Oliveira LSS (2019) **Índice Espectral de Vegetação e Fertilidade do Solo na Cultura de Cana-de-Açúcar Solo na Cultura De Cana-de-Açúcar**, Dissertação Repositório (mestrado em agronomia) UNESP. Universidade Estadual Paulista Câmpus De Jaboticabal.

ONU. (2015) Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Pesquisado em: > <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/><. Acesso em: jan, 2020.

Özdemir Ö, Dunlop DJ (1997) Effect of crystal defects and internal stress on the domain structure and magnetic properties of magnetite. **Journal of Geophysical Research-All Series**, 102:211-224.

Peluco RG, Marques Júnior J, Siqueira DS, Pereira GT, Barbosa RS, Teixeira DB, Adame CR, Cortez LA (2013) Suscetibilidade magnética do solo e estimação da capacidade de suporte à aplicação de vinhaça. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 48(6):661–672. doi: 10.1590/S0100-204X2013000600012.

Pollo GZ (2013) **Susceptibilidade Magnética, Atributos do solo e da Planta na Discriminação de Áreas de Manejo Específico na Cultura do Café**. Dissertação (mestre em produção vegetal), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. UNESP Câmpus de JaboticabaL. Disponível em;< at: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88578/000739148.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 nov 19.

Posse SCP, Riva-Souza EM, Silva GM, Fasolo LM, Silva MB, Rocha MAM. (2010) **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central-brasileira : 2009-2011**. Incaper. Vitória - ES: Incaper.

R. R Core Team (2019) A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p

Raij BV, Quaggio JA, Cantarella H, Abreu CA (1997) **Interpretação de resultados de análise de solo**. In: Raij, B. van et al. (Eds.). Recomendações de adubação e calagem para Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 2.ed. rev., 1997. p.8-13. (Boletim técnico, 100).

Reinert DJ (2006) Qualidade física dos solos. In: **Reunião Brasileira De Manejo E Conservação Do Solo E Da Água**, 16., 2006, Aracaju. Anais... Aracaju: SBCS.

Resende JMA, Marques Júnior J, Martins MV, Dantas JS, Siqueira DS, Teixeira DB (2014) Variabilidade Espacial de Atributos de Solos Coesos do Leste Maranhense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(1):1077–1090.

Salvador A, Antuniassi UR (2011) Imagens Aéreas Multiespectrais Na Identificação De Zonas De Manejo Em Áreas De Algodão Para Aplicação Localizada De Insumos. **Revista Energia na Agricultura**, 26:1–19.

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

Santos FCV (2016) **Propriedades Físico-Hídricas de um Neossolo Quartzarenico Sob Diferentes Sistemas de Uso do Solo**. Tese (doutorado em agronomia). Universidade Federal de Goiás.

Santos, PG, Ildegardis, BM, David, JM, Almeida, JÁ, Mafra, AL (2015) Agrupamento de Pedons de Cambissolos Húmicos com Base em Atributos Físicos e Químicos Utilizando a Estatística Multivariada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(1):350–360. doi: 10.1590/0100683rbcs20130415.

Sheikh F, Dehghani H, Aghajani M A (2015) Screening faba bean (*Vicia faba* L .) genotypes for resistance to Stemphylium blight in Iran. **European Journal of Plant Pathology**, 143:677–689. doi: 10.1007/s10658-015-0718-4.

SCHWERTMANN, U (1973). Use of oxalate for Fe extraction from soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.53, p.244-246.

Silva AR, Souza Junior IG, Costa ACS (2010) Suscetibilidade Magnética do Horizonte B de Solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(3):329–337.

Silva, GDS. (2013) **Qualidade Física de um Argissolo Acinzentado do Município de Pacajus (CE) Após a Aplicação de Resíduo de Caju**. Dissertação (mestrado em agronomia) Universidade Federal Do Ceará. Disponível em:< http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/9004/1/2013_dis_gssilva.pdf>. Acesso em: 14 jan 2020.

Silva, SP (2015) **A Agricultura Familiar e suas Múltiplas Interações com o Território: Uma Análise de suas Características Multifuncionais e Pluriativas**. Edited by S. P. Silva. Brasília:Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - ipea.

Silva ENS, Montanari R, Panosso AR, Correa AR, Tomas PK, Ferraudo, AS (2015a) Variabilidade de Atributos Físicos e Químicos do Solo e Produção de Feijoeiro Cultivado em Sistema de Cultivo Mínimo com Irrigação. **R. Bras. Ci. Solo**, 39(1):598–607. doi: 10.1590/01000683rbcs20140429.

Silva GF, Santos D, Silva AP, Souza, JM (2015b) Indicadores de Qualidade Do Solo Sob Diferentes Sistemas de Uso na Mesorregião do Agreste Paraibano. **Revista Caatinga**. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n303rc>.

Silva Junior JF, Lopes MC, Cardoso SS. (2015) Características Biométricas em Cultivares de Feijão-caupi. **Holos Environment**, v. 15, n.1, p. 75-81, ISSN: 1519.8364.

Siqueira DS, Marques JR J, Matias SSR, Barrón V, Torrent J, Baffa O, Oliveira LC (2010) Correlation of properties of Brazilian Haplustalfs with magnetic susceptibility measurements. **Soil Use and Management**, 26: 425–431. doi: 10.1111/j.1475-2743.2010.00294.x.

Siqueira DS, Barrón V, Marques JR J, Torrent J, Camargo LA, Teixeira DDB (2014) Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. **Geoderma**. Elsevier B.V., 219–220: 3–71. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.12.007.

Siqueira DS, Marques Júnior J, Teixeira DDB (2016) Magnetic susceptibility for characterizing areas with different potentials for sugarcane production. **Pesq. agropec. bras., Brasília**. v.51:1349–1358. doi: 10.1590/S0100-204X2016000900034.

SNEATH PHA, SOKAL RR (1973) **Numerical taxonomy**. San Francisco: Freeman and Co, 573 p.

Souza ZM, Marques Júnior J, Pereira GT, Moreira LF (2004) Variabilidade espacial do pH , Ca , Mg e V % do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, 34:1763–1771.

Souza ZM, Marques Júnior J, Pereira GT, Montanari R, Campos MCC (2006) Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Científica**, 34:249–256.

Theodoro VCA, Alvarenga MIN, Guimarães RJ, Souza CAS (2003) Alterações Químicas em Solo Submetido com Diferentes Formas de Manejo do Cafeeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 27(1):1039–1047.

Valadão FCDA (2010) **Análise Multivariada na Avaliação da Fertilidade de Solos de Mato Grosso**. Dissertação (mestrado em agricultura tropical). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT.

Valladares GS, Gomes EG, Mello JBCBS, Pereira MG, Cunha LHCA, Ebeling AG, Benites VM (2008) Análise dos Componentes Principais e Métodos Multicritério Ordinais no Estudo de Organossolos e Solos Afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(1):285–296.

Veiverberg KT (2016) **Delineamento de Zonas Potenciais para Manejo Diferenciado em Nível de Talhão Apartir de Dados de Colheita e de Imagens de Satélite**. Dissertação (mestrado em agricultura de precisão). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria -RS.

Verosub KL, ROBERTS AP (1995) Environmental magnetism: past, present and future. **Journal of Geophysical Research**, v.100, p.2175-2192, DOI: 10.1029/94JB02713

Vendrame PRS, Brito OR, Quantin C, Becquer T (2007) Disponibilidade de cobre , ferro , manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesq. agropec. bras**, 42(06): 859–864

Zardin AR (2018) **Atributos químicos e mineralógicos de solos derivados de arenito , basalto e disponibilidade de Cu , Zn , Fe , Mn e Ni**. Tese (doutorado em agronomia) Universidade Estadual de Maringá.