

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL



**ATRIBUTOS DO SOLO, ESTOQUE DE CARBONO E ERODIBILIDADE
EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS NO ASSENTAMENTO SÃO
FRANCISCO, CANUTAMA, AMAZONAS**

FERNANDO GOMES DE SOUZA

MANAUS - AM

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

FERNANDO GOMES DE SOUZA

**ATRIBUTOS DO SOLO, ESTOQUE DE CARBONO E ERODIBILIDADE
EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS NO ASSENTAMENTO SÃO
FRANCISCO, CANUTAMA, AMAZONAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos

Coorientador: Prof. Dr. José Mauricio da Cunha

MANAUS - AM

2018

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729a Souza, Fernando Gomes de
Atributos do solo, estoque de carbono e erodibilidade em áreas sob diferentes usos no assentamento São Francisco, Canutama, Amazonas / Fernando Gomes de Souza. 2018
175 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Milton César Costa Campos
Coorientador: José Mauricio da Cunha
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Amazônia. 2. Atributos físicos e químicos. 3. Análise geoestatística. 4. Análise multivariada. I. Campos, Milton César Costa II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

FERNANDO GOMES DE SOUZA

**ATRIBUTOS DO SOLO, ESTOQUE DE CARBONO E ERODIBILIDADE
EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS NO ASSENTAMENTO SÃO
FRANCISCO, CANUTAMA, AMAZONAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Aprovado em 18 de Dezembro de 2018

BANCA EXAMINADORA

Milton César Costa Campos

Prof. Dr. Milton César Costa Campos
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Valdinar Ferreira Melo

Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo
Universidade Federal de Roraima - UFRR

Renato Eleoterio de Aquino

Prof. Dr. Renato Eleoterio de Aquino
Instituto Federal de Rondônia - IFRO

Ivanildo Amorim de Oliveira

Prof. Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira
Instituto Federal do Pará - IFPA

Luís Antônio Coutrim dos Santos

Prof. Dr. Luís Antônio Coutrim dos Santos
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho somente a **DEUS** e ao rei **JESUS**, que de forma tremenda ensinou-me a entender e compreender que **para tudo há uma ocasião certa; há um tempo certo para cada proposito debaixo do ceu: tempo para nascer, e tempo para morrer; tempo para plantar, e tempo para colher** (ECLESIASTES 3:1-2).

Ensinou-me que é melhor obter sabedoria do que ouro! É melhor obter entendimento do que prata! (PROVÉRBIOS 16:16).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado, me protegendo e me fortalecendo em todos os momentos ao longo desta caminhada. Como diz o Provérbios 15:22 “Quando não há conselhos os planos se dispersam, mas havendo muitos conselheiros eles se firmam”. Após esta reflexão gostaria de dizer que não me faltaram conselheiros para que este trabalho ficasse pronto. Assim agradeço também:

À minha esposa, Jhennyffer Pereira de Souza, pelo companherismo e amizade no decorrer dos anos, sempre apoiando e incetivando a nunca desistir dos meus planos e objetivos; ao meu filho Kallebhe Emanuel Pereira de Souza pela sua compreensão em saber que seu pai estava buscando o melhor para todos, e por esse motivo talvez não dei a atenção ao qual o mesmo merecia, durante esses quase quatro anos de Doutorado.

Ao programa de pós-graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas (UFAM); e a cordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudo durante todo o curso;

À minha mãe Elisabete Gomes de Souza; ao meu padastro, Aroldo Benevenuto da Silva; e meus avós maternos Eduardo Frankin e Eusami Gomes Brito, pelos seus ensinamentos transmitidos durante toda minha criação, aos meus tios que me deram força para continuar toda esta caminhada deste minha Graduação, em especial, à minha tia, Elizete Gomes de Souza, que me ajudou financeiramente ao longo de todo o curso superior, aos meus irmãos Luiz Eduardo e Clara Vitória, pelo apoio durante toda caminhada acadêmica; à minha sogra Maria Goretti Pereira Lima, pelo incetivo e força nos momentos de desanimo.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Milton César Costa Campos, pela orientação e conselhos passados durante todo o período do curso de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, sei que o mesmo foi de extrema importância para que eu alcance com êxito todas as etapas requeridas pelo programa de pós-graduação.

Ao Prof. Dr. José Mauricio da Cunha pela contribuição de coorientação durante todo o processo de execução do projeto de tese, dando sugestões e críticas que melhoraram a redação final deste trabalho;

A toda a equipe que integra ou fizeram parte do Grupo de Pesquisa Solos e Ambientes Amazônicos do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) da UFAM, em especial aos amigos Alan Ferreira Lima, Eduardo Antônio Neves dos Santos, Wildson Benedito de Mendes Brito, Elyenayra Nogueira Pinheiro e Elilson Gomes de Brito Filho pelas variadas contribuições deste a delimitações das áreas estudadas, coletas, análises realizadas em laboratório e ajuda na estatística geral dos dados.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO, pela concessão de afastamento para capacitação no período de 1 ano, o qual foi extremamente importante para o presente trabalho fosse concluído e a defesa realizada dentro do prazo regimental estabelecido pelo programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas.

Aos demais professores, pesquisadores da Universidade Federal do Amazonas e amigos do doutorado, que sempre estiveram direta ou indiretamente acreditando ou contribuindo para que o objetivo final deste trabalho fosse alcançado.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I - Atributos físicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas de cultivo no sul do Amazonas, Brasil.

Figura 1 Localização e modelo de elevação digital das áreas com guaraná, cupuaçu, urucum e floresta, no município de Canutama, região sul do Amazonas - AM..... 56

Figura 2 Análise de componentes principais dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no sul do Amazonas.....75

CAPÍTULO II - Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas de cultivo no sul do Amazonas, Brasil.

Figura 1 Localização e modelo de elevação digital das áreas com guaraná, cupuaçu, urucum e floresta, no município de Canutama, região sul do Amazonas - AM.....89

Figura 2 Análise de componentes principais dos atributos químicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no sul do Amazonas - AM..... 105

CAPÍTULO III - Estabilidade de agregados e estoque de carbono sob conversão de floresta para diferentes sistemas de cultivo no sul do Amazonas, Brasil.

Figura 1 Localização e modelo de elevação digital das áreas com guaraná, cupuaçu, urucum e floresta, no município de Canutama, região sul do Amazonas - AM.....118

Figura 2 Semivariogramas ajustados aos atributos na profundidade 0,00 a 0,05 cm, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM. Modelo (R^2 , VC e GDE)..... 135

Figura 3 Semivariogramas ajustados aos atributos na profundidade 0,05 a 0,10 cm, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM. Modelo (R^2 , VC e GDE)..... 136

Figura 4	Semivariogramas ajustados aos atributos na profundidade 0,10 a 0,20 cm, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM. Modelo (R^2 , VC e GDE)	137
Figura 5	Análise de componentes principais dos atributos dos solos estudados na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM.....	139

CAPÍTULO IV - Avaliação dos impactos na erodibilidade do solo sob conversão de floresta nativa em áreas de cultivo com espécies amazônicas.

Figura 1	Localização e modelo de elevação digital das áreas com guaraná, cupuaçu, urucum e floresta, no município de Canutama, região sul do Amazonas - AM.....	149
Figura 2	Semivariogramas experimentais ajustados dos atributos da erodibilidade na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM. Modelo (R^2 , VC, alcance e GDE)	164
Figura 3	Mapas de krigagem dos atributos matéria orgânica, areia, silte, argila, Fator K: erodibilidade global do solo; $K_{i_{wepp}}$: erodibilidade em entressulcos; $K_{r_{wepp}}$: erodibilidade em sulcos; $T_{c_{wepp}}$: Tensão cisalhante das áreas de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM.....	165
Figura 4	Análise de componentes principais dos atributos dos solos estudados na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM.....	168

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - Atributos físicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas de cultivo no sul do Amazonas, Brasil.

- Tabela 1 Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade de 0,00-0,05 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.....63
- Tabela 2 Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade de 0,05-010 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM..... 64
- Tabela 3 Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade de 0,10-0,20 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.....65
- Tabela 4 Correlação de Pearson dos atributos físicos do solo em áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas - AM.....71
- Tabela 5 Correlação entre cada componente principal das variáveis analisadas dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas - AM.....74

CAPÍTULO II - Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas de cultivo no sul do Amazonas, Brasil.

- Tabela 1 Estatística descritiva e teste de média da camada 0,00 – 0,05 m do pH em água, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), fósforo (P), carbono orgânico (CO), em áreas de Cupuaçu, Guaraná, Urucum e Floresta no município de Canutama-AM.....94
- Tabela 2 Estatística descritiva e teste de média da camada 0,05 – 0,10 m do pH em água, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), fósforo (P), carbono orgânico (CO), em áreas de Cupuaçu, Guaraná, Urucum e Floresta no município de Canutama-AM.....95

Tabela 3	Estatística descritiva e teste de média da camada 0,10 – 0,20 m do pH em água, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), fósforo (P), carbono orgânico (CO), em áreas de Cupuaçu, Guaraná, Urucum e Floresta no município de Canutama-AM.....	96
Tabela 4	Correlação entre cada componente principal das variáveis analisadas dos atributos químicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas - AM.....	104

CAPÍTULO III - Estabilidade de agregados e estoque de carbono sob conversão de floresta para diferentes sistemas de cultivo no sul do Amazonas, Brasil.

Tabela 1	Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,00-0,05 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.....	125
Tabela 2	Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,05-0,10 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.....	126
Tabela 3	Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,10-0,20 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.....	127
Tabela 4	Correlação entre cada componente principal e variáveis analisadas e análise fatorial dos atributos do solo com os fatores rotacionados (Varimax) (Fator 1 e 2) correspondentes as áreas com diferentes usos no Sul do Amazonas – AM.....	138

CAPÍTULO IV - Avaliação dos impactos na erodibilidade do solo sob conversão de floresta nativa em áreas de cultivo com espécies amazônicas.

Tabela 1	Classes textural e Classes de permeabilidade do solo.....	153
Tabela 2	Teste de média e estatística descritiva dos atributos da erodibilidade do solo na profundidade de 0,00-0,20 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.....	157

Tabela 3	Correlação de Pearson dos atributos da erodibilidade em áreas sob conversão de floresta para ambientes de cultivo no município de Canutama, AM.....	162
Tabela 4	Correlação entre cada componente principal e variáveis analisadas e análise fatorial dos atributos do solo com os fatores rotacionados (Varimax) (Fator 1 e 2) correspondentes as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.....	167

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo Geral	20
2.2 Objetivos Específicos	20
3. REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Caracterização das culturas do cupuaçu, urucum e guaraná	21
3.2 Efeitos do uso e manejo sobre os atributos do solo.....	23
3.3 Carbono orgânico e estoque de carbono após a conversão de ecossistemas	25
3.4 Influência da erosão na qualidade física e química do solo	27
3.5 Estimativa de erodibilidade do solo.....	30
3.6 Utilização geoestatística no estudo da variabilidade espacial de atributos do solo	32
3.7 Análise univariada e multivariada para atributos do solo.....	35
4. REFERÊNCIAS	40
5. CAPÍTULO I: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA AMAZÔNICA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL.	52
RESUMO	52
ABSTRACT	53
5.1 INTRODUÇÃO	54
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	56
5.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	56
5.2.2 Metodologia de Campo.....	57
5.2.3 Determinações e análises em Laboratório	58
5.2.4 Análises Estatísticas	60
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
5.4 CONCLUSÕES.....	79
5.5 REFERÊNCIAS	80
6. CAPÍTULO II: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA AMAZÔNICA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL.	84

RESUMO -----	84
ABSTRACT -----	85
6.1 INTRODUÇÃO -----	86
6.2 MATERIAL E MÉTODOS -----	88
6.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo -----	88
6.2.2 Metodologia de Campo -----	90
6.2.3 Determinações e análises em Laboratório -----	90
6.2.4 Análises Estatísticas -----	91
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	93
6.4 CONCLUSÕES -----	109
6.5 REFERÊNCIAS -----	110
7. CAPÍTULO III: ESTABILIDADE DE AGREGADOS E ESTOQUE DE CARBONO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL. -----	114
RESUMO -----	114
ABSTRACT -----	115
4.1 INTRODUÇÃO -----	116
7.2 MATERIAL E MÉTODOS -----	118
7.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo -----	118
4.2.2 Metodologia de Campo -----	120
4.2.3 Determinações e análises em Laboratório -----	120
4.2.4 Análises Estatísticas -----	122
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	124
7.4 CONCLUSÕES -----	141
7.5 REFERÊNCIAS -----	142
8. CAPÍTULO IV: AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS NA ERODIBILIDADE DO SOLO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA NATIVA EM ÁREAS DE CULTIVO COM ESPÉCIES AMAZÔNICAS. -----	145
RESUMO -----	145
ABSTRACT -----	146
8.1 INTRODUÇÃO -----	147
8.2 MATERIAL E MÉTODOS -----	149
8.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo -----	149
8.2.2 Metodologia de Campo -----	150

8.2.3 Análises em Laboratório -----	151
8.2.4 Determinação dos Fatores de Erodibilidade (K , K_i , K_r) e Tensão Cisalhante (T_c) -----	151
8.2.5 Análises Estatísticas -----	153
8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	156
8.4 CONCLUSÕES-----	170
8.5 REFERÊNCIAS -----	171

RESUMO GERAL

Ao longo dos anos a ocupação e substituição de áreas antes florestadas por áreas agrícolas sem o devido conhecimento e a inobservância de critérios técnicos, tem sido um dos principais problemas na região amazônica. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os atributos do solo, erodibilidade e estoque de carbono em áreas sob diferentes usos no assentamento São Francisco, Canutama, AM. Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo, em seguida foram coletadas amostras nos pontos de cruzamento das malhas, nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área, totalizando 240 amostras por área. Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada em forma de torrão nas três profundidades avaliadas para determinação dos atributos físicos e químicos, perfazendo um total de 960 amostras nas quatro áreas avaliadas. Após a determinação dos atributos físicos, químicos, erodibilidade e carbono orgânico os dados foram submetidos às análises univariada e multivariada, sendo que as comparações das médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado foram analisadas pelo teste de Tukey a 5 %, utilizando o programa computacional Statistica 7. Para a complementação do trabalho foi realizada análise geoestatística, a qual foi usada para identificar a distribuição e o padrão espacial das variáveis estudadas, definindo modelos de semivariograma teóricos, afim de avaliar a dependência espacial e gerar os mapas de krigagem. O processo de conversão de florestas em áreas cultivadas sem manejo adequado causou mudanças negativas nos atributos físicos do solo. As áreas cultivadas com guaraná e urucum, apresentaram estágio mais avançado de degradação das propriedades físicas do solo; Os atributos que mais sofreram alterações na conversão de floresta em ambientes cultivados foram: densidade (Ds), macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP), porosidade (Pt), resistência do solo a penetração (RSP) e índice de estabilidade de agregados (IEA). Através da análise multivariada foi possível aferir que as maiores alterações dos atributos físicos para as áreas estudadas ocorreram nas profundidades 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m. O processo de conversão influenciou o estado de agregação do solo, avaliado pelo aumento da dispersão da fração argila e diminuição dos valores do diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e classes de agregados > 2,00 mm; A análise multivariada dos atributos químicos do solo é adequada para identificar os nutrientes que apresentam maior alteração após o processo de conversão floresta / agricultura. As alterações nos atributos químicos foram mais pronunciadas nas camadas superficiais (0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m), o que demonstra a importância da biomassa acima do solo na ciclagem de nutrientes; Os atributos avaliados nas respectivas áreas estudadas se mostraram nos limites do grau de dependência espacial, apresentando dependência variando entre moderada a forte; Na análise multivariada, as áreas de floresta e cupuaçu apresentaram comportamentos semelhantes, com valores de carbono orgânico (CO), estoque de carbono (EC), silte, argila e classes de agregados 2 – 1 mm, < 1mm e IEA, acima da média; As áreas cultivadas com guaraná e urucum apresentaram maior predisposição do solo a sofrer erosão em sulcos (K_{rwepp}) e entressulcos (K_{iwepp}). As áreas de cupuaçu e floresta, apresentaram elevados valores de silte, favorecendo condições de erodibilidade (fator K), em contrapartida as mesmas evidenciaram elevados valores de tensão crítica de cisalhamentos, fato que sinaliza resistência ao início do processo erosivo; A geoestatística de forma integrada com a análise multivariada auxiliou na compreensão do comportamento dos fatores da erodibilidade, após o processo de conversão floresta nativa/áreas cultivadas.

Palavras-chave: Amazônia; Atributos físicos e químicos; Análise geoestatística e multivariada;

ABSTRACT

Over the years, the occupation and replacement of before forested areas by agricultural areas without proper knowledge and non-observance of technical criteria has been one of the main problems in the Amazon region. The present work had as objective to evaluate the soil attributes, erodibility and carbon stock in areas under different uses in the São Francisco, Canutama, AM settlement. Were established meshes according to the dimensions of cultivation, then samples were collected at the crossing points of the meshes, at depths of 0,00-0,05; 0,05-0,10; and 0,10-0,20 m, with 80 sampling points in each area, totaling 240 samples per area. At each sampling point, were collected samples with a structure preserved clod-shaped were collected in the depths evaluated, to determine the physical attributes and chemical, making a total of 960 samples in the four evaluated areas. After the determination of the physical, chemical, erodibility and organic carbon attributes, the data were submitted to univariate and multivariate analysis, and the comparisons of the means of the variables within each studied environment were analyzed by the Tukey test at 5%, using the computational program Statistica 7. To complement the work, a geostatistical analysis was performed, which was used to identify the distribution and spatial pattern of the studied variables, defining theoretical semivariogram models, in order to evaluate spatial dependence and generate kriging maps. The process of conversion of forests into cultivated areas without proper management caused negative changes in the physical attributes of the soil. The areas cultivated with guaraná and urucum presented more advanced stage of degradation of soil physical properties; The attributes that suffered the most changes in forest conversion in cultivated environments were: density (Ds), macroporosity (MaP), microporosity (MiP), porosity (Pt), soil penetration resistance (RSP) and aggregate stability index IEA); Through the multivariate analysis, it was possible to verify that the greatest alterations of the physical attributes for the studied areas occurred in the depths 0.00-0.05 and 0.05-0.10 m; The multivariate analysis of soil chemical attributes is adequate to identify the nutrients that present the greatest alteration after the process of forest / agricultural conversion. The changes in chemical attributes were more pronounced in the superficial layers (0.00-0.05 m and 0.05-0.10 m), this result demonstrates the importance of above-ground biomass in nutrient cycling. The conversion process influenced soil aggregation, evaluated by increasing clay fraction dispersion and decrease in values weighted mean diameter (WMD), geometric mean diameter (DMG) and aggregate classes > 2.00 mm; The attributes evaluated in the respective areas studied were within the limits of the degree of spatial dependence, presenting dependence ranging from moderate to strong; At each sampling point, were collected sample with a structure preserved clod-shaped were collected in the depth evaluated, for determination of soil texture and organic carbon, for a total of 320 samples in the four evaluated areas; In the multivariate analysis, the forest and cupuaçu areas presented similar behavior, with values of organic carbon (CO), carbon stock (EC), silt, clay and classes of aggregates 2 - 1 mm, <1mm and IEA, above average; The areas cultivated with guaraná and urucum presented greater predisposition of the soil to erosion in furrows (Krwepp) and entressulcos (Kiwepp). The areas of cupuaçu and forest presented high silt values, favoring erodibility conditions (factor K). In contrast, they showed high values of critical strain of shear, fact that signal resistance to the beginning of the erosive process; Geostatistics integrated with the multivariate analysis helped to understand the behavior of the erodibility factors, after the process of native forest / cultivated areas conversion.

Key words: Amazon; Physical and chemical attributes; Geostatistical and multivariate analyze.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos a ocupação e substituição de áreas antes florestadas por áreas agrícolas sem o devido conhecimento e a inobservância de critérios técnicos, tem sido um dos principais problemas na região amazônica. Neste sentido, a conversão de ambientes naturais em sistemas agropecuários, especialmente sistemas de monocultivo, tem provocado alterações nos atributos do solo e, na maioria das vezes, causando impacto ambiental negativo (SILVA et al., 2007; FREITAS et al., 2015).

Fundamentalmente o solo é o principal componente de produção vegetal, influenciando o crescimento das plantas, de tal forma que à medida que o solo é submetido ao uso agrícola, os atributos do solo (físicos, químicos e biológicos) sofrem alterações, tornando-se geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal, além de promover desequilíbrio natural dos ecossistemas (JAKELAITIS et al., 2008; CUNHA et al., 2011; FERREIRA et al., 2017). Assim, é importante quantificar as mudanças nos atributos do solo devido à intensificação do seu uso e dos sistemas de manejo, visando o monitoramento e a sustentabilidade dos solos, e, conseqüentemente, a conservação dos recursos naturais (NEVES et al., 2007).

Estudos destacam que um dos componentes importantes afetado pelas alterações antrópicas é o estoque de carbono, a partir do qual os sistemas de uso e manejo do solo modificam, e conseqüentemente interferem na estabilidade dos agregados estáveis. Segundo CAMPOS et al. (2016), há correlação positiva entre a distribuição de agregados com o carbono orgânico, observando assim, aumento na porcentagem dos agregados dos solos com os maiores teores de carbono. Em geral, sabe-se também que práticas de uso e manejo dos solos, e suas variações, alteram os componentes orgânicos tanto em quantidade como em qualidade (MELO e SCHAEFER, 2009).

Vários estudos com manejo de resíduos vegetais oriundos de colheita, frequentemente avaliam o teor de matéria orgânica do solo, pois sabidamente melhora as condições químicas,

físicas, biológicas do solo e aumenta a estabilidade dos agregados (SIX et al., 2004; BAYER e MIELNICZUK, 2008). Desse modo, um solo bem estruturado poderá favorecer à fertilidade, diminuir a erodibilidade do solo e consequentemente aumentar seu potencial produtivo, além de caracterizar-se como fator-chave para moderar o sequestro de C no solo (BRONICK e LAL, 2005). Ademais, a matéria orgânica do solo não é considerada somente uma reserva de carbono, mas também, é a principal responsável pelos níveis de fertilidade da maioria dos solos tropicais (NOVAIS et al., 2007; MUÑOZ et al., 2007).

Há concordância de que a densidade, porosidade, macroporosidade, microporosidade e resistência do solo à penetração indicam o estado em que a estrutura do solo se encontra e servem como indicadores do seu estado de compactação (ANDRADE et al., 2009; ARATANI et al., 2009; SALES et al., 2016). Funcionalmente, uma estrutura do solo ideal oferece melhores condições para o desenvolvimento das plantas, espaço poroso suficiente e contínuo para o movimento de água e gases, e de baixa resistência à penetração das raízes, de forma a não impedir o seu crescimento.

Fato que pode ter influência na estrutura do solo, é o estudo da erodibilidade (fator K). De acordo Lal (1988), a erodibilidade é o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o transporte subsequente. Esses processos são influenciados pelas propriedades do solo, assim como a distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos (ARRAES et al., 2010). Essas características do solo são propriedades dinâmicas, pois podem ser alteradas a todo tempo e sob diferentes usos da terra e manejo superficial do solo, assim, alterando consequentemente, sua erodibilidade ao longo do tempo (LAL, 1988; HUI et al., 2010). Deste modo a erodibilidade é muito variável, devido à ampla variedade de solos com atributos diferenciados, tornando arriscado estimar um valor, com base, unicamente, na classificação do solo (SILVA et al., 1997; MARTINS et al.,

2011). Assim o fator K tem sido estimado por meio de modelos matemáticos que utilizam, como variáveis, atributos relacionados direta ou indiretamente com a resistência do solo à erosão (WANG et al., 2009; PANACHUKI et al., 2010).

Dessa forma, este estudo se justifica sob a hipótese de que áreas sob diferentes usos e manejos causam efeitos diretos nos atributos do solo, além de levar à degradação de grandes áreas, causando um declínio na sua qualidade. Ademais, o manejo incorreto do solo, pode provocar compactação e, conseqüentemente, alteração da estruturação do solo. A cobertura vegetal auxilia na redução da erosão hídrica interceptando as gotas de chuva que impactariam diretamente a superfície do solo. Como consequência há diminuição na energia cinética da chuva causada pelo impacto da gota de chuva, na desestruturação, no selamento superficial do solo e na velocidade da enxurrada, aumentando a infiltração de água no solo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

2.1.1. Avaliar os atributos do solo, erodibilidade e estoque de carbono em áreas sob diferentes usos no assentamento São Francisco, Canutama, AM.

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1. Determinar as propriedades estruturais do solo, como macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e umidade do solo, sob cultivo de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), urucum (*Bixa orellana*), guaraná (*Paullinia cupana*) e área de floresta.

2.2.2. Determinar a estabilidade de agregados do solo, resistência a penetração e a textura do solo sob cultivo de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), urucum (*Bixa orellana*), guaraná (*Paullinia cupana*) e em área de floresta em Canutama, AM.

2.2.3. Determinar os atributos químicos (CO, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e H+Al) em áreas cultivadas com cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), cultivo de urucum (*Bixa orellana*), guaraná (*Paullinia cupana*) e em área de floresta, Canutama, AM.

2.2.4. Quantificar o carbono orgânico (CO), estoque de carbono do solo (EC) e estimar a matéria orgânica (MO) em áreas cultivadas com cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), cultivo de urucum (*Bixa orellana*), guaraná (*Paullinia cupana*) e em área de floresta em Canutama, AM.

2.2.5. Estimar a erodibilidade do solo (K, Ki, Kr) e tensão cisalhante crítica (T_C) em áreas cultivadas com cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), cultivo de urucum (*Bixa orellana*), guaraná (*Paullinia cupana*) e em área de floresta em Canutama, AM.

2.2.6. Comparar os ambientes a partir das propriedades físicas e químicas do solo quanto ao seu uso e manejo, a fim de identificar zonas mais susceptíveis à degradação do solo.

2.2.7. Avaliar as correlações espaciais dos atributos do solo em áreas cultivadas com cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), cultivo de urucum (*Bixa orellana*), guaraná (*Paullinia cupana*) e área de floresta.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caracterização das culturas do cupuaçu, urucum e guaraná

Na Amazônia, o desafio para produzir alimentos deve considerar vários aspectos ligados ao desenvolvimento, como sustentabilidade e ambiente, segurança alimentar, e fatores estruturais, como acesso às localidades e organização social. As estratégias de intervenção devem, assim, considerar a diversidade dos ecossistemas, o conhecimento local agregado, as condições sociais, econômicas e culturais dos grupos de produtores. Nos arranjos produtivos amazônicos uma característica importante é a economia de subsistência identificada através dos cultivos mais apropriados para o desenvolvimento da área plantada, algo que promove a organização dos agricultores na região. Uma das principais culturas desse arranjo é o guaraná, urucum e o cupuaçu.

O cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), guaranazeiro (*Paullinia cupana*) e urucuzeiro (*Bixa orellana*) são plantas de origem amazônica que possuem importância econômica, social e cultural para região. São culturas adaptadas a solos profundos ácidos, com elevado teor de alumínio e com baixa fertilidade. O cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) é uma árvore típica da região amazônica, cultivada nos estados do Pará, Rondônia, Amazonas, Acre e Maranhão. É considerada uma das melhores e mais promissoras árvores fruteiras da Amazônia, ao mesmo tempo vem se destacando como um dos frutos regionais amazônicos de intensa divulgação no território brasileiro e com grande potencial para a industrialização (CARVALHO et al., 2008). Porém, para o produtor rural o valor de comercialização é baixo, equiparando com o custo de produção, pois o uso do congelamento para a conservação da polpa ainda é o método utilizado na região. Portanto, é fundamental a busca de novos produtos que possam agregar valor a polpa do fruto (GOMEZCACERES PEREZ et al., 2013).

Outro fator que favorece o cultivo do cupuaçu é o fato de ser uma espécie bastante recomendada para a composição de Sistemas Agro-Florestais – SAFs, prática indicada por

diversos autores como alternativa mais apropriada para o uso da terra na região e bastante disseminada entre as propriedades rurais na Amazônia (SOUZA et al., 1999; ARATO et al., 2003; CASTRO et al., 2009). Quando os SAFs são associados a outros sistemas de produção, desencadeia-se um grande potencial de contribuição na qualidade de vida do pequeno agricultor e realça a sua sustentabilidade, visto que otimiza a utilização dos solos e diminui os danos ecológicos. No geral, o cupuaçuzeiro se desenvolve em temperaturas relativamente elevadas, com média anual de 21,6 °C a 27,5 °C, umidade relativa média anual de 77% a 88% e precipitações médias anuais na faixa de 1.900mm a 3.100mm (SOUZA et al., 1999).

O urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) é uma espécie pertencente à família botânica Bixaceae, popularmente conhecida nas mais diversas regiões do Brasil, como urucum, também chamada de annatto (inglês), onoto (espanhol), rocou (francês) e orleansstrauch (alemão). Se caracteriza por ser uma planta, originária do Brasil, ocorrendo principalmente na região amazônica, porém cultivada em outras regiões da América do Sul e Central (REBOUÇAS e SÃO JOSÉ, 1996; SOUSA e FARIAS, 2014). Os frutos são cápsulas armadas por espinhos maleáveis que se tornam vermelhas quando maduras. Na maturidade, no interior das cápsulas existem pequenas sementes dispostas em série, envolvidas por arilo vermelho. Das sementes de cor avermelhada, extrai-se o corante natural que é muito utilizado pelas indústrias da região, sendo parte comercializado no mercado interno (80%) e outra parte é destinada à exportação (20%) (ANSELMO et al., 2008).

Tratando-se de uma planta tipicamente tropical, o seu cultivo pode ser realizado em diferentes regimes climáticos, porém, tanto a temperatura como a precipitação pluviométrica, poderão tornar-se fatores limitantes ao bom desenvolvimento da cultura. É uma planta que se desenvolve bem numa amplitude térmica entre 22 e 27 °C, sendo 25 °C considerada como ideal. O urucuzeiro se adapta a diferentes tipos de solos, no entanto é recomendável solos com boa

drenagem, fertilidade variando de média a alta, pH entre 5,5 e 7,0, bons níveis de cálcio e magnésio e ausência de alumínio (FALESI e KATO, 1992; REBOUÇAS e SÃO JOSÉ, 1996).

O guaranazeiro (*Paullinia cupana*), é uma dicotiledônea, pertencente à família Sapindaceae, é uma das espécies nativas mais conhecidas da biodiversidade amazônica brasileira, além do grande valor econômico. Em seu estado natural, cresce como uma liana até atingir o extrato superior da floresta, porém quando cultivada em campo aberto, tem a forma de arbusto sub-ereto com aproximadamente 3,0 metros de altura (CAVALCANTE, 1976; FUKUMASU et al., 2006). A colheita na região amazônica é realizada entre outubro e janeiro, quando os frutos estão maduros. Os cachos são colhidos com as mãos e colocados em aturás ou jamaxis (semelhantes a paneiros) e transportados para os barracões.

O guaranazeiro se desenvolve adequadamente em locais com temperatura média anual de 23 °C a 28 °C, umidade relativa de 80% e precipitação pluviométrica em torno de 1.500 a 3.000 mm/ano. A planta do guaraná tem sido cultivada em solos profundos e bem drenados, sem pedregosidade, e com textura variando de média a argilosa. Levantamentos realizados em áreas de cultivo de guaranazeiro, no Amazonas, revelaram que 94% dos plantios eram feitos em latossolo amarelo, 54% dos quais apresentavam textura muito argilosa e com pH que variaram de 4,6 a 5,4 (TAVARES et al., 2005).

3.2 Efeitos do uso e manejo sobre os atributos do solo

Ao longo dos tempos a ocupação e substituição de áreas antes florestadas por áreas agrícolas sem a devida adoção de conhecimento e critérios técnicos, tem sido sem dúvida um dos principais problemas causados pela ação antrópica na região amazônica. Estudos científicos vêm demonstrando a magnitude da degradação das florestas na Amazônia Brasileira (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010; ASNER et al., 2005; SOUZA-JUNIOR et al., 2013), bem como os impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecológicos ou ecossistêmicos (BERENGUER et al., 2014; MOURA et al., 2013).

Problemas que tem afetado diretamente a preservação dos recursos naturais e consequentemente os atributos do solo (WENDLING et al., 2012; CAMPOS et al., 2013). Diante de tal perspectiva e ocorrência, outros trabalhos destacam que o solo quando mantido em estado natural, sob vegetação nativa, geralmente apresenta características físicas, como densidade do solo, porosidade, permeabilidade e estrutura, adequadas ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA et al., 2000). Por outro lado, a conversão de florestas em áreas agrícola altera o equilíbrio natural existente, modificando as propriedades do solo (MULLER et al., 2001).

A conversão de áreas de vegetação nativa em áreas agrícolas é uma preocupação crescente, especialmente quando se trata de ambientes frágeis ou redutos florestais (SILVA et al., 2008; CARDOSO et al., 2011), pois tais mudanças causam desequilíbrio no ecossistema, modificando as propriedades do solo, cuja intensidade varia com as condições de uso e manejo (CARNEIRO et al., 2009). Segundo Rocha Junior et al. (2014) a substituição da cobertura vegetal tem causado mudanças negativas nas propriedades do solo e, consequentemente, tem levado à degradação de grandes áreas, causando um declínio na sua qualidade. No entanto, a perda de qualidade do solo tem sido atribuída não apenas à conversão de vegetação (floresta / agricultura), mas acima de tudo, ao manejo adotado na área após a substituição (WENDLING et al., 2005). Para SANTANA et al. (2006) o manejo e as culturas adotadas interferem na agregação e estruturação do solo afetando diretamente a qualidade do solo.

Estudos atuais, tem demonstrado que o uso e manejo inapropriado, assim como intensivo do solo pode rapidamente levar a uma degradação da matéria orgânica e, consequentemente, alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, promovendo um desequilíbrio natural dos ecossistemas (JAKELAITIS et al., 2008; CUNHA et al., 2011; FERREIRA et al., 2017). De acordo com Bayer e Mielniczuk (2008), sob vegetação natural a matéria orgânica do solo se encontra estável e, quando submetida ao uso agrícola, pode ocorrer

redução acentuada no seu conteúdo, principalmente quando utilizados métodos de preparo com intenso revolvimento do solo e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos. Nessa situação, pode ser estabelecido um processo de degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, além de perda da produtividade das culturas.

No geral, o manejo incorreto do solo, pode provocar compactação e, conseqüentemente, alteração da estruturação do solo (CUNHA et al., 2011). Segundo Stefanoski et al. (2013) as práticas de manejo e de conservação do solo e da água devem ser planejadas e executadas procurando-se manter, ou mesmo melhorar, seus atributos de modo a aumentar a capacidade do solo em sustentar uma produtividade competitiva, sob aspectos físicos, químicos e biológicos, sem comprometer a qualidade do solo e da água.

3.3 Carbono orgânico e estoque de carbono após a conversão de ecossistemas

A conversão de ecossistemas naturais para uso agrícola pode exercer uma grande influência no destino do carbono (C) estocado nos solos. Mudanças no uso da terra alteram os processos biogeoquímicos do solo, com reflexos no estoque de C e no fluxo de gases entre o solo e a atmosfera (FERNANDES e FERNANDES, 2009). Em ambientes de floresta nativa de ecossistemas Amazônicos a maior parte do carbono encontra-se contida na biomassa da vegetação (ARAÚJO et al., 2011), o que por sinal já causa um efeito negativo com a ocorrência da conversão de ecossistemas naturais.

Diante disso, no cenário mundial a preocupação atual está voltada para estudos que visam quantificar as mudanças nos conteúdos e nos estoques de carbono em áreas agrícolas (SERGNINI et al., 2013; CERRI et al., 2013), assim como a mensuração de perdas de carbono nos solos amazônicos devido à substituição da floresta nativa por áreas cultivadas (DESJARDINS et al., 2004; COSTA et al., 2009). As mudanças nos ecossistemas naturais tropicais podem causar reduções nas entradas de carbono, dependendo do uso, manejo físico, químico e biológico do solo (SILVA JUNIOR et al., 2009).

Segundo Marques et al. (2015) o conhecimento sobre as propriedades físicas do carbono e do solo é extremamente importante para determinar as práticas de manejo que mantêm o carbono no ambiente terrestre e formas apropriadas de conservação do solo em florestas tropicais. Assim pode-se dizer que os solos mantidos em condições naturais, sob vegetação nativa, apresentam características físicas adequadas para o melhor desenvolvimento das plantas (SPERA et al., 2004). No entanto, quando ecossistemas nativos são alterados, o equilíbrio dinâmico é quebrado e, geralmente, causa entradas de carbono mais baixas do que as saídas, levando à redução da quantidade e alteração da qualidade de MOS (matéria orgânica do solo) (CERRI et al., 2008).

Outros estudos têm demonstrado que remoção da cobertura vegetal natural e a implantação de atividades agropecuárias, devido às ações que envolvem as diferentes formas de uso e manejo, provocam desequilíbrio no ecossistema, uma vez que o manejo adotado influenciará os processos físicos, químicos e biológicos do solo, modificando suas propriedades químicas e físicas (CANELLAS et al., 2003; RANGEL & SILVA, 2007; COSTA et al., 2008). Neste sentido, CUNHA et al. (2017) estudando os atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia, observaram que respectivos usos do solo promovem alterações nos valores de carbono orgânico e estoque de carbono, além de que melhores resultados de CO e EC são encontrados em áreas de florestas, quando comparados a áreas cultivadas. Fatores como a vegetação original, tipo e manejo do solo, clima, quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (COSTA et al, 2009; MAIA et al, 2009; FRAZÃO et al, 2010), textura (LUCA et al., 2008), mineralogia (ZINN et al, 2007) e densidade do solo (NAVARRETE; TSUTSUKI, 2008) têm sido descritos como controladores da magnitude e velocidade da mudança no conteúdo e qualidade da MOS.

3.4 Influência da erosão na qualidade física e química do solo

A qualidade dos solos (QS), segundo Gregorich & Carter (1997), tem duas feições – uma ligada à capacidade inerente do solo e outra ligada à parte dinâmica desse, influenciada pelo seu uso e manejo. Assim, ao se pensar em qualidade do solo é necessário ter em mente que a erosão é um fator que está diretamente relacionada com a sua qualidade, pois é um processo que altera os atributos do solo devido à perda de solo, nutrientes e a água.

A erosão do solo é considerada a forma mais prejudicial de degradação e o principal causador de insustentabilidade nos sistemas de produção agrícola (BERTOL et al., 2004). Além de trazer alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos, acarretando efeitos sobre a qualidade ambiental da área (SOUZA et al., 2011). Ao discriminar solos com sinais de degradação, os indicadores de qualidade física e química do solo evidenciam a necessidade da adoção de sistemas que favoreçam a estruturação do solo, como aqueles que elevam os teores de matéria orgânica (STEFANOSKI, et al., 2013).

Neste sentido, a matéria orgânica (MO) é considerada o fator de maior importância na determinação da QS, por ser sensível às práticas de manejo do solo, em virtude de sua suscetibilidade de alteração em relação às práticas de manejo e por correlacionar-se com a maioria dos atributos do solo (MIELNICZUCK, 1999), além de ser importante na formação dos agregados do solo. Diante de tal fato, após a aproximação das partículas minerais, a matéria orgânica apresenta importância fundamental como um dos fatores determinantes da estabilização dos agregados (BAYER; MIELNICZUK, 1999), pois funciona como agente cimentante. Segundo Bayer e Mielniczuk (2008) a principal característica física do solo alterada com a redução do teor de matéria orgânica é a agregação. Isso indiretamente, contribui para a alteração das demais características, como a taxa de infiltração, capacidade de retenção de água no solo, densidade, porosidade, entre outras.

Entre os fatores de natureza físico-química, o pH pode influenciar tanto no número como na atividade enzimática dos microrganismos (SUDHARHSAN et al., 2007), além de ser um importante fator na produção agrícola, influenciando na disponibilidade de nutrientes às raízes das plantas e concorrendo para favorecer o desenvolvimento de micro-organismos que operam transformações úteis para melhorar as condições do solo. Segundo Doran e Parkin (1996) a avaliação do pH torna-se essencial para analisar aspectos químicos de qualidade do solo, uma vez que fornecem uma medida da habilidade do solo em suprir nutrientes e funcionar como um tampão contra aditivos químicos e corretivos. Desse modo, medidas que expressam a disponibilidade de nutrientes, como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e micronutrientes, assim como suas relações são importantes para avaliar qualidade do solo entre diferentes sistemas de manejos (ARAÚJO et al., 2012).

Dentro dos padrões físicos, Six et al. (2000) descreve a estabilidade de agregados como o indicador da estrutura do solo. Neste mesmo sentido, outros estudos destacam que a estrutura do solo é importante indicador de QS, uma vez que influi diretamente nas condições de adensamento, compactação, encrostamento, infiltração de água e, suscetibilidade do solo a erosão (DORAN, 1997; OLIVEIRA et al., 2013).

A melhoria da estrutura é acompanhada pelo aumento da permeabilidade, pelo decréscimo na erodibilidade e pela redução no escoamento superficial de água e, conseqüentemente, pela redução da erosão hídrica (WISCHMEIER, 1966). De modo geral, é importante destacar que a qualidade física é um dos principais fatores que determinam a produtividade das culturas, tendo em vista a influência que exerce diretamente sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas e, indiretamente, sobre os demais atributos do solo (químicos e biológicos).

De acordo com VASCONCELOS et al. (2014), as pesquisas realizadas para avaliação da qualidade física do solo são de extrema importância e são vastas na literatura mundial devido

às inferências na produtividade das culturas e sustentabilidade dos agroecossistemas. A qualidade física de um solo de modo geral depende de sua composição ou de características intrínsecas como profundidade efetiva, mineralogia e textura, assim como de propriedades que variam no tempo. A profundidade efetiva, mineralogia e textura são características importantes na comparação de diferentes sítios, enquanto que a quantificação de propriedades dinâmicas é importante para detectar efeitos de sistemas de manejo de solos ao longo do tempo, no mesmo sítio ou solo (REICHERT et al., 2011).

As propriedades físicas do solo influenciam diretamente o processo erosivo, pois estão relacionadas com a taxa de infiltração de água e permeabilidade do solo. Tais propriedades como textura, porosidade, densidade do solo, capacidade de retenção de água, capacidade de infiltração, declividade, porcentagem de cobertura do solo, umidade e saturação do solo influenciam a resistência do solo às forças de dispersão, salpico e transporte, assim podem ser consideradas como de maior importância nos estudos de erosão do solo (CHAVES et al., 1993; SPOHR et al., 2009). Mendes et al. (2006) relataram que os atributos físicos do solo para o estudo de sua qualidade apresentam vantagens relacionadas ao baixo custo, métodos simples e rápidos e relação direta com os demais atributos químicos e biológicos.

Outro fator físico que pode se dar ênfase e de grande importância, refere-se a compactação solo, pois a mesma tem sido amplamente reconhecida como a principal causa de degradação da qualidade física do solo, resultando em incrementos na sua densidade e resistência mecânica, bem como em reduções na porosidade total, macroporosidade, capacidade de infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica. Modificações estas que limitam o crescimento radicular das plantas e, ao mesmo tempo, diminuem a disponibilidade de água e oxigênio no solo, resultando na redução da produtividade das culturas, especialmente sob condições de excesso ou deficiência hídrica (REICHERT et al., 2009; TAVARES FILHO et al., 2010; BASTIANI et al., 2012).

A compactação é descrita como resultado do processo de aumento da densidade do solo, resistência à penetração de raízes e microporosidade relativa, em virtude do aumento de massa por unidade de volume (BORDIN et al., 2005; BEUTLER et al., 2005). Outros trabalhos afirmam que com o aumento da densidade do solo ocorre a redução da porosidade total, da macroporosidade, da condutividade hidráulica, da absorção de íons e aumento da microporosidade e da resistência do solo à penetração das raízes (CHIODEROLI et al., 2012, CARDOSO et al., 2013). De acordo com Reichert et al, (2007) a microporosidade é responsável pela retenção e armazenamento de água, enquanto a macroporosidade influencia a infiltração e a drenagem da água no solo.

A susceptibilidade à compactação pode ser alterada pelo acúmulo de matéria orgânica, porém, a textura do solo e seus efeitos associados à retenção de água, coesão e densidade do solo determinarão a magnitude e o tipo de efeito (BRAIDA et al., 2010). De acordo Carvalho et al. (2008) a resistência do solo à penetração constitui uma das variáveis físicas para avaliação de sua qualidade, podendo apresentar grande variabilidade espacial. Blainski et al (2012) estudando a qualidade física de um Latossolo Sob Plantio Direto Influenciada pela Cobertura do Solo demonstra que, com a compactação do solo, o acréscimo de cobertura do solo não promoveu ganhos de qualidade física. Diante disso, os mesmos autores afirmam que o controle da compactação é determinante para manutenção da Qualidade Física do Solo sob plantio direto, mesmo com elevada quantidade de resíduos em cobertura.

3.5 Estimativa de erodibilidade do solo

A erodibilidade (fator K) é uma das variáveis da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) que expressa, quantitativamente, a suscetibilidade do solo à erosão hídrica. Com base nesse aspecto, a erodibilidade de solos é um fator importante na estimativa das perdas por erosão, fator este que se caracteriza por ser uma expressão da combinação de atributos do solo, os quais possibilitam sua estimativa por meio de equações (MARQUES et al., 1997; SÁ et al.,

2004). Assim, o comportamento dos solos em relação à erosão depende, além de outros fatores, de suas características inerentes. O fator erodibilidade do solo reflete essas propriedades, como resultado das características físicas de textura, estrutura, agregação e porosidade (TOY et al., 2002).

De acordo com Denardin (1990), a erodibilidade pode ser quantificada por três meios distintos: (i) com base na perda de solos e na determinação do fator erosividade das chuvas, avaliados sob condições naturais e durante um longo período de tempo, de forma a incorporar uma grande variedade de eventos pluviométricos; (ii) estudos de simulação dos eventos naturais em condições bem controladas em laboratório; (iii) computação de índices de ponderação por meio de equações matemáticas que incluam, como variáveis independentes, parâmetros do solo fortemente associados aos efeitos da erodibilidade. Essas equações têm sido comumente ajustadas por meio de tendências estatísticas estabelecidas a partir de valores de referência obtidos para parâmetros físicos, químicos e/ou mineralógicos do solo.

De forma mais clara e objetiva, o fator K pode ser determinado diretamente no campo, sob chuva natural ou simulada, o que demanda tempo e altos custos, principalmente no primeiro caso. Também pode ser estimado por meio de modelos matemáticos que utilizam, como variáveis, atributos relacionados direta ou indiretamente com a resistência do solo à erosão (DENARDIN, 1990; BERTOL et al., 2004; PANACHUKI et al., 2010; SILVA et al., 1999). No geral a erodibilidade representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo, em relação aos processos erosivos (LAL, 1988). O valor de erodibilidade é muito variável, devido à ampla variedade de solos com atributos diferenciados, tornando arriscado estimar um valor, com base, unicamente, na classificação do solo (SILVA et al. 1997; MARTINS et al., 2011).

Alguns autores têm destacado o uso de técnicas de geoestatística para reproduzir mudanças de espaço, de forma que a mesma tem permitido uma progressiva expressão de variação das características do solo. Este método especialmente tem refletido a realidade, no caso da erodibilidade do solo (PARYSOW et al., 2001; WANG et al., 2001; WANG et al., 2009). Isto é muito apropriado em situações onde os dados disponíveis consistem em variáveis relacionadas, porque as informações provem de uma variável com suporte da outra, reduzindo a margem de erro, podendo predizer tudo das variáveis, sendo útil na estimativa da erodibilidade do solo, pois está depende de muitas variáveis, como o conteúdo do carbono orgânico, textura do solo e permeabilidade (ARRAES et al., 2010).

3.6 Utilização geoestatística no estudo da variabilidade espacial de atributos do solo

A geoestatística é o ramo da estatística aplicada que desenvolve e aplica modelos para representar fenômenos naturais cujas propriedades variam em função da localização espacial dos pontos de observação (METHERON, 1962). Os métodos geoestatísticos possibilitam a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, por considerarem a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (SPIAZZI, 2011).

O mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo é uma preocupação antiga, porém atualmente seu conhecimento tem sido de fundamental importância para todos aqueles que visam uma agricultura sustentável (WEIRICH NETO et al., 2006), pois permite um manejo específico das áreas agricultáveis (CAJAZEIRA; ASSIS JÚNIOR, 2011). Uma abordagem adequada para esse mapeamento é a utilização da geoestatística, tendo em vista que os atributos do solo quase sempre apresentam dependência espacial (CAMPOS et al., 2007; GREGO et al., 2011). Para isto, é conveniente que seja feita uma amostragem representativa da área, para que se possa obter dados com valores que, realmente, correspondam à realidade da parcela (CAVALCANTE et al., 2011).

Segundo SOUZA et al. (2009) quando um atributo do solo varia de um lugar para outro com algum grau de continuidade, a geoestatística é a ferramenta que deve ser utilizada, pois permite uma visão com base na dependência espacial, o que é útil para o planejamento adequado do manejo do solo. Em termos gerais, a presente análise permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial de variáveis do solo, constituindo assim uma importante ferramenta na análise e descrição detalhada dos atributos do solo (CAMPOS et al., 2007). No geral, o uso da mesma implica na definição de um plano de amostragem, para o qual define-se número e espaçamento dos pontos onde as amostras serão coletadas. Na literatura essa definição varia muito, conforme estudos de Alves et al. (2011), Lima et al. (2015), Cunha et al. (2017), Santos et al. (2012), Oliveira Junior et al. (2011) e Bottega et al. (2013), os mesmos utilizaram 28; 49; 88; 126; 135 e 181 pontos, respectivamente no estudo de diversos atributos físicos e químicos do solo, tais como: condutividade hidráulica, densidade do solo, porosidade, textura, frações granulométricas areia, argila e silte, teores de cálcio, magnésio e fósforo.

A variabilidade espacial das propriedades do solo que controlam a produtividade das culturas é indispensável na agricultura moderna, uma vez que pequenas alterações podem levar a grandes diferenças de produtividade (SILVA et al., 2012). Com isso, a variabilidade espacial dos atributos do solo vem sendo objeto de estudo em diversos trabalhos na ciência do solo, abrindo diversas discussões no que tange às relações de solo-paisagem (BOTTEGA et al., 2013; CASTIONE et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2016), além de influenciar de forma decisiva o manejo a ser adotado nas áreas cultivadas.

Em sentido mais amplo o conhecimento da variabilidade das propriedades do solo tem se caracterizado como um importante passo para que seja efetuado um manejo adequado. Isso por que o manejo do solo e da cultura são importantes condicionadores da variabilidade dos atributos do solo (KITAMURA et al., 2007), tais variações ocasionadas por um manejo inadequado influenciam principalmente no acúmulo de material orgânico, no movimento de

água no solo, na compactação do solo e na erosão hídrica (NOVAES FILHO et al., 2007). Outros estudos demonstram que áreas pedologicamente idênticas podem apresentar variabilidade distinta em atributos, quando submetidas às diferentes práticas de manejo (CORÁ et al., 2004; CAVALCANTE et al., 2007), neste sentido os mesmos autores ainda mencionam que solos de classes diferentes, submetidos ao mesmo manejo, podem apresentar atributos semelhantes.

De maneira geral, a análise geoestatística é usada para identificar a distribuição e o padrão espacial das características estudadas, definindo modelos de semivariograma teóricos que mostram a autocorrelação da variável em diferentes direções e distâncias de separação. O semivariograma é uma função matemática fundamental na aplicação da respectiva análise geoestatística, ele determina, sobretudo a dependência entre duas variáveis aleatórias regionalizadas locais, levando em consideração à auto correlação em função da distância e da direção delas (MELLO e OLIVEIRA, 2016).

Os modelos matemáticos podem estimar os valores da variável estudada em locais não amostrados por meio de interpolação por krigagem ordinária (DALE et al., 2002). A krigagem ordinária nada mais é que o método de interpolação mais utilizado na geoestatística (PEREIRA et al., 2013) a qual utiliza um estimador de interpolação linear imparcial e com variância mínima garante uma estimativa mais precisa dos dados (AQUINO et al., 2012). Uma opção de análise da variabilidade espacial dos atributos é aliar ao uso de técnicas de análise multivariada, que visa à redução dimensional do número de variáveis, à geoestatística. A redução e a simplificação do número de variáveis, criando novas variáveis interpretativas, permitirão uma maior facilidade de interpretação dos mapas (SILVA et al., 2010).

Para SILVA et al. (2012) a análise multivariada e sua combinação com a geoestatística foi eficiente para quantificar e determinar a estrutura de dependência espacial da fertilidade do solo e da produtividade. CÓRDOBA et al. (2012) complementam que os modelos geoestatísticos tradicionais, que se baseiam no conceito de autocorrelação para a indicação da

presença de correlações ou semelhanças entre as observações pertencentes no espaço, possuem efeito variável. Microvariações do terreno podem promover variações geoespaciais dos atributos do solo (AQUINO et al., 2015) e, desse modo, a adição de técnicas estatísticas são necessárias, pois a maioria dos solos pode mudar tanto espacialmente, quanto também ao longo do tempo (SOUZA et al., 2006). Neste sentido, o uso de técnicas de análise univariada e multivariada pode explicar tanto as relações dos atributos do solo em comparação aos ambientes, como também as intercorrelações entre as variáveis, e identificar quais os atributos do solo que mais discriminam os ambientes.

3.7 Análise univariada e multivariada para atributos do solo

A Análise de Variância Univariada (ANOVA) é uma técnica estatística de comparação de médias de populações amostrais, que, fundamentalmente, verifica se as médias e os fatores exercem influência em alguma variável dependente. A hipótese a ser testada (H_0 de igualdade das médias, ou seja, $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$), para esse caso, e se existe diferença significativa entre as médias dos atributos avaliados em comparação aos ambientes (fatores). Os pressupostos para a ANOVA simples levam em conta que os dados deverão construir amostras aleatórias provenientes de populações normais e que essas amostras pertencem a grupos populacionais com idênticas variâncias (REIS, 2001).

Métodos de análise univariada são normalmente empregados visando à identificação das diferenças entre tratamentos, considerando individualmente cada atributo avaliado. Tais métodos não consideram o efeito simultâneo dos parâmetros, dessa forma quando se tem um grande número de variáveis envolvidas, eleva-se, muitas vezes, a dimensão do problema, ao ser analisado por meio de métodos estatísticos univariados (SILVA et al., 2015). Uma opção de análise para facilitar o trabalho com dados que apresentam grande número de variáveis é pelo uso de análise multivariada (SILVA et al., 2010). As análises estatísticas multivariadas, como a fatorial em componentes principais são ferramentas que permitem condensar todas as

informações contidas em um determinado número de variáveis originais em conjuntos menores, denominados fatores, cujas combinações lineares explicam o máximo da variância contida nas variáveis originais (HAIR et al., 2007).

Quando o objetivo é a comparação entre os ambientes para diferentes variáveis simultaneamente, uma opção é o uso de análise de variância multivariada (MANOVA). De modo geral, as técnicas de estatísticas multivariadas são usadas para simplificação dos dados por meio da redução de sua dimensão, agrupamentos dos dados, estudo da dependência entre os dados e a construção de testes de hipóteses. Para isso, existem as técnicas de análise fatorial e de componentes principais.

Na análise multivariada os componentes principais são amplamente utilizados em estudos ambientais para a avaliação, classificação e construção de modelos matemáticos para a tomada de decisão (SILVA CRUZ et al., 2011), além de reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e poder ajudar na tomada de decisão para melhor controle da produção agrícola. Na análise simultânea de muitas variáveis, a estatística multivariada é uma ferramenta eficiente (AQUINO et al., 2016), que pode auxiliar na tomada de decisão sobre o uso e manejo adequado do solo, com base nas variações dos atributos do solo, e indicar os atributos que mais sofrem mudança pela ação antrópica, além de servir de base para o planejamento agrícola, visando a sustentabilidade ambiental (OLIVEIRA et al., 2015b; AQUINO et al., 2016).

A análise de componentes principais (ACP) é uma possibilidade, uma vez que reduz o número de variáveis iniciais – o que a torna mais facilmente manipulável – e gera novas variáveis não correlacionadas. Conforme Webster (2001), a ACP constitui-se em uma transformação de dados, com rotação rígida dos dados originais para um novo conjunto de eixos por meio de procedimento matemático, não estatístico. Essa análise não requer pressuposição da normalidade da distribuição, não realiza testes estatísticos de significância, e pode ser usada

para reduzir o número de variáveis (VITHARANA et al., 2008), identificar padrões (GOMES et al., 2004) e gerar variáveis não correlacionadas (HENGL et al., 2007).

Em sentido mais amplo a análise de componentes principais (ACP) é um método estatístico multivariado que permite transformar um conjunto de variáveis inicialmente correlacionados entre si, em outros conjuntos de variáveis não correlacionadas (ortogonais), chamadas de componentes principais, resultando em combinações lineares do conjunto inicial (REIS, 2001). Além disso, a ACP tem vários benefícios como: a) gerar novas variáveis que expressem a informação contida em um conjunto de dados; b) eliminar as variáveis (quando possível) que sejam pouco relacionadas ao problema de estudo; c) reduzir a dimensão de espaço onde estão inscritos os dados; d) facilitar a interpretação da informação contida num conjunto de dados; e) proporcionar uma matriz de correlações que permite avaliar os graus de correlação entre as variáveis. A primeira componente principal (CP 1) explica o maior grau de variabilidade e este vai diminuindo para cada uma à medida que sua ordem aumenta (CP2, CP3... CPn). O número de componentes principais que se deve analisar depende da quantidade de variabilidade (%) que é explicada por cada componente principal e a forma gráfica dos dados ajuda na interpretação dos resultados. Diante do exposto, os componentes principais (CP) são expressos como combinações lineares das variáveis originais (MANLY, 2008), ou seja:

$$\begin{aligned} CP_1 &= a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + \dots + a_{p1}X_p \\ CP_2 &= a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{p2}X_p \\ &\vdots \\ CP_p &= a_{1p}X_1 + a_{2p}X_2 + \dots + a_{pp}X_p \end{aligned} \quad (1)$$

A transformação dos valores X para CP é ortogonal, de tal forma que é simplesmente a sua matriz inversa:

$$\begin{aligned} X_1 &= a_{11}CP_1 + a_{21}CP_2 + \dots + a_{p1}CP_p \\ X_2 &= a_{12}CP_1 + a_{22}CP_2 + \dots + a_{p2}CP_p \\ &\vdots \\ X_p &= a_{1p}CP_1 + a_{2p}CP_2 + \dots + a_{pp}CP_p \end{aligned} \quad (2)$$

No planejamento da análise fatorial, é comum o uso dos componentes principais como uma técnica de extração dos fatores comuns (*FC*). Para a análise fatorial, somente *m* das componentes principais (*CP*) são retidas, dependendo do poder de explicação das *CP* em relação à variância dos dados, e assim a última equação se torna:

$$\begin{aligned} X_1 &= a_{11}CP_1 + a_{21}CP_2 + \dots + a_{m1}CP_m + e_1 \\ X_2 &= a_{12}CP_1 + a_{22}CP_2 + \dots + a_{m2}CP_m + e_2 \\ &\vdots \\ X_m &= a_{1p}CP_1 + a_{2p}CP_2 + \dots + a_{mp}CP_m + e_p \end{aligned} \quad (3)$$

em que e_i é uma combinação linear dos componentes principais CP_{m+1} a CP_p e representa a parcela das variáveis com reduzidas contribuições às *CP*. Como a análise fatorial requer a variância unitária dos seus fatores, é feito a padronização dos *CP* a partir da divisão pelo respectivo desvio padrão, ou seja, $FC_i = CP_i/\sqrt{\lambda_i}$, em que $\sqrt{\lambda_j}$ é a raiz quadrada dos correspondentes autovalores na matriz de correlações (CUNHA, 2016). Assim o modelo dos fatores não rotacionados extraídos a partir dos componentes principais se torna:

$$\begin{aligned} X_1 &= b_{11}FC_1 + b_{21}FC_2 + \dots + b_{m1}FC_m + e_1 \\ X_2 &= b_{12}FC_1 + b_{22}FC_2 + \dots + b_{m2}FC_m + e_2 \\ &\vdots \\ X_m &= b_{1p}FC_1 + b_{2p}FC_2 + \dots + b_{mp}FC_m + e_p \end{aligned} \quad (4)$$

com $b_{ij} = \sqrt{\lambda_j}a_{ij}$.

Na análise fatorial, há presença de erro, ao qual representa uma parcela da variância das variáveis não explicadas pelos valores comuns (REIS, 2001). Assim, se alguma das variáveis apresentar uma combinação linear dos fatores, com autovalores (valores comuns) próximos de zero, sua contribuição para explicar a variância dos dados será pequena, de tal forma que a retirada dessas componentes não implicará em perda significativa de informação (CUNHA, 2016).

Entretanto, existem alguns critérios para a determinação de quantas componentes devem ser excluídas da análise, conforme critérios abaixo:

- a) Inclusão de componentes principais suficientes que expliquem mais de 70% da variância;
- b) Excluir autovalores (fatores comuns) cujos valores são inferiores a 1 (critério de Kaiser (1958));
- c) Teste da esfericidade de Bartlett: avalia o grau de adequação dos dados que consiste em testar se, na população dos dados, a matriz avaliada representa a matriz identidade (hipótese nula), ou seja, não existe correlação significativa entre as variáveis. Nesse caso, a análise pressupõe a rejeição da hipótese nula.
- d) Estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO): compara o coeficiente de correlação entre as variáveis com a correlação parcial das mesmas variáveis estimadas pelos fatores. Quanto maior melhor, tendo com 0,50 o patamar mínimo.

Como resumo, a aplicação da análise fatorial corresponde a quatro passos (REIS, 2001), sendo:

1. Estimar a matriz de covariância entre as variáveis e testar a aplicabilidade da análise (Teste de Bartlett significativo com $p < 0,05$ e $KMO > 0,50$);
2. Extração das componentes principais e satisfação do critério de Kaiser;
3. Tornar os componentes mais facilmente interpretáveis, o que requer rotacionar os valores (escores) das variáveis;
4. Análises da matriz dos escores individuais.

4. REFERÊNCIAS

ALVES, W. W. A.; AZEVEDO, C. A. V.; NETO, J. D.; MATOS, J. A.; SILVA, S. S. Análise geoestatística da distribuição de água no solo aplicada por sistema de irrigação localizada. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 143-151, 2011.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 411-8, 2009.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24: 857-865, 2000.

ANSELMO, G. C. S; MATA, M. E. R. M. C.; RODRIGUES, E. Comportamento higroscópico do extrato seco de urucum (*Bixa Orellana* L). **Ciência e Agrotecnologia**, vol.32, n.6, pp.1888-1892. 2008.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; JUNIOR, J. M.; OLIVEIRA, I. A.; TEIXEIRA, D. D. B.; CUNHA, J. M. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 21-30, 2015.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; FRANCISCON, U.; SILVA, D. M. P.; CUNHA, J. M. Chemical soil attributes evaluated by multivariate techniques and geostatistics in the area with agroforestry and sugarcane in Humaitá, AM, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 61-72, 2016.

AQUINO, R. F.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F. de; CURI, N.; MELLO, C. R. de; AVANZI, J. C. Spatial variability of the rainfall erosivity in southern region of Minas Gerais state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 5, p. 533-542, 2012.

ARAGÃO, L. E.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. **Science**, v. 328, n. 5983, p. 1275-1278, 2010.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 677-687, 2009.

ARATO, H.D.; MARTINS, S.V. ; FERRARI, S.H. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, 27 n.5, p. 715-721, 2003.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma amazônico. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 1, p. 103–114, 2011.

ARAÚJO, E.A.; KER, J.C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do tijuco, sp. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.

ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J.; KELLER, M.; SILVA, J. N. Selective logging in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 310, n. 5747, p. 480-482, Oct. 2005.

BASTIANI, F. de; URIBE-OPAZO, M. A.; DALPOSSO, G. H. Comparison of maps of spatial variability of soil resistance to penetration constructed with and without covariables using a spatial linear model. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 393-404, 2012.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.9-26.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.7-18.

BERENGUER, E.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; CAMARGO, P. B. de; CERRI, C. E.; DURIGAN, M.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; VIEIRA, I. C. G.; BARLOW, J. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, v. 20, n. 12, p. 3713–3726, 2014.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.485-494, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. & SILVA, A.P. Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a haplustox from Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 48:863-871, 2005.

BLAINSKI, E. TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; NANNI, M. R. Qualidade física de um latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 79-87, 2012.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; AZEVEDO, M. C. B. de; VIDAL, L. H. I. Desenvolvimento de mudas de aceroleira propagadas por estacas e sementes em solo compactado. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 530-536, 2005.

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

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.

BRONICK, C.J. & LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.

CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 258-267, 2011.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; SIQUEIRA, D. S. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p. 149-157, 2007.

CAMPOS, M.C.C.; SOARES, M.D.R.; SANTOS, L.A.C.; OLIVEIRA, I.A & AQUINO, R.E. Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amazonas state, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, 56:149-159, 2013.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R; NASCIMENTO, M. F; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água** vol. 11, n. 2, p.339-348, 2016.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:935-944, 2003.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A. dos; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M. de; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. de M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física dos solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 35:613-622, 2011.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, A.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:147-157, 2009.

CARVALHO, A. V.; GARCIA, N. H. P.; FARFAN, J. A. Proteínas da semente de cupuaçu e alterações devidas à fermentação e à torração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, vol.28, n.4, p.986-993, 2008.

CARVALHO, L. A. de; M. NETO, V. J.; SILVA, L. F. da; PEREIRA, J. G.; NUNES, W. A. G. de A.; CHAVES, C. H. C. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brillhante-MS. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 1, n. 2, p. 7-22, 2008.

CASTIONE, G. A. F.; SOUZA, Z. M. S.; SILVA, R. B.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da textura do solo em área irrigada por pivô central em diferentes posições na paisagem. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 3, p. 219-226, 2015.

CASTRO, A. P.; FRAXE, T. J. P.; SANTIAGO, J. L.; MATOS, R. B.; PINTO, I. C. Os sistemas agroflorestais como alternativa de sustentabilidade em ecossistemas de várzea no Amazonas. **Acta Amazônica**, vol. 39, n.2, pp.279 – 288, 2009.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.15, n.3, pp.237-243, 2011.

CAVALCANTE, P. B. Frutas comestíveis da Amazônia. Manaus: INPA, 1976. 166 p.

CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.; CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.325-358.

CERRI, C.E.P.; GALDOS, M.V.; CARVALHO, J.L.N.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Quantifying soil carbon stocks and greenhouse gas fluxes in the sugarcane agrosystem: point of view. **Scientia Agricola**, v.70, p.361-368, 2013.

CHAVES, H. M. L.; ORLOWSKI, E.; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.141-147, 1993.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M. de; NORONHA, R. H. de F.; PARIZ, C. M.; LIMA, R. C. Spatial and linear correlations between soil and corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 765-774, 2012.

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

CÓRDOBA, M.; BRUNO, C.; BALZARINI, M.; COSTA, J. L. Análisis de componentes principales con datos georreferenciados Una aplicación en agricultura de precisión. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias / Universidade Nacional de Cuyo**, Mendoza, v. 44, n. 1, p. 27-39, 2012.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:323-332, 2008.

COSTA, O.V.; CANTARUTTI, R.B.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M.; NACIF, P.G.S.; FARIAS, J.C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de Tabuleiro Costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1137-1145, 2009.

CUNHA, E. Q.; STONE L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e cultura de cobertura na produção orgânica

de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589-602, 2011.

CUNHA, J. M. Atributos do solo e emissão de CO₂ em Terra Preta Arqueológica preservada e sob cultivo em Novo Aripuanã, Amazonas, Brasil. 2016. 98p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Cuiabá, 2016.

CUNHA, J. M.; GAIO, D. C.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; LIMA, A. F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**. v. 12 n. 2, p. 263-281, 2017.

DALE, M. R. T.; DIXON, P.; FORTIN, M. J.; LEGENDRE, P.; MYERS, D. E.; ROSENBERG, M. S. Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis. **Ecography**, Copenhagen, v. 25, n. 5, p. 558-577, 2002.

DENARDIN, J.E. Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 1990. 81p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIAN M.; GIARDINA, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazon. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.103, n.2, p.365-373, 2004.

DORAN, J.W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1996. p. 25-37. (Special Publication, 49).

DORAN, J.W. **Soil quality and sustainability**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

FALESI, I. C.; KATO, O. R. **A cultura do urucum no Norte do Brasil**. Belém: EMBRAPA-UEPAE de Belém, n.3, 1992, p. 47.

FERREIRA, E.P.B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69).

FRAZÃO, L.A.; SANTANA, I.K.S.; CAMPOS, D.V.B.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1198-1204, 2010.

FREITAS, L., CASAGRANDE, J. C., OLIVEIRA, I. A., CAMPOS, M. C. C., SILVA, L. S. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 1, p.17-26, 2015.

FUKUMASU, H, SILVA T. C.; AVANZO, J. L.; LIMA, C. E.; MACKOWIAK, I. I.; ATROCH, A.; SPINOSA, H. S.; MORENO, F. S.; DAGLI, M. L. Z. Chemopreventive effects of *Paullinia cupana* Mart var. *sorbilis*, the guarana, on mouse hepatocarcinogenesis. **Cancer Lett** 2006; 233: 158–64.

GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C; MARQUES, J.J.G.S.M.; SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.137-153, 2004.

GOMEZCACERES PEREZ, L.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, vol.44, n.1, pp.102-106, 2013.

GREGO, C. R.; COELHO, R. M.; VIEIRA, S. R. Critérios morfológicos e taxonômicos de Latossolo e Nitossolo validados por propriedades físicas mensuráveis analisadas em parte pela geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 337-350, 2011.

GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R. (eds.). **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam, Elsevier, 1997. 448p.

GUIMARÃES, W. D. G.; JUNIOR, J. G.; MARQUES, E. A. G.; SANTOS, N. T.; FERNANDES, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 247-255, 2016.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 593p

HENGL, T.; TOOMANIAN, N.; REUTER, H.I.; MALAKOUTI, M.J. Methods to interpolate soil categorical variables from profile observations: lessons from Iran. **Geoderma**, v.140, p.417-427, 2007.

HUI, L.; XIAOLING, C.; LIM, K.J.; XIAOBIN, C.; SAGONG, M. Assessment of soil erosion and sediment yield in Liao watershed, Jiangxi province, China, using USLE, GIS and RS. *Journal of Earth Science*, v. 21, n. 6, p. 941-953, 2010.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagem e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.31, n.2, pp.361-369, 2007.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. *Soil erosion research methods*. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LIMA, F. V.; SILVINO, G. S.; MELO, R. S. S.; ELDER CUNHA LIRA, E. C.; RIBEIRO, T. S. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 53 – 63, 2015.

LUCA, E.F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.789-800, 2008.

MAIA, S.M.F.; OGLE, S.M.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v.149, n.1, p.84-91, 2009.

MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FONSECA, S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41 n. 3, p. 322-327, 2011.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman; 2008.

MARQUES, J.J.G. de S. e M.; CURTI, N.; LIMA, J. M. de; FERREIRA, M.M.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, D.F. Estimativa da erodibilidade a partir de atributos de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.457-465, 1997.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, 229-239, 2016.

MELO, V.F.; SCHAEFER, C.E.G.R. Matéria orgânica em solos desenvolvidos de rochas máficas no nordeste de Roraima. **Acta Amazônica**, v. 39, p. 53-60, 2009.

METHERON, G. **Traité de géostatistique appliquée**. Paris: Editions Technip, v.1, 1962, 334 p.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-8.

MOURA, N. G.; LEES, A. C.; ANDRETTI, C. B.; DAVIS, B. J.; SOLAR, R. R.; ALEIXO, A.; BARLOW, J.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A. Avian biodiversity in multiple-use landscapes of the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 167, p. 339-348, 2013.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, T. D.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:1409-1418, 2001.

MUÑOZ, A.; LÓPEZ, P. A.; RAMÍREZ, M. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. **Soil & Tillage Research**, 2007.

NAVARRETE, I.; TSUTSUKI, K. Land-use impact on soil carbon, nitrogen, neutral sugar composition and related chemical properties in a degraded Ultisol derived from volcanic materials in Leyte, Philippines. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.54, p.321-331, 2008.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no nordeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p.45-53, 2007.

NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa. 2007. p.1017.

NOVAES FILHO, J. P.; COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. A.; JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; RIHA, S. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.91-100, 2007.

OLIVEIRA, D. P.; ROMERO, R. E.; FARIAS, P. R. S.; COSTA, M. C. G. Microrrelevo e a distri-buição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 676-684, 2013.

OLIVEIRA, I. A; CAMPOS, M. C. C; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015b.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; SOUZA, L. C. P.; MELO, V. F; ROCHA, H. O. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de solos da formação Guabirotuba, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1481-1490, 2011.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, C. M. A.; URCHEI, M. A. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.443-451, 2010.

PARYSOW, P.; WANG, G.; GERTRER, G. Z.; ANDERSON, A. Assessing uncertainty of erodibility factor in national cooperative soil surveys, a case study at Fort Hood, Texas. **Journal Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 56, n. 3, p. 207-211, 2001.

PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. de; TEIXEIRA, D. B.; MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J. Optimization of the sampling scheme for maps of physical and chemical properties estimated by kriging. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1128-1135, 2013.

RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

REBOUÇAS, T. N. H.; SÃO JOSÉ, A. R. **A cultura do urucum: práticas de cultivo e comercialização**. Vitória da Conquista: [s.n.], 1996. 42 p.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. da; REICHERT, J.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5, p.49-134.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: KLAUBERG FILHO, O. K.; MAFRA, Á. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v.7, p.1-54.

REIS, E. Estatística multivariada aplicada. 2ª ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2001. 343p.

ROCHA-JUNIOR, P.R.; DONAGEMMA, G.K.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R.R.; BALIEIRO, F.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A. Can soil organic carbon pools indicate the degradation levels of pastures in the Atlantic forest biome?. **Journal of Agricultural Science**, v.6, n.1, p.84-95, 2014.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MASSAROTO, J. A.; SÁ, J. J. G.; MARQUES, M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.691-699, 2004.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K. PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.

SANTANA, M. B.; SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, viçosa, v. 30, n. 1. P. 1-12, 2006.

SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I.; NICOLE, L. R. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1062-1068, 2012.

SEGNINI, A.; CARVALHO, J.L.N.; BOLONHEZI, D.; MILORI, D.M.B.P.; SILVA, W.T.L.; SIMÕES, M.L.; CANTARELLA, H.; MARIA, I.C.; MATIN-NETO, L. Carbon stock and humification index of organic matter affected by sugarcane straw and soil management. **Scientia Agrícola**, v.70, p.321-326, 2013.

SILVA CRUZ, J. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MATIAS, S. S. R.; CAMACHO-TAMAYO, J. H. Spatial variability of an Alfisol cultivated with sugarcane. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.38, n.1, p.155-164, 2011.

SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 4, p. 543–548, 2007.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P. & CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 10, p. 977-985, 1997.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M. de; FERREIRA, D.F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2287-2298, 1999.

SILVA, R.F.; BORGES, C.D.; GARIB, D.M.; MERCANTE, F.M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2435-2441, 2008.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C. TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, p. 15-22, 2010.

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

SILVA, E. N. S.; MONTANARI, M.; PANOSSO, A. R.; CORREA, A. R.; TOMAZ, P. K.; FERRAUDO, A. S. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p.598-607, 2015.

SILVA JÚNIOR, M.L.; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M.; MELO, V.S.; MARTINS, P.F.; SANTOS, E.R.; CARVALHO, C.J.R. Carbon content in Amazonian Oxisols after Forest conversion to pasture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1603-1611, 2009.

SIX, L.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society American Journal**, v.64, p.1042-1049, 2000.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

SOUSA, E. M. P.; FARIAS, L. J. G. Extração e estabilidade do corante de urucum (Bixa orellana L.) em base cosmética. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.16, n.2, p.195-204, 2014.

SOUZA JÚNIOR, C. M.; SIQUEIRA, J. V.; SALES, M. H.; FONSECA, A. V.; RIBEIRO, J. G.; NUMATA, I.; COCHRANE, M. A.; BARBER, C. P.; ROBERTS, D. A.; BARLOW, J. Ten-year Landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 5, n. 11, p. 5493-5513, 2013.

SOUZA, A. das G. C.; SILVA, S. E. L.; TAVARES, A. M.; RODRIGUES, M. do R. L. **A cultura do cupuaçu** (*Theobroma Grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum.). Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999. 39p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Circular Técnica, 2).

SOUZA, M. D. VIEIRA LIGO, M. A.; SKORUPA, L. A.; PIRES, A. M. M.; FILIZOLA, H. F. **Atributos físicos e químicos de área degradada tratada com lodo de esgoto**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 6 p. (Circular técnica, 21).

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Amostragem de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Científica**, v. 34, n. 3, p. 249-256, 2006.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Ciência Rural**, 40:48-56, 2009.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTAENLI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos do solo e sua produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.533-542, 2004.

SPIAZZI, F. R. Análise geoestatística de atributos químicos e físicos do solo em áreas construídas após mineração de carvão no município de Lauro Muller, SC. 2011. 98p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Lages, 2011.

SPOHR, R. B.; CARLESSO, R.; GALLÁRRETA, C. G.; PRÉCHAC, F. G.; PETILLO, M. G. Modelagem do escoamento superficial a partir das características físicas de alguns solos do Uruguai. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.74-81, 2009.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1301-1309, 2013.

SUDHARHSAN, S.; SENTHILKUMAR, S.; RANJITH, K. Physical and nutritional factors affecting the production of amylase from species of *Bacillus* isolated from spoiled food waste. **African Journal of Biotechnology**, v.6, p 430-435, 2007.

TAVARES, A. M.; ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; PEREIRA, J. C. R.; ARAÚJO, J. C. A.; MOARES, L. A. C.; SANTOS, L. P.; GARCIA, M. V. B.; ARRUDA, M. R.; SOUSA, N. R.; ANGELO, P. C. S. **Cultura do guaranazeiro no Amazonas**. 4. ed. Manaus, 2005. 40 p. (Embrapa Amazônia Ocidental - Sistemas de Produção; 2).

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. de C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 925-933, 2010.

TOY, T.J.; FOSTER, G.R. & RENARD, K.G. **Soil erosion: Processes, prediction, measurement, and control**. New York, Willey, 2002. 338p.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-

de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 381-386, 2014.

VITHARANA, U.W.A.; MEIRVENNE, M. VAN; SIMPSON, D.; COCKX, L.; BAERDEMAEKER, J.D. Key soil and topographic properties to delineate potential management classes for precision agriculture in the European loess area. **Geoderma**, v.143, p.206-215, 2008.

WANG, G.; GERTNER, G. Z., LIU, X.; ANDERSON, A. B. Uncertainly assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. **Catena**, Amsterdam, v. 46, p .1-14, 2001.

WANG, G.; HAPUARACHCHI, P.; ISHIDAIRA, H.; KIEM, A.S.; TAKEUCHI, K. Estimation of soil erosion and sediment yield during individual rainstorms at catchment scale. **Water Resources Management**, v. 23, N. 8, p. 1447-1465, 2009.

WEBSTER, R. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal of Soil Science**, v.52, p.331-340, 2001.

WEIRICH NETO, P. H.; JUNIOR, O. B.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B. Um estudo da variabilidade espacial do conteúdo de areia do solo, utilizando diferentes métodos de interpolação. **Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 12, n. 1, p. 41-49, 2006.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

WENDLING, B.; FREITAS, I.C.V.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M.M.; BORGES, E.N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão de cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, 28:256-265, 2012.

WISCHMEIER, W. H. Surface runoff in relation to physical and management factors. In: **Panamerican Soil Conservation Congress**, 1., 1966, São Paulo. Proceedings São Paulo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1966. p. 237-244.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; BIGHAM, J.M.; RESCK, D.V.S. Edaphic controls on soil organic carbono retention in the Brazilian Cerrado: Texture and mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, p.1204-1214, 2007.

5. CAPÍTULO I: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA AMAZÔNICA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL.

RESUMO

A conversão de áreas florestadas em sistemas de cultivo modifica os atributos físicos do solo e afetam a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola. O presente trabalho teve como objetivo avaliar alterações nos atributos físicos do solo em áreas sob cultivos de guaraná, cupuaçu e urucum, em comparação com a área de floresta. Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo, nas áreas de floresta e guaraná estabeleceu-se malhas de 90 x 70 m e espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 x 10 m, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m e espaçamento de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. Após delimitadas as malhas foram coletadas amostras nos pontos de cruzamento das malhas, nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área, totalizando 240 amostras por área. Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada em forma de torrão nas três profundidades avaliadas para determinação dos atributos físicos e textura do solo, perfazendo um total de 960 amostras nas quatro áreas avaliadas. O processo de conversão de florestas em áreas cultivadas sem manejo adequado causou mudanças negativas nos atributos físicos do solo. As áreas cultivadas com guaraná e urucum, apresentaram estágio mais avançado de degradação das propriedades físicas do solo; os atributos que mais sofreram alterações na conversão de floresta em ambientes cultivados foram: Ds, MaP, MiP, Pt, RSP e IEA; através da análise multivariada foi possível aferir que as maiores alterações dos atributos físicos para as áreas estudadas ocorreram nas profundidades 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m.

Palavras-chave: degradação do solo; análise multivariada; Atributos do solo.

5. CHAPTER I: PHYSICAL SOIL ATTRIBUTES UNDER CONVERSION OF AMAZONIAN FOREST TO DIFFERENT CROPPING SYSTEMS IN SOUTHERN AMAZONAS, BRAZIL.

ABSTRACT

The conversion of forested areas into cropping systems modifies the physical attributes of the soil and affects the environmental and economic sustainability of agricultural activity. The present work had as objective to evaluate alterations in the physical attributes of the soil in areas under guaraná, cupuaçu and urucum crops, compared to the forest area. Were established meshes according to the dimensions of cultivation, in the areas of forest and guaraná were established meshes of 90 x 70 m and regular spacing between the sample points of 10 x 10 m, in the area of annatto the established mesh was of 90 x 56 m and spacing of 10 x 8 m, already for area of cupuaçu the mesh had dimensions of 54 x 42 m, with spacing between the sample points of 6 x 6 m. After delimiting the meshes samples were collected at the crossing points of the meshes, at depths of 0,00-0,05; 0,05-0,10; and 0,10-0,20 m, with 80 sampling points in each area, totaling 240 samples per area. At each sampling point, were collected samples with a structure preserved clod-shaped were collected in the depths evaluated, to determine the physical attributes and soil texture, making a total of 960 samples in the four evaluated areas. The process of conversion of forests into cultivated areas without proper management caused negative changes in the physical attributes of the soil. The areas cultivated with guaraná and urucum presented more advanced stage of degradation of soil physical properties; the attributes that suffered the most changes at conversion of forest in cultivated environments were: Ds, MaP, MiP, Pt, RSP and IEA; through the multivariate analysis it was possible to verify that the greatest alterations of the physical attributes for the studied areas occurred in the depths 0.00-0.05 and 0.05-0.10 m.

Key words: soil degradation; multivariate analysis; soil attributes.

5.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a conversão de ambientes naturais em sistemas agropecuários, especialmente sistemas de monocultivo, tem provocado conseqüentes alterações no solo (SILVA et al., 2007; FREITAS et al., 2015). O uso e manejo inadequado do solo, além de contribuir para degradação do meio ambiente, ainda traz inúmeros problemas relacionados à sua sustentabilidade em razão da degradação da matéria orgânica do solo, alterando negativamente os atributos físicos do solo, bem como sua biodiversidade (COSTA et al., 2015).

Atualmente têm-se utilizado com frequência, indicadores físicos como densidade do solo, porosidade e estabilidade de agregados, para avaliação da qualidade dos solos. Tais indicadores estão relacionados à organização das partículas e do espaço poroso do solo, refletindo em limitações ao crescimento radicular, emergência das plântulas, à infiltração e percolação da água no perfil do solo (CUNHA NETO et al., 2018).

Estudos recentes ainda destacam que os atributos físicos do solo são bons indicadores de qualidade e permitem o monitoramento de áreas que sofreram algum tipo de interferência (AQUINO et al., 2014; FREITAS et al., 2018). Dessa forma, à medida que esses solos sofrem intervenções, ocorrem modificações nos seus atributos físicos como o aumento da densidade do solo, diminuição da porosidade total, distribuição do diâmetro dos poros, alteração na agregação e no teor de matéria orgânica (SOUZA et al., 2014), entre outros problemas que podem contribuir para o aumento da degradação do solo.

Para a interpretação das variações nos atributos dos solos é necessário a utilização dos métodos estatísticos. Os métodos univariados apresentam limitações, já que o comportamento dos atributos é interpretado isoladamente, não levando em conta interação com os demais atributos presentes, e desta maneira, uma opção de análise para facilitar o trabalho com dados que apresentam grande número de variáveis é pelo uso de análise multivariada (SILVA et al., 2010). Através da técnica de análise multivariada é possível explicar o máximo de

intercorrelação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização e/ou, alteração do solo, além de ser uma ferramenta eficiente, quanto se pretende realizar análise simultânea de muitas variáveis (OLIVEIRA et al., 2015; AQUINO et al., 2016).

Portanto, o objetivo neste trabalho foi avaliar os atributos físicos do solo em áreas sob cultivos de guaraná, cupuaçu e urucum, em comparação com a área de floresta.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em duas propriedades rurais que fazem parte do Assentamento São Francisco localizado no município de Canutama, Amazonas, Brasil sob as coordenadas geográficas de referência (8° 13' 23'' S; 64° 00' 50'' W) e (8° 13' 25'' S; 64° 00' 23'' W), em ambas propriedades. Foram selecionadas quatro áreas, sendo três áreas sob diferentes usos: cultivo de Urucum (*Bixa orellana* L.); cultivo de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng) Schum) e cultivo de Guaraná (*Paullinia cupana* (Mart.) Ducke) e mais área de floresta (Figura 1).

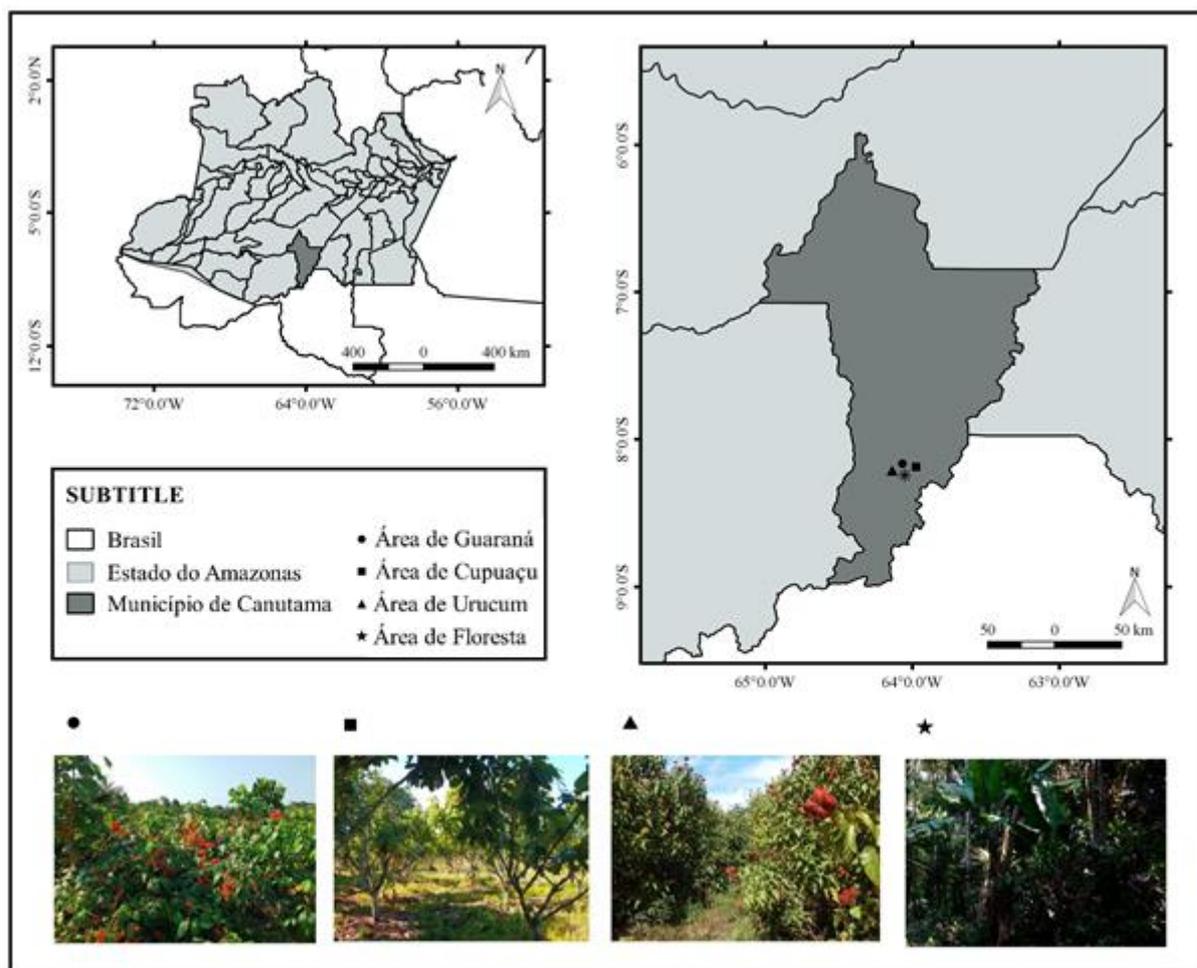


Figura 1. Localização e modelo de elevação digital das áreas com guaraná, cupuaçu, urucum e floresta, no município de Canutama, região sul do Amazonas - AM.

O solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo localizados na Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos aluviais antigos, (terraços superiores do pleistoceno) do período Quaternário, caracterizadas pela presença de relevos tabulares de grandes dimensões, definidos por talvegues de aprofundamento muito fraco, declives muito suaves e a drenagem natural é deficiente (EMBRAPA, 2013). No que se refere à caracterização climática, o clima da região é Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média varia entre 2250 e 2750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro e junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25 e 27° C e a umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

Quanto ao histórico de uso e manejo das áreas selecionadas para o estudo, foi possível levantar informações importantes e relevantes. Entre as quais, que as áreas cultivadas com guaraná e cupuaçu possuem 7 anos de efetivo cultivo, já a área de urucum apresenta somente 3 anos. Importante destacar que as respectivas áreas são oriundas de derrubada e queima da floresta, com consequente realização de destoca manual para limpeza da área no primeiro ano de cultivo. Nunca foi realizado nenhum tipo de adubação e calagem nas áreas cultivadas, em ambas apenas é realizado controle das plantas daninhas com utilização de roçadeira motorizada, além de pulverização com herbicida glifosato para controle do sapé (*Imperata brasiliensis*). As áreas de guaraná e urucum apresentam declividade média em torno de 3%. Já a área de cupuaçu está localizada em área mais plana, sendo possível observa-se acumulação efetiva de biomassa da cultura em grande quantidade. A área de floresta selecionada para fins de comparação no processo floresta/áreas cultivadas é caracterizada como floresta tropical Ombrófila densa, cujo a vegetação é perenifólia, constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 a 50 metros de altura.

5.2.2 Metodologia de Campo

Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo. Nas áreas de

guaraná e floresta foram estabelecidas malhas 90 x 70 m com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 x 10 m, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m com espaçamento entre os pontos amostrais de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. As amostras foram coletadas nos pontos de cruzamento das malhas, especificamente na projeção da copa nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área, e totalizando 240 amostras por área. Os pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin modelo Etrex (*Datum South American´69*).

Em cada ponto amostral, foram coletados anéis volumétricos de 4,0 cm de altura e 5,1 cm de diâmetro interno e amostras com estrutura preservada em forma de torrão nas três camadas avaliadas para determinação dos atributos físicos, textura e mecânica do solo, perfazendo um total de 960 amostras nas quatro áreas avaliadas. As amostras foram secas à sombra e levemente destorroadas, de forma manual, passado as mesmas em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha, separando-se o material retido na peneira de 4,76 mm para as análises relativas à estabilidade de agregados. Já as amostras retidas na peneira de 2,00 mm foram utilizadas para análise de textura do solo.

5.2.3 Determinações e análises em Laboratório

A determinação da estabilidade dos agregados do solo foi realizada pelo método de peneiramento úmido. A separação e estabilidade dos agregados foi determinado segundo Kemper & Chepil (1965), com modificações nas seguintes classes de diâmetro: 4,76-2,0 mm; 2,0-1,0 mm; 1,0-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,125; 0,125-0,063 mm.

Os agregados provenientes da peneira de 4,76 mm foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm e submetidos à agitação vertical em aparelho Yoder (modelo SOLOTEST) por 15 min e com 32 oscilações por minuto. O material retido em cada classe das peneiras foi colocado em estufa a 105 °C, em seguida mensurada as respectivas massas em

balança digital. Os resultados foram expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras para > 2 mm, 2-1 mm e < 1 mm, e posteriormente foram calculados os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) da classe $< 0,25$ mm, ambos por meio da fórmula proposta por CASTRO FILHO et al. (1998), o diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado segundo SCHALLER & STOCKINGER (1953), citados por ALVARENGA et al. (1986), de acordo com as equações:

$$\text{DMP} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i D_i}{\sum n_i} \quad (1)$$

$$\text{DMG} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^N n_i \log D_i}{\sum n_i}} \quad (2)$$

em que:

n_i é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira, D_i é o diâmetro médio de uma determinada peneira e N é o número de classes de peneiras.

$$\text{IEA} = \left(\frac{\text{MS-wp0,25-areia}}{\text{MS-areia}} \right) 100 \quad (3)$$

em que:

MS – massa seca da amostra, g; wp0,25 – massa dos agregados da classe $< 0,25$ mm, g.

Para as determinações da densidade do solo (Ds), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), volume total de poros (VTP) e umidade gravimétrica (Ug), as amostras coletadas em anéis volumétricos foram saturadas por meio da elevação gradual, até dois terços da altura do anel, de uma lâmina de água numa bandeja plástica. Após a saturação, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão para determinação da MiP do solo, sendo submetidas a uma tensão de -0,006 MPa. Após atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de -0,006 MPa, as amostras foram novamente pesadas e, em seguida, realizadas feitas as medidas da

resistência do solo à penetração (RSP), utilizando-se um penetrógrafo eletrônico de bancada (MA-933, Marconi, SP, BR). Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C para a determinação da Ug, Ds e VTP, pelo método do anel volumétrico, já a MaP será determinada pela diferença entre VTP e MiP (EMBRAPA, 2011).

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 min, seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (2011). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte foi calculado pela diferença. A correlação de Pearson foi utilizada para avaliar a força e direção da correlação dos mapas do padrão de distribuição dessas variáveis.

5.2.4 Análises Estatísticas

Após a obtenção dos dados dos atributos físicos, foram realizadas as análises de estatística descritiva onde foram calculados a média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. O coeficiente de variação (CV%) foi avaliado conforme classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), que classifica variáveis do solo como: $CV < 12\%$, $12 < CV < 60\%$, e $CV > 60\%$ para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

Posteriormente foram feitas análise estatística univariada e multivariada. A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para verificar se existe diferença entre as áreas estudadas, para saber qual área é diferente da outra e comparar as médias dos atributos, utilizando o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, por meio do software SPSS 21 (SPSS Inc., 2001). Em seguida foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA), de modo que nas tabelas da multivariada, foi apresentado apenas os atributos que apresentaram correção entre os fatores através da análise fatorial, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, com referência ao ambiente sob

floresta, obtendo como resposta atributos que sofrem maior influência sobre o uso do solo.

A adequação da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Barlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi feita pelas componentes principais, incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco. A escolha do número de fatores a ser utilizados foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superior a 1). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (*Varimax*) dos fatores e representada em um plano fatorial das duas componentes. A correlação de Pearson foi utilizada para avaliar a força e direção da correlação dos mapas do padrão de distribuição dessas variáveis.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva, assim como análise de variância dos atributos físicos avaliados em áreas cultivadas com guaraná, urucum e cupuaçu em comparação com a área de floresta estão apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3, para as respectivas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. Com base, nestes resultados foi possível observar que nas diferentes profundidades avaliadas, os valores de média e mediana para a maioria dos atributos foram muito próximos, com exceção dos atributos MaP, Pt e Ug nas áreas de cupuaçu e guaraná, sendo que na área de cupuaçu as exceções para os respectivos atributos ocorreram nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m (Tabela 1 e 3), e na área de guaraná nas profundidades 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabela 2 e 3).

Os coeficientes de assimetria e curtose dos atributos avaliados apresentaram valores próximos à zero para quase todos os atributos analisados, com exceção apenas de alguns atributos que apresentaram valores de curtose mais distantes de zero, como foi o caso dos atributos DMG e IEA na área sob cultivo de guaraná para a profundidade 0,00-0,05 m, e RSP na profundidade 0,10-0,20 m. A outra exceção ocorreu na área cultivada com urucum para o atributo RSP nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m (Tabela 1 e 3). Trabalhos destacam que a assimetria e curtose são indicadores da distribuição dos dados, contudo, são mais sensíveis a valores extremos que a média e mediana, sendo que tais valores próximos a zero indicam maior normalidade dos dados (KAMIMURA et al., 2013; ALHO et al., 2016).

Quanto aos resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov os mesmos indicaram normalidade para todos os atributos avaliados em todas as profundidades estudadas, tais resultados só justificam os valores de média e mediana encontrados anteriormente, a qual já demonstravam a possível distribuição normal dos dados, em virtude da proximidade dos valores centrais encontrados.

Tabela 1. Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade de 0,00-0,05 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas.

Estatística	Ds	MaP	MiP	Pt	DMG	DMP	IEA	Ug	RSP	Areia	Silte	Argila
Descritiva	g cm ⁻³	----- m ³ m ⁻³ -----	----- mm -----	----- mm -----	----- % -----	----- % -----	----- % -----	MPa	----- % -----	----- g kg ⁻¹ -----	----- g kg ⁻¹ -----	----- g kg ⁻¹ -----
Guaraná												
Média	1,10 a	9,00 b	36,67 a	46,00 a	2,79 a	3,19 a	93,92 b	34,00 bc	0,89 a	390,03 a	392,99 c	216,98 a
Mediana	1,11	9,00	37,018	46,00	2,81	3,19	94,54	34,00	0,90	389,92	391,99	216,00
DP	0,10	3,00	4,473	4,00	0,24	0,07	3,09	6,00	0,29	47,98	40,63	32,04
CV (%)	9,51	31,95	12,2	8,87	8,74	2,12	3,29	17,8	32,20	12,30	10,36	14,87
Assimetria	-0,19	0,89	0,05	0,44	-1,30	-0,56	-1,64	0,32	-0,26	0,08	0,22	-0,45
Curtose	-0,22	1,14	-0,19	0,36	2,32	0,09	3,90	0,57	-0,79	-0,53	-0,30	-0,05
K-S	0,05*	0,10*	0,07*	0,063*	0,11*	0,11*	0,12*	0,05*	0,18*	0,06*	0,09*	0,13*
Urucum												
Média	0,99 b	15,36 a	34,85 b	47,90 a	2,76 a	3,18 a	92,87 b	35,26 b	0,62 b	378,10 a	445,29 b	176,61 b
Mediana	1,00	14,03	34,698	47,50	2,80	3,20	93,71	34,85	0,59	375,10	442,29	175,61
DP	0,14	5,39	3,398	4,43	0,27	0,09	4,17	5,64	0,28	51,94	56,11	40,27
CV (%)	14,44	35,07	9,75	9,24	9,89	2,88	4,49	16,00	45,97	13,85	12,69	22,93
Assimetria	0,03	0,85	0,19	0,07	-0,84	-1,52	-1,09	0,02	1,45	0,57	0,25	-0,11
Curtose	0,81	0,17	1,03	0,22	0,01	2,84	0,60	1,48	4,50	-0,43	0,04	-1,04
K-S	0,06*	0,12*	0,09*	0,06*	0,16*	0,17*	0,15*	0,09*	0,05*	0,10*	0,10*	0,12*
Cupuaçu												
Média	0,92 c	15,43 a	27,31 c	40,39 b	2,53 b	3,08 a	91,12 c	30,52 c	0,40 c	263,77 b	519,49 a	216,74 a
Mediana	0,92	4,09	27,165	4,43	2,53	3,08	91,58	6,20	0,35	265,50	519,64	209,20
DP	0,10	26,50	4,253	10,97	0,25	0,10	3,96	20,33	0,18	34,15	43,03	33,42
CV (%)	10,84	15,96	15,57	40,05	9,90	3,41	4,34	29,90	45,76	13,00	8,28	15,52
Assimetria	-0,25	0,08	-0,07	0,32	-0,16	-0,31	-0,94	0,93	0,61	0,24	0,13	-0,01
Curtose	-0,11	-0,33	-0,54	-0,16	-0,88	-0,80	0,55	1,49	-0,44	-0,83	-0,38	-0,33
K-S	0,06*	0,06*	0,05*	0,08*	0,08*	0,10*	0,09*	0,13*	0,08*	0,09*	0,04*	0,14*
Floresta												
Média	0,87 d	15,34 a	34,38 b	47,65 a	2,82 a	3,20 a	95,64 a	40,93 a	0,43 c	252,19 b	530,44 a	217,37 a
Mediana	0,87	15,29	34,664	47,87	2,85	3,20	95,80	40,32	0,39	252,00	529,01	215,37
DP	0,13	5,48	4,694	6,40	0,23	0,07	2,05	11,68	0,20	26,12	37,53	31,96
CV (%)	15,14	35,69	13,65	13,43	8,26	2,17	2,14	28,54	47,37	10,48	7,09	14,84
Assimetria	0,14	0,25	-0,19	-0,60	-0,58	-0,28	-0,74	0,45	0,76	0,03	-0,02	-0,59
Curtose	0,16	-0,55	-0,69	0,14	0,05	-0,71	0,52	1,45	-0,25	0,13	0,83	0,98
K-S	0,07*	0,07*	0,08*	0,08*	0,07*	0,07*	0,08*	0,08*	0,43*	0,07*	0,07*	0,15*

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; Ug: unidade gravimétrica; RPS: resistência do solo à penetração; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 2. Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade de 0,05-010 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas.

Estatística	Ds	MaP	MiP	Pt	DMG	DMP	IEA	Ug	RSP	Areia	Silte	Argila
Descritiva	g cm ⁻³	----- m ³ m ⁻³ -----	----- mm -----	----- mm -----	----- mm -----	----- % -----	----- % -----	MPa	----- % -----	----- g kg ⁻¹ -----	----- g kg ⁻¹ -----	----- g kg ⁻¹ -----
Guaraná												
Média	1,12 a	9,77 d	35,89 a	45,58 b	2,44 c	2,96 bc	91,12 b	32,28 b	1,01 a	363,61 b	410,86 b	225,53 c
Mediana	1,11	3,36	36,000	5,15	2,51	3,01	92,49	5,27	0,99	357,30	407,16	228,65
DP	0,07	34,34	3,465	11,29	0,43	0,24	5,07	16,33	0,40	41,52	39,93	52,07
CV (%)	5,95	9,39	9,66	45,39	17,42	8,00	5,56	32,51	39,72	11,42	9,68	23,09
Assimetria	0,60	0,76	-0,39	-0,19	-0,97	-1,32	-1,74	-0,51	0,74	0,47	0,05	-0,20
Curtose	-0,17	0,51	0,13	0,67	0,75	1,79	3,37	0,64	-0,02	-0,33	1,53	0,48
K-S	0,13*	0,08*	0,08	0,08*	0,13*	0,14*	0,16*	0,07*	0,10*	0,08*	0,10*	0,10*
Urucum												
Média	1,05 b	14,87 b	33,64 c	46,67 b	2,81 a	3,16 a	94,64 a	32,37 b	1,01 a	383,86 a	320,14 c	296,00ab
Mediana	1,06	14,50	33,643	46,36	2,85	3,19	94,86	32,14	0,99	385,90	320,73	296,00
DP	0,09	20,36	2,706	3,81	0,24	0,11	2,33	3,53	0,40	51,56	34,42	48,64
CV (%)	8,14	3,03	8,04	8,17	8,63	3,45	2,46	10,92	39,72	13,32	10,65	16,43
Assimetria	-0,70	0,62	-0,39	0,12	-0,83	-1,20	-0,66	0,89	0,74	0,45	0,01	-0,15
Curtose	0,53	1,14	1,01	1,80	0,33	1,30	0,20	1,99	-0,02	-0,51	-0,34	-0,83
K-S	0,07*	0,07*	0,04	0,08*	0,09*	0,12*	0,09*	0,10*	0,07*	0,12*	0,09*	0,11*
Cupuaçu												
Média	1,14 a	13,39 c	23,24 d	34,75 c	2,59 b	3,04 b	93,74 a	20,72 c	0,50 c	284,69 c	418,06 b	297,25 a
Mediana	1,14	12,82	23,165	33,86	2,60	3,05	94,05	20,05	0,48	286,70	415,20	303,20
DP	0,10	2,43	3,396	3,46	0,26	0,16	2,45	4,24	0,19	29,96	59,37	43,52
CV (%)	8,97	18,11	14,61	9,96	9,87	5,20	2,61	20,48	38,67	10,53	14,20	14,64
Assimetria	-0,12	0,62	0,20	0,68	-0,68	-1,13	-0,76	0,53	0,34	-0,20	0,98	-0,74
Curtose	-0,60	0,18	-0,16	-0,02	0,85	1,02	0,79	-0,29	-0,79	0,31	1,29	0,22
K-S	0,08*	0,12*	0,06	0,11*	0,10*	0,15*	0,08*	0,091*	0,43*	0,06*	0,09*	0,10*
Floresta												
Média	0,96 c	17,78 a	34,72 b	50,38 a	2,52 bc	2,94 c	93,67 a	36,53 a	0,62 b	238,88 a	483,25 a	277,87 b
Mediana	0,97	17,01	34,731	49,74	2,52	2,96	94,09	35,67	0,61	238,00	483,40	276,94
DP	0,09	4,14	3,458	3,39	0,31	0,26	2,66	5,73	0,24	24,09	45,85	39,81
CV (%)	9,60	23,28	9,96	6,74	12,33	8,91	2,83	15,7	39,08	10,08	9,54	14,33
Assimetria	0,01	-0,11	-0,01	0,25	0,00	-0,91	-0,63	-0,03	0,43	0,21	-0,17	0,21
Curtose	0,19	1,38	-0,41	-0,55	-0,56	0,47	-0,12	-0,28	-0,34	0,13	-0,35	0,00
K-S	0,07*	0,09*	0,08*	0,15*	0,15*	0,11*	0,11*	0,08*	0,71*	0,06*	0,08*	0,10*

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; Ug: unidade gravimétrica; RPS: resistência do solo à penetração; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 3. Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade de 0,10-0,20 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	Ds g cm ⁻³	MaP -----	MiP m ³ m ⁻³ -----	Pt	DMG -----	DMP mm -----	IEA -----	Ug % -----	RSP MPa	Areia	Silte -----	Argila g kg ⁻¹ -----
Guaraná												
Média	1,13 b	11,31 b	36,88 a	45,77 a	2,09 b	2,72 bc	89,47 c	33,14 a	0,69 b	361,48 b	434,92 b	203,60 c
Mediana	1,12	3,85	36,958	6,95	2,05	2,72	90,31	6,13	0,68	360,10	435,40	204,00
DP	0,06	34,04	3,993	15,19	0,43	0,27	5,38	18,50	0,30	40,65	23,63	39,11
CV (%)	5,66	11,09	10,83	46,86	20,62	9,87	6,02	32,14	43,42	11,18	5,43	19,19
Assimetria	0,28	0,18	-0,62	-1,03	-0,15	-0,38	-1,08	-0,21	1,60	0,76	0,19	-0,36
Curtose	-0,33	0,24	0,95	1,90	-0,50	-0,29	0,84	1,97	7,36	0,03	0,56	-0,65
K-S	0,09*	0,06*	0,10*	0,10*	0,06*	0,06*	0,14*	0,08*	0,09*	0,10*	0,08*	0,10*
Urucum												
Média	1,06 c	12,61 b	32,52 c	43,41 b	2,62 a	3,03 a	92,83 a	31,22 b	0,69 b	380,31 a	405,28 c	214,41 b
Mediana	1,06	12,43	32,521	43,48	2,67	3,09	93,80	31,11	0,68	380,30	409,14	211,20
DP	0,09	3,33	2,349	3,89	0,27	0,18	3,48	2,77	0,30	53,63	54,32	48,07
CV (%)	8,90	26,42	7,22	8,96	10,46	5,79	3,75	8,88	43,42	14,10	13,40	21,76
Assimetria	0,01	0,14	-0,09	0,09	-0,69	-1,16	-1,04	0,70	1,60	0,29	-0,01	0,03
Curtose	0,00	-0,25	-0,21	1,72	0,75	0,90	0,64	1,55	7,36	-0,43	-0,42	-0,43
K-S	0,05*	0,06*	0,04	0,09*	0,11*	0,16*	0,15*	0,09*	0,19*	0,07*	0,08*	0,12*
Cupuaçu												
Média	1,16 a	12,64 b	10,58 d	46,18 a	2,07 b	2,62 c	90,92 bc	31,01 b	0,77 a	279,30 c	418,40 bc	302,30 a
Mediana	1,18	3,23	10,511	3,99	2,07	2,66	91,83	3,53	0,75	278,40	419,50	295,20
DP	0,10	25,53	3,142	8,63	0,39	0,35	3,69	11,39	0,29	26,62	44,49	35,74
CV (%)	8,63	12,49	29,71	45,77	18,67	13,34	4,06	30,59	37,97	9,53	10,63	11,82
Assimetria	-0,22	0,48	0,57	-0,06	-0,28	-0,67	-1,21	0,49	0,04	0,40	0,06	0,31
Curtose	1,11	-0,20	-0,17	-0,13	-0,70	-0,28	1,30	0,35	-0,66	-0,10	0,50	-0,05
K-S	0,12*	0,13*	0,14*	0,09*	0,09*	0,10*	0,13*	0,09*	0,07*	0,06*	0,07*	0,10*
Floresta												
Média	1,02 c	16,47 a	33,36 b	47,64 a	2,15 b	2,75 b	91,86 ab	32,63 ab	0,65 b	241,16 d	467,04 a	291,80 a
Mediana	1,03	16,34	33,398	47,40	2,15	2,75	92,65	32,76	0,65	240,98	466,22	292,00
DP	0,09	4,28	2,741	4,75	0,46	0,33	3,93	2,04	0,25	27,20	39,42	32,46
CV (%)	9,26	25,97	8,21	9,98	21,59	11,90	4,28	6,24	38,01	11,28	8,44	11,22
Assimetria	-0,09	0,67	-0,33	-0,27	-0,07	-0,42	-0,65	0,50	-0,21	0,42	0,25	-0,80
Curtose	0,83	0,69	1,48	0,89	-0,86	-0,61	-0,14	0,49	-0,97	0,15	0,53	1,24
K-S	0,06*	0,13*	0,08*	0,09*	0,07*	0,09*	0,09*	0,11*	0,05*	0,09*	0,06*	0,15*

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; Ug: unidade gravimétrica; RPS: resistência do solo à penetração; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Adotando-se os critérios propostos por Warrick e Nielsen (1980), que consideram os valores do coeficiente de variação abaixo 12% como baixa, entre 12% e 60% como média e valores acima 60% como alta variação. Foi possível afirmar com base nos valores de (CV%) encontrados, que os atributos estudados apresentaram de baixa à média variação para todas as áreas e profundidades estudadas, corroborando com resultados encontrados por Aquino et al. (2015) e Cunha et al. (2017), a qual ambos estudaram os atributos físicos do solo na região amazônica.

Quando analisados os resultados da análise de variância dos atributos físicos nas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabelas 1, 2 e 3), por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), verificou-se que os maiores valores do atributo densidade (D_s) na profundidade 0,00-0,05 m, seguiu a sequência de guaraná > urucum > cupuaçu > floresta, de modo que as respectivas áreas apresentaram entre-si diferenças significativas (Tabelas 1). Resultados similares foram encontrados por Freitas et al. (2018), os mesmos observaram maiores valores de D_s em áreas antropizadas em comparação com floresta mata nativa. Valores de D_s mais altos encontrados na área de guaraná, possivelmente estar associado ao tempo de 7 (sete) anos que a referida cultura se encontra sob intensa exploração agrícola, além do uso do fogo para a limpeza da área, uma vez que as principais alterações que podem ocorrer com a queima são evidenciadas pela diminuição do volume de macroporos, diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis e pelo aumento da densidade do solo, principalmente na profundidade superficial do solo (REDIN et al., 2011).

Segundo Viana et al. (2011), o aumento da densidade do solo em área cultivada também pode ser explicado pela redução nos teores de matéria orgânica na superfície do solo, em comparação com o solo sob floresta nativa. Os presentes resultados corroboram com os trabalhos de Reis et al. (2009), onde os mesmos observaram que quando as áreas de florestas são substituídas por culturas agrícolas ou pastagens ocorrem alterações nos atributos dos solos,

como aumento da densidade do solo (Ds). Ao se analisar os valores da Ds na profundidade 0,05-0,10 m, verificou-se que as áreas cultivadas com guaraná com valor de ($1,12 \text{ g cm}^{-3}$) e cupuaçu ($1,14 \text{ g cm}^{-3}$) não apresentaram diferenças significativas entre si, porém as mesmas foram estatisticamente diferentes quando comparadas a área cultivada com urucum e floresta, sendo a floresta com menor valor de Ds ($0,96 \text{ g cm}^{-3}$) (Tabela 1).

Na profundidade de 0,10-0,20 m, foi possível observar incremento no valor de densidade na área sob cultivo de cupuaçu com valor em torno de ($1,16 \text{ g cm}^{-3}$), de modo que a presente área apresentou diferença significativa, quando comparada as áreas de guaraná, urucum e floresta, esse comportamento era esperado, pois áreas que não sofrem revolvimento do solo, tende a ocorrer elevada deposição de material orgânico na superfície do solo, proporcionado pelo acúmulo de resíduos vegetais da própria cultura (HERNANI e SALTON, 2009; GUARESCHI et al., 2012; TORRES et al., 2015). No geral observou-se que todas as áreas estudadas apresentaram aumento da Ds em profundidade, fato que pode ser atribuído a condição menos estruturante das partículas do solo nas profundidades subsuperficiais.

Ao analisar os resultados dos atributos MaP, MiP e Pt na profundidade 0,00-0,05 m, foi possível observar que para o atributo MaP, as áreas de urucum, cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa, ambas apenas diferiram significativamente da área cultivada com guaraná, de modo que a mesma apresentou menor valor de MaP em superfície. Este resultado pode ser explicado em virtude da maior densidade do solo encontrada na área de guaraná, uma vez que a mesma ocasiona redução na macroporosidade, conforme Chioderoli et al. (2012) e Cardoso et al. (2013). Importante ressaltar ainda em relação a variável MaP, que ambas as áreas avaliadas apresentaram condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas, devido a todos os valores de MaP se apresentarem acima de $10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o qual é definido como limitante ao crescimento radicular, (DEXTER, 1988). A única exceção se deu apenas para área cultivada com guaraná na profundidade 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, onde se observou valores

abaixo do padrão utilizado como referência. Diante de tal resultado, a redução dos macroporos abaixo de $10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ pode restringir a transmissão de água e nutrientes através da zona radicular (BEVAN, 1980). Neste sentido, os presentes valores críticos de MaP encontrados na área de guaraná podem comprometer a drenagem e a difusão de oxigênio, limitando a respiração radicular e gerando menor exploração do solo pelas raízes das plantas (DREWRY et al., 1999).

Em relação a microporosidade (MiP) e porosidade total (Pt) ainda na profundidade 0,00-0,05 m, foi possível aferir que os maiores valores de microporos foram encontrados na área de guaraná, fato que também se atribui ao aumento da densidade do solo na respectiva profundidade avaliada. Quanto aos valores de Pt observou-se que os maiores valores ocorreram nas áreas cultivadas com guaraná, urucum e floresta, ambas não apresentando diferença estatística entre si.

Ao se analisar os mesmos atributos MaP, MiP e Pt, porém desta vez nas profundidades 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, observou-se que os respectivos atributos apresentaram diferenças significativas, de modo que os maiores valores de MaP e Pt foram observados na área floresta para ambas profundidades. Vale ressaltar que a MaP e Pt é inversamente proporcional à densidade (CHIODEROLI et al., 2012) e que, desta forma, os valores de Pt maiores em proximidade à superfície do solo, geralmente são encontrados em áreas sob floresta nativa (LUCIANO et al., 2010 e MARTINKOSKI et al., 2017). Em relação a variável MiP foi possível observar que os maiores valores ocorreram na área sob cultivo de guaraná, em razão do manejo adotado para o solo nesta área.

Com base nas tabelas 1, 2 e 3, também foi possível observar que o atributo RSP, apresentou diferenças significativas, razão pela qual verificou-se que os maiores valores de RSP foram encontradas nas áreas cultivadas com guaraná e urucum respectivamente na profundidade 0,05-0,10 m, já os menores valores ocorreram nas áreas de floresta e cupuaçu na profundidade 0,00-0,05 m. É possível atribuir os maiores valores de RSP encontrados para as áreas de guaraná

e urucum devido à baixa ação efetiva de preparo inicial do solo. Tais resultados corroboram com Vogel e Fei (2016), aos quais também atribuíram aos maiores valores obtidos de DS e RSP nas profundidades superficiais a baixa intensidade de preparo do solo. Ao adotar a classificação de Couto et al. (2016), a qual classifica valores ideais de resistência do solo a penetração, pode-se afirmar que as áreas estudadas em todas as profundidades apresentam RSP menores que 2 MPa, fato que caracteriza solos sem restrição ao crescimento radicular das plantas. No geral é viável se dar uma maior atenção as áreas de guaraná e urucum tendo em vista ambas terem apresentado valores de RSP mais elevados em comparação com as áreas de floresta e cupuaçu, em torno de 1,01 MPa.

Quando analisados os atributos relacionados a estrutura do solo DMG, DMP e IEA na profundidade de 0,00-0,05 m, observou-se que os maiores valores dos respectivos atributos foram encontrados em áreas sob floresta, tal fato evidencia alto grau de agregação das partículas do solo. Os respectivos resultados corroboram com o trabalho realizado por Luciano et al. (2010), onde observaram melhor agregação do solo em mata natural, sugerindo que tal resultado pode ter sido influenciada pela maior atividade biológica. Os menores valores de DMG, DMP e IEA encontraram-se na área de cupuaçu (Tabela 1), isso indica que provavelmente o uso contínuo da área por longos 7 anos, sem adoção de nenhuma prática de manejo conservacionista ocasionou a desagregação das partículas do solo, aceleração na decomposição do carbono orgânico e os menores índices de estabilidade de agregados em relação as demais áreas estudadas. Quando analisados os mesmos atributos nas profundidades 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m respectivamente, observou-se menores valores dos atributos DMG, DMP e IEA nas áreas cultivadas guaraná, com exceção pontual para o atributo DMP na profundidade 0,05-0,10 m, onde as áreas de guaraná e floresta não apresentaram diferença significativa pelo teste Tukey. A outra exceção para a mesma variável se deu na profundidade 0,10-0,20 m onde observou-se que as áreas de guaraná e cupuaçu também não evidenciaram entre si diferenças significativas.

Através dos resultados é possível aferir que a área sob cultivo do guaraná apresentou intensa ação de desagregação do solo em profundidade, fato que pode estar relacionado tanto ao tempo de uso da área para cultivo e/ou topografia do terreno.

Quando analisados os resultados das frações granulométrica observou-se predominância da fração silte em todas as áreas, assim como para todas as profundidades estudadas, com valores que variaram de 483,5 a 530,44 g kg⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por BRITO et al., (2018) estudando a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em áreas sob usos com café, cacau e pastagem na região Sul do Amazonas.

Foi possível aferir ainda que para o atributo areia na profundidade 0,00-0,05 mm as áreas de guaraná e urucum não apresentaram diferença significativa entre si pelo teste Tukey (Tabela 1). Já nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m a área de urucum apresentou diferença significativa em relação as áreas de guaraná, cupuaçu e floresta (Tabela 2 e 3). Quando se avaliou os valores de argila, observou que as áreas de guaraná, cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa entre si, no entanto as respectivas áreas diferiram da área de urucum na profundidade 0,00-0,05 mm. Já na profundidade 0,05-0,10 m as áreas de urucum e cupuaçu apresentaram maiores valores quando comparadas às áreas de guaraná e floresta, em seguida ao analisar os resultados na profundidade 0,10-0,20 m, as áreas de cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa entre si pelo teste Tukey a nível de 0,05 probabilidade. Após análise geral dos resultados foi possível caracterizar os teores de areia, silte e argila como de textura média para todas as profundidades avaliadas.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores da correlação de Pearson ao nível de 0,05 e 0,01 de significância, para os atributos físicos do solo de todas as áreas estudadas. Foi possível observar que o atributo Ds apresentou correlação positiva com MiP ($r = 0,16$), Areia ($r = 0,48$) e RSP ($r = 0,59$). Em contrapartida os resultados indicaram que a Ds é afetada pelos atributos MaP ($r = -0,56$), Pt ($r = -0,22$), Ug ($r = -0,48$), IEA ($r = -0,13$) e Silte ($r = -0,51$), ambos

apresentando correlação negativa (Tabela 4). Essas correlações evidenciaram que à medida que a Ds aumentou, simultaneamente ocorreu a elevação da MiP e RSP, tal fato indica que o processo de conversão floresta em áreas cultivadas está promovendo modificações na estrutura do solo, principalmente no aumento do índice de compactação, algo que pode comprovar tal indicativo é a ocorrência de correlação positiva da Ds com a areia, uma vez que solos arenosos são mais suscetíveis a compactação (DONAGEMMA et al., 2016), tais resultados também corroboram com os encontrados por Torres et al. (2015). Quanto a correlação negativa entre Ds com MaP, Pt, Ug, IEA e silte evidenciou efetivamente a diminuição da capacidade de aeração do solo em profundidade, influenciando a infiltração da água, conforme também observado por Hickmann et al. (2012).

Tabela 4. Correlação de Pearson dos atributos físicos do solo em áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas.

Atributos	Ds	MaP	MiP	Pt	Ug	DMG	DMP	IEA	Areia	Silte	Argila	RSP
Ds	1,00	-0,56**	0,16**	-0,22**	-0,48**	-0,08 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,13*	0,48**	-0,51**	-0,06 ^{ns}	0,59**
Macro		1,00	-0,41**	0,20**	0,09 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,42**	0,45**	0,08 ^{ns}	-0,57**
Micro			1,00	0,70**	0,66**	0,22**	0,19**	0,22**	0,32**	-0,32**	-0,12*	0,45**
Pt				1,00	0,71**	0,23**	0,20**	0,23**	0,13*	-0,08 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,14*
Ug					1,00	0,21**	0,15**	0,30**	-0,13*	0,12*	-0,004 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
DMG						1,00	0,82**	0,81**	0,10 ^{ns}	-0,11*	0,012 ^{ns}	0,10 ^{ns}
DMP							1,00	0,62**	0,18**	-0,18**	-0,05 ^{ns}	0,13*
IEA								1,00	-0,16**	0,10 ^{ns}	0,21**	-0,01 ^{ns}
Areia									1,00	-0,87**	-0,50**	0,60**
Silte										1,00	0,11*	-0,59**
Argila											1,00	-0,18**
RSP												1,00

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Ao analisar a correlação de Pearson para o atributo MaP, observou-se que o presente atributo apresentou correlação positiva com Pt e Silte, porém obteve correlação negativa com os atributos MiP, Areia e RSP. Por outro lado, com base nos resultados foi possível aferir que o atributo MiP, apresentou correlação positiva para quase todos atributos estudados, entre os

quais Pt, Ug, DMG, DMP, IEA, Areia e RSP com exceção apenas dos atributos silte e argila a qual para ambos apresentou correlação negativa (Tabela 4). Importante ressaltar que correlação positiva causa efeito direto nos atributos, onde o aumento do MiP irá proporcionar um aumento dos atributos correlacionados positivamente, tal aumento do atributo MiP causou evidente modificações nos atributos físicos do solo, principalmente no estado de agregação, resultados semelhantes foram observados por Torres et al. (2015) e Cunha et al. (2017). Outro estudo destaca a importância em se avaliar os valores de MaP e MiP no solo, uma vez que a microporosidade, possui a função de retenção e armazenamento de água no solo, e a macroporosidade, cuja função é a de arejar e infiltrar a água no solo (NAGAHAMA et al., 2016).

Quando se analisou a correlação para o atributo Pt, verificou-se que o presente atributo seguiu a mesma tendência de correlação positiva da MiP, com exceção dos atributos silte e argila, a qual nesta condição o atributo Pt apresentou correlação não significativa com silte e argila, fato este que não ocorreu com o atributo MiP (Tabela 4).

A partir dos dados apresentados na Tabela 4, ainda foi possível aferir que o atributo Ug, apresentou correlação positiva com DMG ($r = 0,21$), DMP ($r = 0,15$), IEA ($r = 0,30$) e Silte ($r = 0,12$), em contrapartida demonstrou correlação negativa com Areia ($r = -0,13$) (Tabela 4). Ao analisar a correlação do atributo DMG e DMP é possível constatar que ambos apresentaram correlação negativa para silte e correlação positiva mais voltado para atributos ligados ao estado de agregação e condições de estruturação do solo. Quanto ao atributo IEA observou-se que o mesmo apresentou correlação positiva para argila ($r = 0,21$) e correlação negativa para areia ($r = -0,16$), no mesmo sentido foi possível observar correlação positiva do atributo areia com o atributo RSP e correlação negativa com silte e argila. Finalizando as análises da correlação diagnosticou-se ainda que os atributos silte e argila apresentaram correlação positiva entre si e correlação negativa com o atributo RSP.

Na análise multivariada, observou-se os atributos físicos do solo que sofreram maior alteração após o processo de conversão floresta para áreas cultivadas com espécies amazônicas. A adequação da análise fatorial mostrou-se significativo na profundidade 0,00-0,05 m com (KMO igual a 0,73), 0,05-0,10 m (KMO igual a 0,68) e na profundidade 0,10-0,20 m (KMO igual a 0,64), além de $p < 0,05$ para o teste de esfericidade de Barlett, o presente teste sugere que os dados dos atributos avaliados são adequados à análise fatorial (Tabela 5). O índice de KMO, também conhecido como índice de adequação da amostra, é um teste estatístico que sugere a proporção de variância dos itens que pode estar sendo explicada por uma variável latente (LORENZO-SEVA et al., 2011). Tal índice indica a quão adequada é a aplicação da Análises Fatoriais Exploratórias para o conjunto de dados (HAIR et al., 2005).

Na análise de componentes principais (ACP), com as variáveis de maiores escores, foram extraídos dois componentes principais que de forma geral explicaram a variabilidade total dos dados para as três profundidades estudadas: 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20. O número de fatores extraídos foi estabelecido de forma a explicar acima de 70% da variância total dos dados (Tabela 5 e Figura 2). Segundo Ribas e Vieira (2011), objetivo da ACP é atingido quando um número relativamente pequeno de componentes extraídos possuem a capacidade de explicar a maior parte da variabilidade nos dados originais.

De acordo com Manly (2008), foram consideradas somente as variáveis com autovalores acima de 1, pois são aquelas que geram componentes com quantidade relevante de informação das variáveis originais. Com base nisso, a profundidade 0,00-0,05 m apresentou autovalores da matriz de covariância de 3,05 na CP1 e 2,59 na CP2, na profundidade 0,05-0,10 m os autovalores da matriz foram de 3,01 na CP1 e 2,64 na CP2, já na profundidade mais subsuperficial de 0,10-0,20 m os autovalores da matriz de covariâncias foram de 2,59 na CP1 e 2,16 na CP2 (Tabela 5).

Tabela 5. Correlação entre cada componente principal das variáveis analisadas dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas - AM.

Profundidade 0,00-0,05 m			
Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
Ds	0,44	0,78*	-0,02
MaP	0,30	-0,60*	-0,12
DMG	0,82	0,09	0,95*
DMP	0,72	0,15	0,90*
IEA	0,71	-0,04	0,91*
RSP	0,47	0,79*	0,11
Areia	0,73	0,83*	0,01
Silte	0,74	-0,86*	-0,04
Autovalor		3,05	2,59
Variância explicada (%)		40,68	29,79
Profundidade 0,05-0,10 m			
Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
Ds	0,65	-0,71*	-0,21
MiP	0,80	0,84*	-0,11
Pt	0,75	0,92*	-0,06
DMG	0,79	0,02	0,95*
DMP	0,72	-0,02	0,91*
IEA	0,69	0,03	0,92*
Ug	0,91	0,98*	-0,003
Autovalor		3,01	2,64
Variância explicada (%)		42,98	37,66
Profundidade 0,10-0,20 m			
Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
MaP	0,42	-0,06	0,80*
Pt	0,34	-0,11	0,67*
DMG	0,90	0,96*	-0,15
DMP	0,87	0,93*	-0,13
IEA	0,67	0,89*	0,10
Areia	0,45	0,04	-0,75*
Silte	0,27	0,02	0,67*
Autovalor		2,59	2,16
Variância explicada (%)		59,17	20,65

Ds: densidade; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; Ug: unidade gravimétrica; RPS: resistência do solo à penetração;

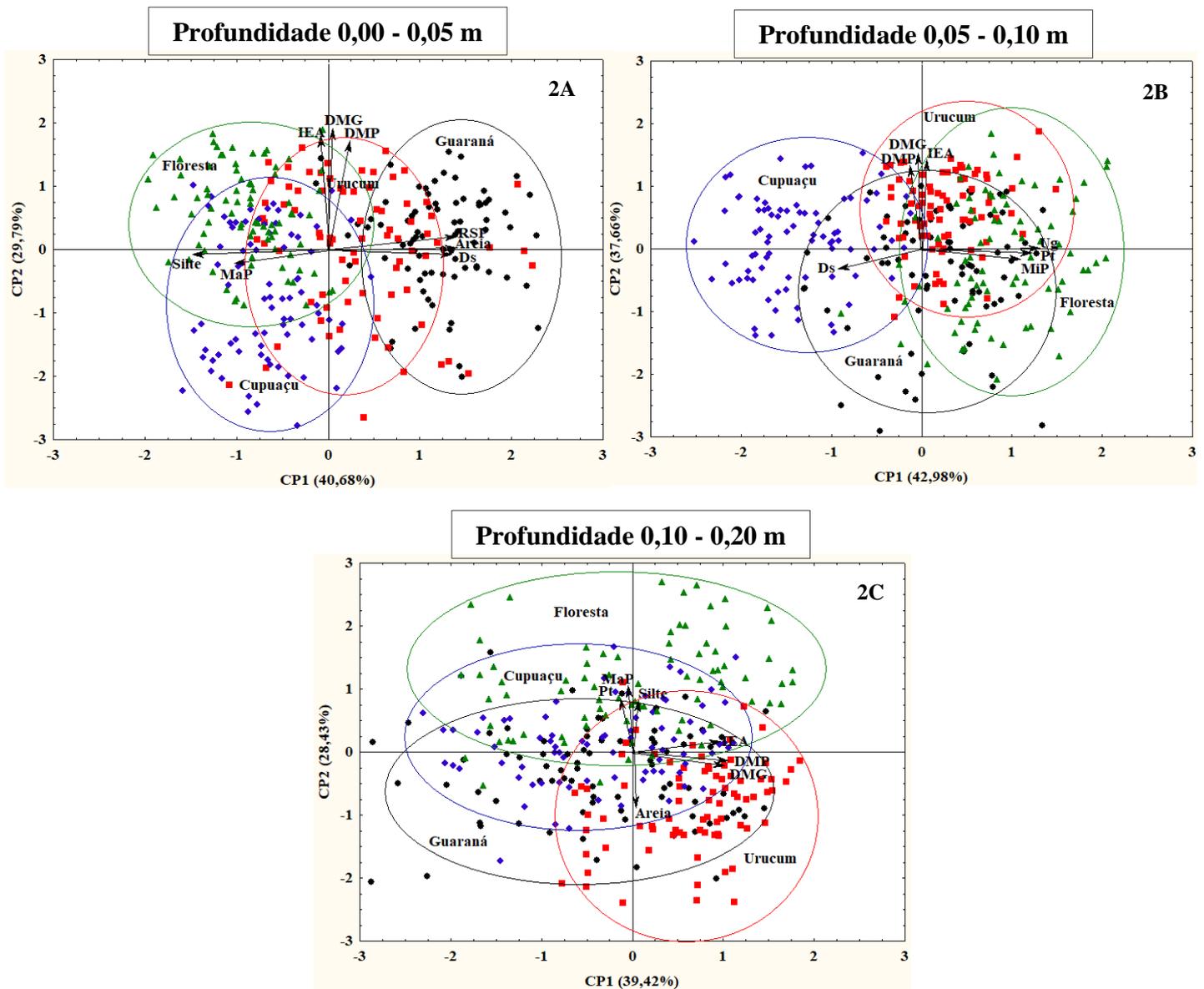


Figura 2. Análise de componentes principais dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes às áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas.

De forma detalhada o primeiro componente referente a profundidade 0,00-0,05 m explicou 40,68 % da variabilidade total dos dados, tal componente apresentou percentual de explicação para atributos mais voltados às características estruturais, mecânica e granulométrica do solo como: Ds, MaP, RSP, Areia e Silte, onde apenas a Ds, RSP e Areia se correlacionaram de maneira positiva (Tabela 5). A correlação inversa do atributo MaP com RP e Ds indica, que quanto maior for o volume de macroporos no solo, menores serão os valores

de RP e Ds. De acordo com Melo (2018), essas alterações estão relacionadas as modificações sobre a relação massa volume do solo. Trabalhos também destacam que isso pode ocorrer em razão do processo de aproximação das partículas do solo provocada por causas naturais, como o fenômeno da reconsolidação (OLIVEIRA et al., 2013; VISCHI FILHO et al., 2017). O segundo componente principal teve percentual de explicação de 29,79 % da variabilidade dos dados, com características mais relacionada a condição de estabilidade dos agregados do solo como: DMG, DMP e IEA, sendo que ambos os atributos apresentaram correlação positiva (Tabela 5), resultados similares foram observados por Arcoverde et al. (2015). No geral os dois componentes principais na profundidade 0,00-0,05 m reteram um percentual da variância explicada de 70,47% (Tabela 5 e Figura 2).

Ao detalhar os componentes referente a profundidade 0,05-0,10 m, observou-se que os mesmos se comportara de maneira similar a profundidade anterior, de modo que o primeiro componente apresentou percentual de explicação para atributos mais voltados as características estruturais e granulométrica do solo, explicando 42,98 % da variabilidade total dos dados, entre eles a Ds, MiP, Pt e Ug, dentre estes apenas a Ds correlacionou-se de maneira negativa, já os demais atributos tiveram correlação positiva. O presente resultado indica que possivelmente o manejo inadequado está proporcionando consequência negativa sobre o solo. Estudos atuais afirmam que tais consequências levam ao declínio de sua estrutura, com alterações dos atributos físicos do solo, como porosidade total e macroporosidade (LANA et., 2017), microporosidade e densidade do solo (VISCHI FILHO et al., 2017), e resistência do solo à penetração das raízes (LIMA et al., 2017). O segundo componente teve percentual de explicação de 37,66 % da variabilidade dos dados, assim como a profundidade anterior apresentou tendência igualitária com características mais relacionada a condição de estabilidade dos agregados do solo como os atributos DMG, DMP e IEA, ambos apresentando correlação

positiva. Os dois componentes principais nesta profundidade tiveram um percentual de variância explicada em torno de 80,64% (Tabela 5 e Figura 2).

Ao realizar análise dos componentes na profundidade 0,10-0,20 m, foi possível observar que diferente das profundidades anteriores o comportamento nas componentes CP1 e CP2 foi inverso, de modo que o primeiro componente explicou os atributos voltados a condição de estabilidade dos agregados do solo com percentual de 39,42 % da variabilidade dos dados. Já o segundo componente teve percentual de explicação de 28,66 %, porém com características mais direcionadas estruturais e granulométricas, onde nessa profundidade os atributos MaP, Pt e Silte se correlacionaram positivamente e o atributo Areia de forma negativa. No geral, ambos componentes principais nesta profundidade apresentaram percentual de variância explicada de 67,85% (Tabela 5 e Figura 2).

Na Figura 2, estão representados a análise de componentes principais, através da distribuição dos escores das diferentes áreas estudadas e da disposição das cargas fatoriais dos atributos físicos do solo formado pelos CP1 e CP2. Com base nos resultados, ao se analisar a profundidade 0,00-0,05 m, foi possível observar maior adensamento dos escores das áreas de guaraná e urucum no primeiro e quarto quadrante, o que discrimina que ambas áreas obtiveram valores dos atributos RSP, Ds, areia, DMG, DMP e IEA, acima da média (Figura 2A). Por outro lado, as áreas cultivadas com cupuaçu e floresta ficaram mais distribuída no segundo e terceiro quadrante, com os atributos MaP e Silte valores abaixo da média (Figura 2A). Através dos resultados já é possível aferir uma intensa alteração nas propriedades físicas na profundidade superficial do solo para áreas guaraná e urucum, fato que não ocorre diretamente nas áreas de floresta e cupuaçu. Os resultados nas áreas de guaraná e urucum pode ser atribuído, principalmente, à predominância de áreas com solos de textura superficial arenosa, implicando, dessa forma, em baixa estabilidade de agregados e inicial indicativo de compactação do solo, que poderá comprometer a retenção e armazenamento de água no solo.

Ao analisar os resultados relacionados a profundidade 0,05-0,10 m, observou-se maior adensamento dos escores da área de urucum no primeiro e segundo quadrante, o que discrimina que a presente área obteve valores de DMG, DMP e IEA, acima da média (Figura 2B). Importante destacar que ao verificar o comportamento das áreas de floresta e guaraná, os resultados evidenciaram que as maiores concentrações dos escores ocorreram no primeiro e quarto quadrante, com discriminação acima da média dos atributos MiP, Pt e Ug. Quando analisada a área de cupuaçu identificou-se maior adensamento dos escores no segundo e terceiro quadrante, apresentando valor abaixo da média para o atributo Ds (Figura 2B).

Quando se analisou os componentes principais na profundidade 0,10-0,20 m, observou-se uma dispersão acentuada dos escores das áreas de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta entre o primeiro ao quarto quadrante, o que discrimina que ambas áreas obtiveram valores dos atributos MaP, Pt, DMG, DMP, IEA, areia e silte acima da média (Figura 2C).

5.4 CONCLUSÕES

O processo de conversão de florestas em áreas cultivadas sem manejo adequado causou mudanças negativas nos atributos físicos do solo.

Os atributos que mais sofreram alterações na conversão de floresta em ambientes cultivados foram: Ds, MaP, MiP, Pt, RSP e IEA.

A área sob floresta se confirmou como a condição ideal para a manutenção da qualidade física do solo nas condições estudadas, ao passo que, apresentou maior expressão dos atributos físicos que condizem com sustentabilidade do sistema.

Através da análise multivariada foi possível aferir que as maiores alterações dos atributos físicos para as áreas estudadas ocorreram nas profundidades 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m.

5.5 REFERÊNCIAS

- ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. M. P.; SOUZA, Z. M.; CUNHA, J. M.; SOARES, M. D. R. Physical and geospatial attributes of inceptisols and ultisols under native vegetation in Humaitá, AM, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 2, p. 422-430, 2016.
- ALVARENGA, R. C.; FERNANDES, B.; SILVA, T. C. A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palha do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 2, p.273-277, 1986.
- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; JUNIOR, J. M.; OLIVEIRA, I. A.; TEIXEIRA, D. B.; CUNHA, J. M. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 21-30, 2015.
- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JUNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, pp.397- 406, 2014.
- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; FRANCISCON, U.; SILVA, D. M. P.; CUNHA, J. M. Chemical soil attributes evaluated by multivariate techniques and geostatistics in the area with agroforestry and sugarcane in Humaitá, AM, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 61-72, 2016.
- BEVAN, K. The grandon underwood field drainage experiment. **Institute of Hidrology Report**, v. 65, n. 30, 1980.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil** - Folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561p.
- BRITO, W. B. M.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; CUNHA, J. M.; FRANCISCON, U.; MARCELO SOARES, D.R. Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon. **Soil & Tillage Research**. v.182, p. 103-111, 2018.
- CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A. dos; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M. de; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. de M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p.527-538, 1998.
- CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M. de; NORONHA, R. H. de F.; PARIZ, C. M.; LIMA, R. C. Spatial and linear correlations between soil and corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 765-774, 2012.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

CUNHA NETO, F. V.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em além Paraíba – MG. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 13-24, 2018.

CUNHA, J. M.; GAIO, D. C.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; LIMA, A. F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, p. 263-281, 2017.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, v. 11, n.3, p. 199-238, 1988.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, F. C.; Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016.

DREWRY J. J.; LOWE J. A.; PATON R. J.; Effect of sheep stocking intensity on soil physical properties and dry matter production on a Pallic Soil in southland. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 42, n. 4, p. 493-499, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Revisada. Embrapa Solos Rio de Janeiro, 353p. 2013.

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

FREITAS, L., CASAGRANDE, J. C., OLIVEIRA, I. A., CAMPOS, M. C. C., SILVA, L. S. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 1, p.17-26, 2015.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. (2005). **Análise multivariada de dados**. A. S. Sant'Anna & A. C. Neto (Trad.). Porto Alegre: Bookman.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; Atributos de solo e produtividade de culturas em sistemas de manejo conduzidos por dezesseis anos. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 54, p. 1-63, 2009.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G.; FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C. L. T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 128-36, 2012.

KAMIMURA, K. M.; SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, M. S.; DIAS JUNIOR, M. SOUZA.; GUIMARÃES, P. T. G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 877-88, 2013.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A., EVANS, D. D., WHITE, J. L., ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E., eds. **Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison, American Society of Agronomy, p. 499-510. (Agronomy Series, 9), 1965.

LANA, R.M.Q.; DOMINGUES, L.A.S.; TORRES, J.L.R.; MAGESTE, J.G.; DE MORAES, E.R. Soil physical attributes and productivity of sugarcane under different cropping systems in the savannah goiano. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, n. 2, p. 149–155, 2017.

LIMA, R.P.D.; SILVA, A.P.D.; GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.R.D.; ROLIM, M.M. Changes in soil compaction indicators in response to agricultural field traffic. **Biosystems Engineering**. v.162, p. 1–10, 2017.

LORENZO-SEVA, U.; TIMMERMAN, M. E.; KIERS, H. A. The hull method for selecting the number of common factors. **Multivariate Behavioral Research**, v.46, n. 2, p. 340-364, 2011.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 1, p. 09-19, 2010.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman; 2008.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F.; Qualidade Física do Solo Sob Manejo Silvopastoril e Floresta Secundária Floresta e Ambiente. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017.

MELO, N. C. **Atributos físicos do solo, crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em solos submetidos à escarificação**. 2018. 70p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2018.

NAGAHAMA, H. J.; GRANJA, G. P.; CORTEZ, J. W.; RAMOS, R. L.; ARCOVERDE, S. N. S. Efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo e agronômicos do capim elefante. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p. 741–746, 2016.

OLIVEIRA, I.A; CAMPOS, M.C.C; FREITAS, L.; SOARES, M.D.R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015.

- OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; ROSSETTI, K. V.; FERRAUDO, A. S.; FRANCO, H. B. J, PEREIRA, F. S. BÁRBARO JÚNIOR, L. S. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 604–612, 2013.
- REDIN, M; SANTOS, G. F; MIGUEL, P.; DENEGA, G, L; LUPATINI, M; DONEDA, A; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.
- REIS, M. S., FERNANDES, A. R., GRIMALDI, C., DESJARDINS, T., GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Revista de Ciência Agrária**. v.52, n.3. p.37-47, 2009.
- RIBAS, J. R.; VIEIRA, P. R. da C. **Análise Multivariada com o uso do SPSS**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna. p. 272, 2011.
- SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 4, p. 543–548, 2007.
- SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; CAMPOS, M. C. C.; AMORIM, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró, RN, com o uso de análise multivariada. **Ambiência**, v. 6, n. 2, p. 261-270, 2010.
- SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA R.B.; BARBOSA, R.S.; ARAÚJO, F. S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p.135-146, 2014.
- SPSS Inc. **Statistical Analysis Using SPSS**. Chicago. 2001.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. P.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p.428-437, 2015.
- VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n.6, p. 2105-2114, 2011.
- VISCHI FILHO, O. J.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; SILVA, R. B.; TORRES, J. L. R.; LIMA, M. E.; TAVARES, R. L. M. Physical attributes and limiting water range as soil quality indicators after mechanical harvesting of sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 2, p. 169–176, 2017.
- VOGEL, G. F.; FEY, R. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, p. 21-26, 2016.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: Hillel, D., ed. Application of soil physics. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.

6. CAPÍTULO II: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA AMAZÔNICA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL.

RESUMO

Na Amazônia, a mudança de uso do solo, com retirada da vegetação nativa e implantação de cultivos agrícolas tem provocado inúmeras alterações nas propriedades químicas do solo, além de alterar os processos que controlam a sustentabilidade de seus ecossistemas. No presente trabalho teve-se como objetivo verificar os impactos causados aos atributos químicos do solo em função da conversão de florestas em áreas cultivadas com espécies amazônicas na região sul do Amazonas. Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo, nas áreas de floresta e guaraná estabeleceu-se malhas de 90 x 70 m e espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 x 10 m, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m e espaçamento de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. Após delimitadas as malhas foram coletadas amostras nos pontos de cruzamento das malhas, nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área, totalizando 240 amostras por área. Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada em forma de torrão nas três profundidades avaliadas para determinação dos atributos químicos e carbono orgânico, perfazendo um total de 960 amostras nas quatro áreas avaliadas. A análise multivariada dos atributos químicos do solo é adequada para identificar os nutrientes que apresentam maior alteração após o processo de conversão floresta / agricultura. As alterações nos atributos químicos foram mais pronunciadas nas camadas superficiais (0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m), o que demonstra a importância da biomassa acima do solo na ciclagem de nutrientes;

Palavras-chave: atributos do solo; degradação do solo; análise multivariada;

6. CHAPTER II: SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES UNDER CONVERSION OF AMAZON FOREST TO DIFFERENT CROPPING SYSTEMS IN SOUTHERN AMAZONAS, BRAZIL.

ABSTRACT

In the Amazon, the change in soil use, with the removal of native vegetation and the implantation of agricultural crops has caused numerous changes in the chemical properties of the soil, besides altering the processes that control the sustainability of its ecosystems. In the present work the objective was to verify the impacts caused to the soil chemical attributes as a function of the conversion of forests in areas cultivated with Amazonian species in the southern region of Amazonas. Were established meshes according to the dimensions of cultivation, in the areas of forest and guaraná were established meshes of 90 x 70 m and regular spacing between the sample points of 10 x 10 m, in the area of annatto the established mesh was of 90 x 56 m and spacing of 10 x 8 m, already for area of cupuaçu the mesh had dimensions of 54 x 42 m, with spacing between the sample points of 6 x 6 m. After delimiting the meshes samples were collected at the crossing points of the meshes, at depths of 0,00-0,05; 0,05-0,10; and 0,10-0,20 m, with 80 sampling points in each area, totaling 240 samples per area. At each sampling point, were collected samples with a structure preserved clod-shaped were collected in the depths evaluated, to determine the chemical attributes and organic carbon, making a total of 960 samples in the four evaluated areas. The multivariate analysis of soil chemical attributes is adequate to identify the nutrients that present the greatest alteration after the process of forest/agricultural conversion. The changes in chemical attributes were more pronounced in the superficial layers (0.00-0.05 m and 0.05-0.10 m), this result demonstrates the importance of above-ground biomass in nutrient cycling.

Key words: soil attributes; soil degradation; multivariate analysis;

6.1 INTRODUÇÃO

A amazônia para os pesquisadores é destaque na questão da biodiversidade (MELO et al. 2017), solos da Amazônia brasileira geralmente apresentam baixa fertilidade, baixos teores de P, Ca^{2+} e Mg^{2+} , e alta acidez e saturação de Al^{3+} (BRAZ et al., 2013), porém outro destaque que vem a tona é no que diz respeito ao desmatamento, onde esta tem ultrapassado fronteiras devido à sua significância global. O processo de derruba e queima da vegetação tem sido amplamente utilizada como uma prática nos sistemas de produção agrícolas e pecuárias, com impactos significativos nas propriedades químicas de diferentes classes de solos (MOREIRA et al., 2009; LINDELL et al., 2010).

A substituição de áreas de floresta nativa em pastagens e plantios agrícolas, quando feitos de forma inadequada acarreta mudanças drásticas no sistema funcional do ecossistema original e conseqüentemente alterações no conjunto de atributos do solo, promovendo o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas propriedades químicas, físicas e biológicas (CENTURION et al., 2001).

Os métodos de cultivo na Amazônia são baseados principalmente em pecuária extensiva (pastagem), plantações de café e floresta secundária. Para determinadas áreas, os agricultores consorciavam espécies e floresta secundária após o corte e queima de áreas florestais. Esta prática é baseada no sistema agrícola indígena, que caracteriza-se por longos períodos de pousio após um curto período de cultivo (DAVIDSON et al., 2008; COMTE et al., 2012; REICHERT et al., 2016).

Assim nota-se que o solo é um dos recursos naturais mais utilizados e o estudo do mesmo torna-se de suma importância, tanto na parte informativo para aos que dependem desse recurso, como também para avaliar e entender o impacto causado nos atributos do solo em função da conversão de áreas de floresta nativa em área de cultivos (OWUOR et al., 2018).

Uma outra ferramenta proposta para estudo do comportamento dos atributos dos solos em locais sob manejo é a utilização da estatística multivariada, sendo por ela possível descrever as relações de intra e interdependência nos sistemas agrícolas (MARQUES JÚNIOR, 2009). Com o uso da estatística multivariada é possível observar a diferença de comportamento dos atributos do solo em relação a sua área, além de proporcionar uma visão e diagnóstico do reflexo dos manejos no solo, com o uso da análise fatorial em conjunto com a análise de agrupamento (SOUSA NETO, 2013).

Além disto, a análise simultânea para muitas informações a análise multivariada acaba se tornando a melhor ferramenta, tendo em vista que a mesma possibilita a obtenção e interpretações de dados com maior eficácia, se comparada a estatística univariada, apresentando resultados satisfatório em estudos aplicando esta técnica para avaliação de variáveis do solo (CAMPOS et al., 2012; PRAGRANA et al., 2012).

Apesar da grande importância dos métodos estatísticos multivariados para interpretações das variações dos atributos do solo, poucos são os trabalhos que fazem uso desta ferramenta, pois a maioria dos pesquisadores ainda adotam métodos estatísticos univariados (SILVA et al., 2010). Assim, no presente trabalho teve como objetivo verificar os impactos causados aos atributos químicos do solo em função da conversão de florestas em áreas cultivadas com espécies amazônicas na região sul do Amazonas.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em duas propriedades rurais que fazem parte do Assentamento São Francisco localizado no município de Canutama, Amazonas, Brasil sob as coordenadas geográficas de referência (8° 13' 23'' S; 64° 00' 50'' W) e (8° 13' 25'' S; 64° 00' 23'' W), para ambas propriedades. Foram selecionadas quatro áreas, sendo três áreas sob diferentes cultivos: Urucum (*Bixa orellana* L.), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng) Schum), Guaraná (*Paullinia cupana* (Mart.) Ducke) e mais área de floresta (Figura 1).

O solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo localizados na Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos aluviais recentes e antigos, do período Quaternário, caracterizadas pela presença de relevos tabulares de grandes dimensões, definidos por talwegues de aprofundamento muito fraco, isto é, o relevo apresenta declives muito suaves, e a drenagem natural é deficiente (EMBRAPA, 2013). No que se refere à caracterização climática, o clima da região é Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média parcial varia entre 2250 e 2750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro e junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25 e 27° C e a umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

Quanto ao histórico das áreas sob diferentes sistemas de usos tradicionais na região da Amazônia selecionadas para o estudo (Figura 1), foi possível levantar algumas informações importantes e relevantes, a saber:

Áreas cultivadas com guaraná, urucum e cupuaçu: As áreas cultivadas com guaraná e cupuaçu possuem 7 anos de efetivo cultivo, já a área de urucum apresenta apenas 3 anos. Importante destacar que as respectivas áreas são oriundas de derrubada e queima da floresta, com consequente realização de destoca manual para limpeza da área no primeiro ano de cultivo, sem adoção de máquinas agrícolas para o preparo do solo.

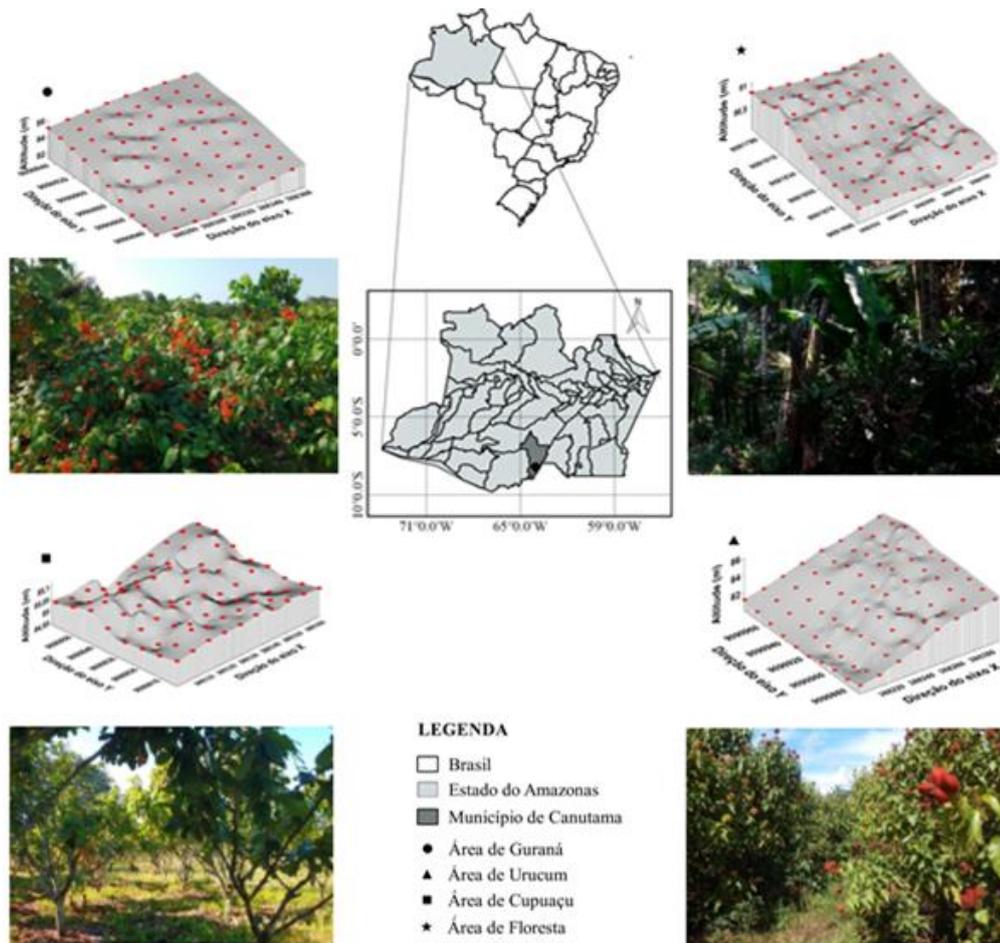


Figura 1. Localização e modelo de elevação digital das áreas com guaraná, cupuaçu, urucum e floresta, no município de Canutama, região sul do Amazonas - AM.

As respectivas áreas cultivadas com espécies amazônicas nunca receberam nenhum tipo de adubação e/ou calagem nas áreas cultivadas, em ambas apenas é realizado controle das plantas daninhas com utilização de roçadeira motorizada, além de pulverização com herbicidas glifosato para controle do sapé (*Imperata brasiliensis*). As áreas de guaraná e urucum apresentam declividade média em torno de 3%. Já a área de cupuaçu está localizada em área mais plana, sendo possível observar apenas efetiva acumulação de biomassa da própria cultura em grande quantidade.

Área de floresta nativa: É caracterizada como floresta tropical Ombrófila densa, cujo a vegetação é perenifólia caracterizada pela presença de fanerófitos (plantas cujas gemas de renovação se encontram a mais de 25 cm do solo), além de ser constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 a 50 metros de altura.

6.2.2 Metodologia de Campo

Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo. Nas áreas de guaraná e floresta foram estabelecidas malhas 90 x 70 m com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 x 10 m, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m com espaçamento entre os pontos amostrais de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. As amostras foram coletadas nos pontos de cruzamento das malhas, nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área, e totalizando 240 amostras por área. Os pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin modelo Etrex (*Datum South American'69*).

Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras nas três camadas avaliadas para determinação dos atributos químicos e carbono orgânico, perfazendo um total de 960 amostras nas quatro áreas avaliadas. As amostras foram secas à sombra e levemente destorroadas, de forma manual, passado as mesmas em peneira de 4,76 mm de diâmetro de malha, separando-se o material retido na peneira de 2,00 mm, a qual utilizou-se para determinação das propriedades químicas do solo.

6.2.3 Determinações e análises em Laboratório

Após o solo ter passado por processo de secagem a sombra e ser peneirado numa malha de 2 mm caracterizando uma Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), foram realizadas as análises química segundo a metodologia proposta pela EMBRAPA (2017), onde analisou-se o pH em água, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P), potássio (K) e carbono orgânico (CO). O pH em água foi determinado potenciométricamente utilizando pHmetro na relação solo:água de 1:2,5.

O alumínio trocável (Al^{3+}), foi extraído por solução de KCl 1 mol L⁻¹, com teores determinados por titulometria, utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e azul de bromotimol como

indicador colorimétrico.

A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio a pH 7,00 e determinada por titulometria utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e fenolftaleína como indicador.

O fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) foram extraídos pelo método resina trocadora de íons. Com base nas determinações dos cátions trocáveis e acidez potencial foram calculados: capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva e potencial; soma de bases (SB), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por YEOMANS & BREMNER (1988), utilizando fórmula (1) proposta pela EMBRAPA (2017).

$$Corg = \frac{0,003 \times Vd \times (40 - Va) \times \frac{40}{Vb} \times 10}{m} \quad (1)$$

Em que:

Corg - concentração de carbono orgânico no solo, em g kg⁻¹.

Vd - volume total da solução de dicromato de potássio adicionado na digestão da amostra, em mL.

Va - volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL.

Vb - volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido, em mL.

Valor 0,003 - miliequivalente da massa de carbono (peso atômico/valência – 12/4, dividido por 1.000).

Valor 10 - transformação de % para g kg⁻¹.

m - massa da amostra de solo, em g.

6.2.4 Análises Estatísticas

Após a obtenção dos dados dos atributos químicos, foram realizadas as análises de

estatística descritiva onde foram calculados a média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. O coeficiente de variação (CV%) foi avaliado conforme classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), que classifica variáveis do solo como: $CV < 12\%$, $12 < CV < 60\%$, e $CV > 60\%$ para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

Posteriormente foram feitas análise estatística univariada e multivariada. A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para verificar se existe diferença entre as áreas estudadas, para saber qual área é diferente da outra e comparar as médias dos atributos, utilizando o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, por meio do software SPSS 21 (SPSS Inc., 2001). Em seguida foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA), através da análise fatorial, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, com referência ao ambiente sob floresta, obtendo como resposta atributos que sofrem maior influência sobre o uso do solo.

A adequação da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Barlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi feita pelas componentes principais, incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco. A escolha do número de fatores a ser utilizados foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superior a 1). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (*Varimax*) dos fatores e representada em um plano fatorial das duas componentes. A correlação de Pearson foi utilizada para avaliar a força e direção da correlação dos mapas do padrão de distribuição dessas variáveis.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva, assim como análise de variância dos atributos químicos avaliados em áreas cultivadas com guaraná, urucum e cupuaçu em comparação com a área de floresta estão apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3, para as respectivas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. De acordo com os resultados expostos nas tabelas, observou-se que os coeficientes de assimetria e curtose expressaram a normalidade de distribuição dos dados, pois apresentaram valores próximos à zero, em todas as profundidades, para as todas as áreas estudadas. Estudos destacam que a assimetria e a curtose servem como indicadores de distribuição dos valores analisados, se eles apresentam valores simétricos ou não, onde o ideal é que estes valores estejam próximos do valor central zero (CORTEZ et al., 2011).

As medidas de tendência central média e mediana dos atributos químicos apresentaram distribuição simétrica, ambos mostraram valores muito próximo para todos os atributos e em suas respectivas profundidades, o que justifica distribuições normais ou aproximadamente normais dos dados. Os resultados referentes ao teste de Kolmogorov-Smirnov indicaram condição de normalidade dos dados para todos os atributos químicos nas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m (tabelas 1, 2 e 3), fato que se verifica com a observação da proximidade da média em relação à mediana. Resultados semelhantes foram encontrados por Soares et al. (2018). Em relação aos valores de desvio padrão e variância foi possível aferir que alguns atributos apresentaram valores elevados para ambas profundidades e áreas estudadas, destaque para os atributos V%, m% e CO.

Quanto aos limites de coeficiente de variação (CV%), é possível antes destacar que o coeficiente são adimensionais e permitem a comparação de valores entre os diferentes atributos do solo, os valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (FROGBROOK et al., 2002).

Tabela 1. Estatística descritiva e teste de média da camada 0,00 – 0,05 m do pH em água, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), fósforo (P), carbono orgânico (CO), em áreas de Cupuaçu, Guaraná, Urucum e Floresta no município de Canutama-AM.

Estatística descritiva	pH	$H^+ + Al^{3+}$	Al^{3+}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SB	t	T	V%	m%	P	CO
	(H_2O)	cmol $_c$ dm $^{-3}$										mg dm $^{-3}$	g kg $^{-1}$
Área Cupuaçu													
Máximo	4,39	19,14	8,60	0,11	2,10	0,40	2,76	10,29	21,50	18,15	94,73	5,84	36,65
Mínimo	3,22	7,10	2,00	0,02	0,21	0,05	0,31	3,83	8,71	2,80	52,23	0,84	10,68
Média	3,84ab	12,44b	5,54a	0,06c	1,09b	0,24c	1,41b	6,98a	14,30a	10,06c	79,21b	3,33d	23,42a
Mediana	3,83	12,05	5,35	0,06	1,16	0,25	1,43	6,98	13,82	10,06	79,37	3,33	23,42
¹ DP	0,26	2,86	1,27	0,02	0,54	0,09	0,60	1,42	3,19	3,95	9,36	1,15	6,25
Variância	0,07	8,19	1,61	0,00	0,29	0,01	0,36	2,02	10,18	15,59	87,68	1,31	39,12
² CV%	6,77	23,00	22,95	30,17	49,43	35,78	42,79	20,37	22,32	39,26	11,82	34,42	26,70
Assimetria	0,34	0,59	0,35	0,31	-0,01	-0,40	0,02	0,23	0,51	-0,08	-0,66	0,09	0,12
Curtose	-0,33	0,00	0,28	-0,15	-0,80	-0,30	-0,71	0,12	-0,47	-0,71	0,47	-0,53	-0,29
³ K-S	0,09*	0,13*	0,10*	0,13*	0,09*	0,10*	0,08*	0,10*	0,11*	0,06*	0,07*	0,06*	0,10*
Área Guaraná													
Máximo	4,85	18,15	7,40	0,25	2,09	1,05	3,15	9,33	19,88	31,15	92,64	10,23	19,64
Mínimo	3,31	4,95	3,10	0,06	0,19	0,10	0,39	4,56	5,51	3,56	54,72	4,17	7,37
Média	3,78b	8,95c	4,98b	0,11b	1,02b	0,39b	1,54b	6,51ab	10,49c	14,75b	76,57b	6,64c	14,04d
Mediana	3,74	8,25	4,80	0,11	0,95	0,36	1,55	6,38	10,09	13,58	76,32	6,56	14,04
¹ DP	0,27	2,73	0,89	0,04	0,46	0,19	0,60	1,00	2,83	6,27	8,33	1,44	2,94
Variância	0,07	7,42	0,80	0,00	0,21	0,03	0,36	1,00	8,00	39,30	69,46	2,08	8,64
² CV%	7,05	30,45	17,93	34,49	44,69	47,70	39,19	15,36	26,96	42,50	10,88	21,73	20,93
Assimetria	0,94	0,99	0,48	0,94	0,28	0,88	0,28	0,31	0,93	0,55	-0,35	0,70	-0,03
Curtose	2,09	1,12	-0,03	0,92	-0,48	1,47	-0,37	-0,35	1,10	-0,15	-0,12	-0,02	-0,60
³ K-S	0,11*	0,14*	0,10*	0,14*	0,09*	0,09*	0,07*	0,07*	0,11*	0,09*	0,08*	0,09*	0,09*
Área Urucum													
Máximo	4,25	13,86	7,50	0,30	2,75	1,45	4,26	10,65	17,95	36,13	86,51	11,06	24,83
Mínimo	3,50	6,43	2,40	0,07	0,57	0,24	0,82	4,22	9,07	8,91	39,73	4,67	10,05
Média	3,88a	9,65c	4,18c	0,15a	1,63a	0,75a	2,56a	6,93a	12,425b	20,93a	62,76c	7,43b	16,52c
Mediana	3,91	9,73	4,30	0,14	1,65	0,74	2,59	6,85	12,50	21,00	62,50	7,50	16,36
¹ DP	0,17	1,77	0,91	0,05	0,53	0,32	0,80	1,11	1,95	6,23	10,76	1,47	3,28
Variância	0,03	3,15	0,84	0,00	0,28	0,10	0,65	1,25	3,81	38,84	115,86	2,18	10,76
² CV%	4,59	18,39	21,29	32,93	32,47	42,61	31,53	16,12	15,72	29,77	17,15	19,87	19,86
Assimetria	-0,12	0,37	0,35	1,06	0,07	0,54	0,54	1,12	0,53	0,11	-0,08	-0,01	0,44
Curtose	-0,33	-0,33	1,04	1,05	-0,82	-0,69	-0,69	2,78	0,13	-0,56	-0,32	-0,19	0,05
³ K-S	0,08*	0,09*	0,09*	0,17*	0,09*	0,10*	0,10*	0,10*	0,10*	0,07*	0,15*	0,08*	0,12*
Área Floresta													
Máximo	3,88	15,84	6,90	0,21	1,42	0,49	1,98	7,63	17,49	13,98	93,87	14,57	30,22
Mínimo	3,24	9,57	4,20	0,06	0,19	0,05	0,33	4,53	6,26	2,49	71,41	7,43	13,37
Média	3,63c	12,61a	5,22ab	0,11b	0,59c	0,21c	0,92c	6,14b	13,44b	6,70d	85,57a	10,85a	20,22b
Mediana	3,64	12,65	5,24	0,11	0,28	0,15	0,55	6,22	13,56	4,66	89,32	10,93	20,34
¹ DP	0,13	1,47	0,56	0,03	0,46	0,12	0,59	0,77	1,80	3,67	7,64	1,61	3,59
Variância	0,01	2,16	0,32	0,00	0,21	0,01	0,35	0,59	3,24	13,51	58,41	2,59	12,90
² CV%	3,62	11,65	10,90	27,24	78,04	59,06	64,31	12,56	13,40	54,82	8,93	14,83	17,76
Assimetria	-0,55	0,07	0,73	0,89	0,69	0,61	0,70	0,02	-0,65	0,65	-0,69	0,21	0,43
Curtose	0,92	-0,62	0,75	1,00	-1,29	-1,09	-1,28	-0,65	2,08	-1,19	-1,14	-0,48	0,46
³ K-S	0,09*	0,08*	0,11*	0,13*	0,29*	0,22*	0,24*	0,06*	0,06*	0,22*	0,22*	0,08*	0,09*

¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³K-S: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, *significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey $p < 0,05$).

Tabela 2. Estatística descritiva e teste de média da camada 0,05 – 0,10 m do pH em água, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), fósforo (P), carbono orgânico (CO), em áreas de Cupuaçu, Guaraná, Urucum e Floresta no município de Canutama-AM.

Estatística descritiva	pH	$H^+ + Al^{3+}$	Al^{3+}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SB	t	T	V%	m%	P	CO
	(H_2O)	cmol $_c$ dm $^{-3}$										mg dm $^{-3}$	g kg $^{-1}$
Área Cupuaçu													
Máximo	4,34	11,80	7,50	0,11	2,48	0,45	2,84	9,38	15,14	30,80	94,58	6,01	29,44
Mínimo	3,23	3,55	2,50	0,03	0,20	0,05	0,31	3,18	4,46	2,89	49,30	0,38	14,45
Média	3,82a	8,73c	5,07b	0,06c	0,81b	0,17c	1,06b	6,26b	10,04b	12,11b	80,94b	3,24d	23,30a
Mediana	3,82	8,73	5,10	0,05	0,79	0,15	1,05	6,19	10,04	10,93	83,32	3,36	23,30
¹ DP	0,23	1,57	0,83	0,02	0,43	0,09	0,52	1,08	1,87	6,89	10,39	1,40	3,10
Variância	0,05	2,47	0,69	0,00	0,19	0,01	0,27	1,17	3,48	47,46	107,89	1,96	9,61
² CV%	6,04	17,99	16,34	27,65	53,18	52,33	49,22	17,28	18,58	56,90	12,83	43,21	13,30
Assimetria	-0,04	-0,37	0,06	0,78	1,09	1,00	1,20	0,31	0,37	0,91	-1,33	-0,36	-0,22
Curtose	-0,34	0,40	1,07	0,85	1,92	1,04	2,00	1,30	1,13	0,15	1,63	-0,57	0,07
³ K-S	0,09*	0,06*	0,09*	0,17*	0,12*	0,12*	0,11*	0,12*	0,07*	0,11*	0,12*	0,07*	0,11*
Área Guaraná													
Máximo	4,28	14,69	7,00	0,12	1,52	0,75	2,74	8,74	16,21	22,38	94,80	9,30	19,49
Mínimo	3,38	6,60	3,90	0,02	0,19	0,08	0,32	4,63	8,50	1,29	68,65	2,87	7,37
Média	3,82a	10,60a	5,53a	0,07b	0,80b	0,30b	1,22b	6,75a	11,82a	10,25b	82,34b	4,94c	12,11d
Mediana	3,83	10,56	5,50	0,07	0,86	0,30	1,21	6,86	11,78	9,95	82,06	4,82	11,82
¹ DP	0,19	1,60	0,72	0,02	0,38	0,13	0,51	0,93	1,64	4,34	6,28	1,26	2,55
Variância	0,04	2,56	0,51	0,00	0,15	0,02	0,26	0,87	2,68	18,86	39,49	1,58	6,48
² CV%	5,03	15,08	12,94	30,38	47,45	44,19	42,03	13,85	13,84	42,37	7,63	25,45	21,02
Assimetria	-0,20	0,25	-0,08	0,48	0,01	0,68	0,22	-0,11	0,17	0,30	0,09	0,82	0,45
Curtose	-0,24	-0,09	-0,37	0,22	-0,87	0,87	-0,14	-0,09	-0,37	-0,08	-0,55	1,38	-0,16
³ K-S	0,07*	0,06*	0,09*	0,12*	0,07*	0,09*	0,06*	0,07*	0,05*	0,05*	0,05*	0,08*	0,09*
Área Urucum													
Máximo	4,33	11,71	6,90	0,18	3,36	1,09	3,46	10,14	14,62	31,57	87,35	10,08	19,86
Mínimo	3,57	7,09	2,70	0,03	0,57	0,14	1,09	4,43	8,90	10,90	45,33	2,04	10,29
Média	3,90a	9,37b	4,56c	0,10a	1,73a	0,44a	2,31a	7,08a	11,65a	20,15a	66,77c	6,46b	16,16b
Mediana	3,90	9,28	4,60	0,10	1,81	0,46	2,40	7,06	11,68	20,46	67,06	6,50	16,66
¹ DP	0,17	1,07	0,75	0,03	0,52	0,16	0,58	1,16	1,30	4,77	8,53	1,63	2,24
Variância	0,02	1,16	0,57	0,00	0,27	0,02	0,33	1,36	1,70	22,80	72,91	2,68	5,02
² CV%	4,41	11,51	16,60	30,21	30,27	37,88	25,11	16,48	11,21	23,70	12,79	25,32	13,86
Assimetria	0,58	0,01	-0,07	0,46	-0,14	0,69	-0,35	0,29	0,15	0,14	-0,28	-0,08	-0,51
Curtose	0,11	-0,60	0,64	-0,23	0,25	1,63	-0,62	0,20	-0,12	-0,37	0,01	0,01	-0,15
³ K-S	0,12*	0,07*	0,09*	0,09*	0,09*	0,07*	0,13*	0,07*	0,08*	0,07*	0,09*	0,08*	0,12*
Área Floresta													
Máximo	3,99	10,80	6,90	0,19	0,35	0,17	0,64	8,17	12,93	7,62	95,86	9,71	19,32
Mínimo	3,07	7,00	3,50	0,02	0,19	0,05	0,26	3,51	6,55	2,73	87,92	3,80	6,39
Média	3,68b	9,21bc	5,21b	0,07b	0,25c	0,08d	0,42c	5,75c	9,84b	4,35c	92,54a	7,05a	13,66c
Mediana	3,74	9,30	5,20	0,07	0,23	0,08	0,40	5,76	9,81	4,24	92,57	7,10	13,66
¹ DP	0,19	0,77	0,68	0,04	0,06	0,03	0,10	0,93	1,11	1,08	1,69	1,19	2,65
Variância	0,04	0,60	0,46	0,00	0,00	0,00	0,01	0,86	1,23	1,17	2,85	1,40	7,04
² CV%	5,27	8,40	13,01	51,69	24,61	32,93	24,38	16,13	11,28	24,88	1,82	16,81	19,42
Assimetria	-1,25	-0,18	0,27	0,64	0,57	1,11	0,10	0,45	0,13	0,45	-0,32	-0,04	-0,20
Curtose	1,29	-0,10	-0,05	0,11	-1,28	1,79	-1,28	0,47	0,93	-0,33	-0,34	0,02	0,21
³ K-S	0,15*	0,07*	0,09*	0,14*	0,28*	0,18*	0,13*	0,07*	0,06*	0,10*	0,06*	0,05*	0,11*

¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³K-S: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, *significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey $p < 0,05$).

Tabela 3. Estatística descritiva e teste de média da camada 0,10 – 0,20 m do pH em água, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), fósforo (P), carbono orgânico (CO), em áreas de Cupuaçu, Guaraná, Urucum e Floresta no município de Canutama-AM.

Estatística descritiva	pH	$H^+ + Al^{3+}$	Al^{3+}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SB	t	T	V%	m%	P	CO
	(H_2O)	----- $cmol_c dm^{-3}$ -----										$mg dm^{-3}$	$g kg^{-1}$
Área	Cupuaçu												
Máximo	4,61	10,73	6,00	0,09	1,39	0,60	1,68	9,35	13,77	30,47	94,58	5,39	13,94
Mínimo	3,31	6,11	3,90	0,02	0,20	0,05	0,26	4,48	6,89	2,92	52,91	1,68	1,8
Média	4,00a	8,50b	4,75a	0,06b	0,61d	0,17b	0,78d	5,91b	9,84b	10,76bc	82,00a	2,97b	8,05c
Mediana	4,05	8,58	4,70	0,06	0,61	0,13	0,78	5,58	9,69	9,25	84,48	2,91	8,24
¹ DP	0,27	0,96	0,40	0,02	0,26	0,14	0,29	1,07	1,57	6,78	10,52	0,75	3,06
Variância	0,07	0,93	0,16	0,00	0,07	0,02	0,08	1,15	2,46	45,91	110,65	0,56	9,35
² CV%	6,81	11,35	8,42	29,59	42,91	81,65	36,85	18,17	15,94	63,00	12,83	25,27	37,99
Assimetria	-0,38	-0,44	0,46	-0,05	0,52	1,70	0,56	1,43	0,40	1,59	-1,39	0,43	-0,49
Curtose	-0,06	0,27	0,61	-0,15	0,04	1,99	0,27	1,45	-0,33	1,97	1,09	0,08	-0,52
³ K-S	0,10*	0,10*	0,11*	0,15*	0,13*	0,24*	0,11*	0,21*	0,09*	0,20*	0,21*	0,08*	0,13*
Área	Guaraná												
Máximo	4,33	15,02	5,70	0,15	1,81	0,38	2,30	7,25	16,18	22,82	93,86	8,83	15,92
Mínimo	3,03	5,45	3,10	0,02	0,19	0,05	0,28	3,61	6,62	2,52	63,81	2,19	6,42
Média	3,90b	10,10a	4,38b	0,06b	0,84c	0,20b	1,12c	5,50c	11,22a	10,16c	79,94a	4,29a	10,35b
Mediana	3,92	9,82	4,30	0,06	0,86	0,20	1,11	5,48	10,91	9,69	80,11	4,21	10,71
¹ DP	0,25	2,09	0,56	0,03	0,36	0,11	0,43	0,73	2,17	3,95	6,41	1,35	2,20
Variância	0,06	4,35	0,31	0,00	0,13	0,01	0,18	0,53	4,70	15,57	41,06	1,83	4,84
² CV%	6,34	20,66	12,73	44,75	43,08	54,92	37,92	13,21	19,33	38,83	8,02	31,49	21,26
Assimetria	-0,94	0,33	0,11	0,69	0,13	0,06	0,23	-0,01	0,35	0,58	-0,02	0,89	0,18
Curtose	1,37	-0,47	-0,07	0,25	-0,20	-1,33	0,11	0,22	-0,54	0,91	0,08	0,98	-0,28
³ K-S	0,08*	0,10*	0,08*	0,15*	0,09*	0,13*	0,05*	0,06*	0,10*	0,06*	0,06*	0,09*	0,08*
Área	Urucum												
Máximo	4,33	11,71	6,90	0,18	3,36	1,09	3,46	10,14	14,62	31,57	87,35	10,08	14,78
Mínimo	3,57	7,09	2,70	0,03	0,57	0,14	1,09	4,43	8,90	10,90	45,33	2,04	3,90
Média	3,90b	9,37b	4,56b	0,10a	1,73a	0,44a	2,31a	7,08a	11,65a	20,15a	66,77b	6,46a	7,87c
Mediana	3,90	9,28	4,60	0,10	1,81	0,46	2,40	7,06	11,68	20,46	67,06	6,50	7,90
¹ DP	0,17	1,07	0,75	0,03	0,52	0,16	0,58	1,16	1,30	4,77	8,53	1,63	2,09
Variância	0,02	1,16	0,57	0,00	0,27	0,02	0,33	1,36	1,70	22,80	72,91	2,68	4,36
² CV%	4,41	11,51	16,60	30,21	30,27	37,88	25,11	16,48	11,21	23,70	12,79	25,32	26,56
Assimetria	0,58	0,01	-0,07	0,46	-0,14	0,69	-0,35	0,29	0,15	0,14	-0,28	-0,08	0,59
Curtose	0,11	-0,60	0,64	-0,23	0,25	1,63	-0,62	0,20	-0,12	-0,37	0,01	0,01	1,13
³ K-S	0,12*	0,07*	0,09*	0,09*	0,09*	0,07*	0,13*	0,07*	0,08*	0,07*	0,09*	0,08*	0,13*
Área	Floresta												
Máximo	4,20	11,00	7,40	0,14	2,28	0,55	2,79	9,90	13,09	25,14	93,66	8,79	19,32
Mínimo	3,45	7,20	2,80	0,05	0,23	0,06	0,33	4,47	8,30	3,60	55,54	2,43	6,39
Média	3,84b	8,59b	4,95a	0,08a	1,43b	0,33b	1,84b	6,79b	10,44b	17,55b	72,99b	4,73a	13,66a
Mediana	3,86	8,50	4,90	0,08	1,48	0,35	1,93	6,84	10,32	18,21	71,65	4,58	13,66
¹ DP	0,17	0,81	0,82	0,02	0,46	0,10	0,55	0,97	0,90	5,08	7,94	1,41	2,65
Variância	0,03	0,66	0,67	0,00	0,22	0,01	0,31	0,94	0,82	25,78	62,97	1,99	7,04
² CV%	4,32	9,45	16,58	24,70	32,44	29,92	30,07	14,32	8,66	28,93	10,87	29,86	19,42
Assimetria	-0,26	0,69	0,12	0,70	-1,31	-1,23	-1,45	0,19	0,59	-1,48	1,08	0,97	-0,20
Curtose	-0,33	0,06	1,32	0,67	1,77	1,84	2,01	0,56	0,93	2,11	1,56	0,69	0,21
³ K-S	0,06*	0,15*	0,13*	0,11*	0,22*	0,22*	0,22*	0,09*	0,08*	0,21*	0,19*	0,13*	0,11

¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³K-S: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, *significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey $p < 0,05$).

Adotando-se a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), a qual consideram os valores do coeficiente abaixo 12% como baixa variabilidade, entre 12% e 60% como média variabilidade e valores acima 60% como alta variabilidade. Tomando como base os valores de (CV%) encontrados, foi possível afirmar que os atributos químicos apresentaram baixa a média variabilidade para a maioria dos atributos estudados, com exceção do atributo Ca^{2+} e SB na profundidade 0,00-0,05 m na área de floresta e os atributos Mg^{2+} e V% na profundidade 0,10-0,20 m na área com cultivo de cupuaçu, as quais apresentaram valores acima 60%, sendo classificados como alta variabilidade conforme os limites estabelecidos por Warrick e Nielsen (1980).

Quanto analisados os resultados da análise de variância dos atributos químicos (Tabelas 1, 2 e 3), por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), procurou-se primeiramente analisar o comportamento de cada atributo. Diante de tal fato, ao analisar o atributo pH em todas as profundidades estudadas, foi possível observar condição de extrema acidez em todas as áreas avaliadas, tais resultados já eram esperados uma vez que as respectivas áreas nunca tiveram adoção de calagem nos solos. O menor valor de pH foi observado na profundidade 0,00-0,05 m, com valor em torno de 3,63 para área de floresta e o maior valor ocorreu na profundidade 0,10-0,20 m, com pH em torno de 4,00 na área cultivada com cupuaçu. Nos tratamentos, foi observada pouca variação dos valores de pH em profundidade do solo, isso se deve à alta precipitação da região amazônica que causa lixiviação de nutrientes da camada superficial para o restante do perfil do solo (CRAVO et al., 2012).

Estudos recentes realizados demonstraram que valores baixos de pH são comuns em solos da região sul do Amazonas (CAMPOS et al., 2012; MANTOVANELLI et al., 2015 e AQUINO et al., 2016), os presentes autores encontraram valores de pH abaixo de 5,00 o que caracteriza alta acidez aos solos desta região. No trabalho de Reis et al. (2009), estudando as características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira

da Amazônia Oriental destacaram que a principal causa dos baixos valores de pH nos solos da região amazônica é devido a elevada perda de bases trocáveis e consequente, concentração de íons H^+ ao solo, provocada pelo processo de intemperismo influenciado pelas altas temperaturas e longos períodos de precipitação.

Com relação aos resultados da acidez potencial (H+Al), observou-se que na profundidade 0,00-0,05 m a área de floresta apresentou diferença significativa, quando comparada as áreas cultivadas com cupuaçu, guaraná e urucum, apresentando valor em torno de $12,61 \text{ cmol}_c/\text{dm}^{-3}$. Os valores de H+Al na área de floresta foi maior entre os ambientes estudados, provavelmente em consequência da maior lixiviação promovida pelo intenso regime hídrico associado às melhores condições de drenagem (CAMPOS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015). Ao analisar os valores de H+Al nas profundidades 0,05-0,10m, e 0,10-0,020 m, foi possível observar que a área cultivada com guaraná apresentou maiores teores de H+Al, diferindo significativamente das demais áreas estudadas, os valores variaram de $10,60 \text{ cmol}_c/\text{dm}^{-3}$ na profundidade 0,05-0,10 m a $10,10 \text{ cmol}_c/\text{dm}^{-3}$ na profundidade 0,05-0,10m, tal fato demonstra que o alumínio, juntamente como o hidrogênio presente no solo nas respectivas profundidades subsuperficiais são prejudiciais à produção e a própria cultura.

Quando analisados os resultados do Al^{3+} , observou-se que nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m, as áreas sob floresta e cultivo de cupuaçu não apresentaram entre si diferença significativa pelo teste Tukey a nível de 0,05% de probabilidade, quando comparada as áreas de guaraná e urucum. Na profundidade 0,05-0,10 m observou-se maiores valores de Al^{3+} na área sob cultivo de guaraná, no entanto também ficou evidente na respectiva profundidade elevados teores de Al^{3+} nas áreas de floresta e cupuaçu. Para melhor compreensão dos resultados é relevante destacar que os solos da área foram caracterizados como Argissolo Vermelho-Amarelo, o mesmo apresenta classes muito evoluídas e intemperizadas, desta forma como consequência da intensa ação dos processos de formação, há remoção dos cátions

trocáveis de caráter básico (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e concentração residual de cátions trocáveis de caráter ácido, principalmente o Al^{3+} (EMBRAPA, 2013). Neste sentido, esse solo apresenta-se ácido, com baixa disponibilidade de nutrientes e elevada saturação por Al^{3+} , podendo restringir o desenvolvimento das raízes, causar efeitos negativos na nutrição e, principalmente em períodos secos, a consistência extremamente dura desses solos, pode comprometer a sustentação das plantas (LIMA et al., 2018). A elevada acidificação observada nas áreas de floresta e cupuaçu pode ser atribuída também à entrada de ácidos orgânicos provenientes da lixiviação desse material, promovendo maior respiração no solo, nitrificação e perdas de nitrato (WIESMEIER et al., 2009).

Quando analisados os valores de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) foi possível observar que ambos foram relativamente baixos, em todas as profundidades estudadas. Araújo et al. (2011), analisando a conversão mata-pastagem, também encontraram baixos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nas primeiras camadas do solo em áreas com cultivo. Em relação aos teores de K^+ observou-se que a área cultivada com urucum apresentou diferença significativa, quando comparado as áreas de cupuaçu, guaraná e floresta, fato observado tanto nas profundidades 0,00-0,05 m, como 0,10-0,20 m. Na profundidade de 0,10-0,20 m os resultados seguiram a tendência das profundidades anteriores, com exceção apenas da área de floresta que juntamente com a cultura do urucum apresentou maiores valores em relação as áreas sob cultivo de cupuaçu e guaraná. Os baixos teores de K^+ encontrados nos solos estudados, podem estar associados à fácil lixiviação deste elemento pela água da chuva (SILVA et al., 2011), assim como pela característica inerente ao nutriente, uma vez que o mesmo é considerado o elemento com maior mobilidade no solo.

Em relação aos atributos Ca^{2+} , Mg^{2+} e SB, os mesmos mostraram-se que nas três profundidades avaliadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, a área cultivada com urucum apresentou diferença significativa pelo teste Tukey a nível de 0,05% de probabilidade, quando comparada as áreas de cupuaçu, guaraná e floresta. Importante destacar que os valores de Ca^{2+} ,

na área de urucum apresentaram uma leve tendência de aumento do respectivo elemento em profundidade. Provavelmente os altos valores de cálcio na respectiva área pode está relacionado ao pouco tempo de cultivo da cultura de urucum na presente área, uma vez que a mesma apresenta apenas três anos de cultivo, sendo oriunda do processo de queima da área de floresta.

Trabalho de Corrêa et al. (2009) observaram considerável aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} sob diferentes usos (culturas de ciclo curto, fruticultura e pastagem) em relação à área nativa. Importante dar uma atenção para tais resultados encontrados, tendo em vista que o Ca^{2+} e Mg^{2+} tem efeito antagônico, ou seja, o excesso de um prejudica a absorção do outro (MUNOZ HERNANDEZ e SILVEIRA, 1998). Os menores valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , foram observados na área sob floresta, tais resultados podem ser explicados em virtude da lixiviação proporcionada pela precipitação da região, tal fato também pode está relacionada a área de floresta apresentar vegetação de grande porte, tendo capacidade de extrair grandes quantidades de nutrientes, essa condição explica os baixos valores de Mg em relação às demais áreas estudadas com espécies amazônicas, bem como a maior concentração de H+Al, pois ao exportar cátions do solo, as plantas liberam H^+ , predominantemente (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Quanto aos resultados da CTC efetiva (t), foi possível observar que na profundidade 0,00-0,05 m os maiores valores ocorreram nas áreas cultivadas com cupuaçu com 6,98 $\text{cmol}/\text{dm}^{-3}$, guaraná 6,38 $\text{cmol}/\text{dm}^{-3}$ e urucum 6,93 $\text{cmol}/\text{dm}^{-3}$, ambos apresentaram diferença significativa quando comparada a área de floresta nativa com 6,14 $\text{cmol}/\text{dm}^{-3}$. Nas profundidades caracterizadas como subsuperficiais (0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m) os resultados foram mais restritivos, de modo que o maior valor foram observados na área de urucum com 7,08 $\text{cmol}/\text{dm}^{-3}$.

Em relação aos resultados referente a CTC potencial (T), observou que na profundidade mais superficial de 0,00-0,05 m, área cultivada com cupuaçu apresentou valor de 14,30 $\text{cmol}/\text{dm}^{-3}$, a mesma apresentando diferença significativa quando comparada as áreas de guaraná, urucum

e floresta. Nas profundidades 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m os resultados evidenciaram que as áreas de guaraná e urucum não apresentaram entre si diferença significativa. Importante salientar que a CTC é um indicativo de retenção de cargas positivas importantes para nutrição vegetal e, portanto, apresenta relação diretamente proporcional com a troca de cátions básicos, sendo assim considerada uma característica importante à tomada de decisão em relação ao manejo adotado (ALVES et al., 2014; MARTINS et al., 2015).

Ao analisar os resultados referente a saturação por base (V%), observou-se que a área cultivada com urucum apresentou maiores valores de (V%) para todas as profundidades avaliadas, com valores que variaram de 20,15% á 20,93%, resultados estes que indicaram evidente diferença significativa em relação as demais áreas estudadas. Provavelmente os baixos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} foram responsáveis pela baixa saturação por bases (V) do complexo de troca dos solos. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2012) em solos de uma topossequência no município de Humaitá-AM.

Quando buscou-se analisar os valores de saturação por alumínio (m%), foi observado que a área de floresta nativa apresentou maiores valores, tanto na profundidade 0,00-0,05 m, como 0,05-0,10 m. Para a profundidade de 0,10-0,20 m os maiores valores foram evidenciados na área cultivada com guaraná. Moreira & Fageria (2009) relataram que os solos do estado do Amazonas apresentam, em média, 76% de saturação por alumínio alta ou muito alta, sendo atribuído tal fato, ao avançado estágio de intemperismo dos solos desta região. No presente trabalho os valores encontrados variaram de 62,76% a 92,54%, isso só comprova os relatos dos autores mencionados acima.

Após análise dos teores P, observou-se que os maiores valores foram encontrados sob área de floresta nativa, fato diagnosticado em todas as profundidades estudadas, para as primeiras profundidades 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, a área de floresta apresentou diferente significativa em relação as áreas cultivadas com espécies amazônicas. Na profundidade de 0,10-

0,20 m a área de floresta também apresentou maiores valores de P, porém sem apresentar diferença significativa quando comparada as áreas de guaraná e urucum. Os maiores teores de P na área de floresta em relação as outras formações vegetais, pode ser explicado em função também de elevados teores de C orgânico na presente área, ou seja, esse maior conteúdo de MOS reduz a adsorção de P pela ação de ácidos orgânicos oriundos da decomposição dos resíduos orgânicos, da exsudação radicular e da síntese microbiana, os quais formam complexos com o Fe e Al e/ou são adsorvidos à superfície de óxidos, por troca de ligantes e, conseqüentemente, bloqueiam a adsorção de P, aumentando assim a sua disponibilidade (GUPPY et al., 2005; GIÁCOMO et al., 2015). Resultados semelhante foram encontrados por Oliveira et al. (2015), aos quais encontraram teores de P elevados para os padrões amazônicos, com valores em torno de $6,09 \text{ cmol dm}^{-3}$, respectivamente em áreas de floresta nativa.

Ao analisar os teores de CO foi possível observar que houve diferenças significativas entre todas as áreas analisadas, com maiores valores encontrados na área sob cultivo de cupuaçu nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, com exceção da profundidade de 0,10-0,20 m, a qual a área de floresta apresentou maior valor. Os altos valores de CO na área de cupuaçu, podem estar associados à elevada cobertura vegetal proporcionada pelo aporte de resíduos provenientes da própria cultura, fato que pode ser atribuído também ao tempo de 7 anos de cultivo com a cultura sem sofrer práticas intensivas no solo. Estudos atuais destacam que a abertura de novas áreas na Amazônia para a agricultura implica redução expressiva do teor de matéria orgânica depositada nas camadas superficiais (MOLINE & COUTINHO, 2015), o que resulta em alterações negativas na disponibilidade de nutrientes, o qual juntamente com o manejo inadequado do solo, diminui a produtividade das culturas em geral.

Na análise multivariada, observou-se os atributos químicos do solo que sofreram maior alteração após o processo de conversão floresta para áreas cultivadas com espécies amazônicas. Após análise ficou evidente que os atributos químicos apresentaram comportamento

diferenciado para cada profundidade analisada (Tabela 4 e figura 2A, 2B e 2C). A adequação da análise fatorial mostrou-se significativo na profundidade 0,00-0,05 m com (KMO igual a 0,81), 0,05-0,10 m (KMO igual a 0,78) e na profundidade 0,10-0,20 m o (KMO foi igual a 0,65), ambos com $p < 0,05$ para o teste de esfericidade de Barlett, o presente teste sugere que os dados dos atributos avaliados são adequados à análise fatorial (Tabela 4). A medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), avalia a adequacidade da análise fatorial. Os valores do índice KMO que indicam que a análise fatorial é apropriada, varia de autor para autor. Segundo Hair et al. (2005), são aceitáveis valores entre 0,5 a 1,0, os mesmos autores destacam que valores abaixo de 0,5 indicam que a análise fatorial é inaceitável.

Na análise de componentes principais (ACP), com as variáveis de maiores escores, foram extraídos dois componentes principais que de forma geral explicaram a variabilidade total dos dados para as três profundidades estudadas: 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20. O número de fatores extraídos foi estabelecido de forma a explicar acima de 60% da variância total dos dados (Tabela 4 e figura 2A, 2B e 2C). Importante destacar que ACP se concentra em explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório por meio de combinações lineares das variáveis originais. Em geral, o que se deseja é obter uma redução no número de variáveis e interpretação das combinações lineares obtidas, tendo como objetivo explicar a maior parte da variabilidade nos dados originais (JOHNSON e WICHERN, 2007; RIBAS e VIEIRA, 2011).

De acordo com Manly (2008), foram consideradas somente as variáveis com autovalores acima de 1, pois são aquelas que geram componentes com quantidade relevante de informação das variáveis originais. Com base nisso, a profundidade 0,00-0,05 m apresentou autovalores da matriz de covariância de 4,28 na CP1 e 2,45 na CP2, na profundidade 0,05-0,10 m os autovalores da matriz foram de 4,30 na CP1 e 1,54 na CP2, já na profundidade mais subsuperficial de 0,10-0,20 m os autovalores foram de 4,03 na CP1 e 1,95 na CP2 (Tabela 5).

Tabela 4. Correlação entre cada componente principal das variáveis analisadas dos atributos químicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas - AM.

Profundidade 0,00-0,05 m			
Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
H ⁺ +Al ³⁺	0,88	-0,14	0,93*
Ca ²⁺	0,86	0,91*	0,09
Mg ²⁺	0,73	0,85*	-0,11
SB	0,93	0,97*	0,03
T	0,88	0,17	0,94*
V%	0,86	0,90*	-0,29
m%	0,83	-0,94*	0,05
CO	0,37	-0,17	0,75*
Autovalor		4,28	2,45
Variância explicada (%)		54,64	29,66
Profundidade 0,05-0,10 m			
Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
H ⁺ +Al ³⁺	0,25	-0,03	0,62*
Ca ²⁺	0,92	0,94*	-0,05
Mg ²⁺	0,69	0,83*	0,21
SB	0,95	0,97*	0,01
V%	0,90	0,94*	-0,18
m%	0,85	-0,93*	0,09
P	0,12	0,04	0,71*
CO	0,16	0,05	-0,74*
Autovalor		4,30	1,54
Variância explicada (%)		53,90	19,20
Profundidade 0,10-0,20 m			
Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
H ⁺ +Al ³⁺	0,87	0,06	0,95*
Al ³⁺	0,46	-0,05	0,35*
Ca ²⁺	0,96	-0,90*	-0,04
Mg ²⁺	0,69	-0,79*	0,09
SB	0,97	-0,91*	-0,01
T	0,88	-0,28	0,92*
V%	0,90	-0,91*	-0,21
m%	0,90	0,90*	0,06
Autovalor		4,03	1,95
Variância explicada (%)		24,42	50,41

(H⁺+Al³⁺): acidez potencial; (Al³⁺): alumínio trocável; (K⁺): potássio; (Ca²⁺): cálcio; (Mg²⁺): magnésio; (SB): soma de bases; (t): CTC efetiva; (T): CTC potencial; (V%): saturação por bases; (m%): saturação por alumínio; (P): fósforo.

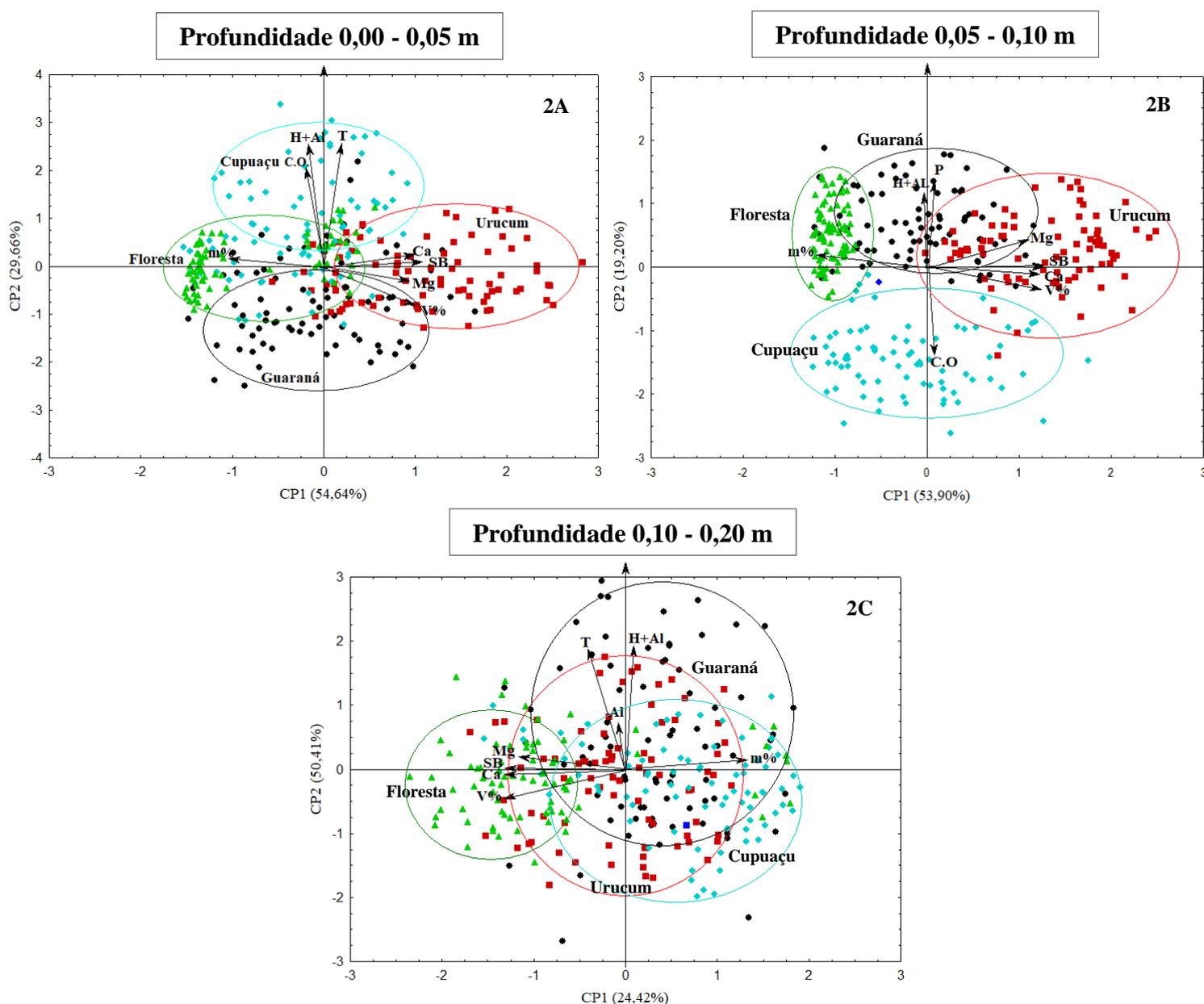


Figura 2: Análise de componentes principais dos atributos químicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes às áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas – AM.

Detalhadamente após análise, foi possível observar que o componente principal 1 referente a profundidade 0,00-0,05 m explicou 54,64 % da variabilidade total dos dados, tal componente apresentou percentual de explicação para atributos mais voltados às condições de bases trocáveis e percentagem de saturação presente no solo, como: Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, V% e m%. Através dos respectivos resultados observou-se que os atributos Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, V% se correlacionaram de maneira positiva entre si, e de maneira negativa com a saturação por

alumínio (m%) (Tabela 4). A correlação inversa dos atributos em relação a saturação por alumínio, indica que quanto maior for saturação por alumínio no solo menor será os teores de Ca e Mg, e conseqüentemente, menor as bases trocáveis do solo (RAIJ et al., 2011). O segundo componente principal teve percentual de explicação de 29,66 % da variabilidade dos dados, com características mais relacionada a condições de acidificação do solo e relevante concentrações orgânicas, como $H^+ + Al^{3+}$, T e CO, sendo que ambos os atributos apresentaram correlação positiva (Tabela 4), resultados semelhantes foram observados por Portugal et al. (2010). No geral os dois componentes principais na profundidade 0,00-0,05 m reteram um percentual da variância explicada de 80,30% (Tabela 4 e figura 2A, 2B e 2C).

Ao verificar os componentes referente a profundidade 0,05-0,10 m, observou-se que os mesmos se comportaram de forma semelhante a profundidade anterior, de modo que o primeiro componente apresentou percentual de explicação para atributos mais voltados as condições de bases trocáveis e percentagem de saturação presente no solo, os quais explicaram 53,90 % da variabilidade total dos dados. Entre os atributos Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, V% e m%, apenas o atributo relacionado a saturação por alumínio (m%) correlacionou-se de maneira negativa, evidência também observada na profundida anterior. Já o segundo componente teve percentual de explicação de 19,20 % da variabilidade dos dados, assim como a profundidade anterior, apresentou tendência voltada a característica de acidificação do solo e relevante concentrações orgânicas, no entanto nesta presente condição os atributos $H^+ + Al^{3+}$ e P se correlacionaram de maneira positiva e o CO de forma negativa para o respectivo componente. Para está profundidade os dois componentes principais tiveram um percentual de variância explicada em torno de 73,10% (Tabela 4 e figura 2A, 2B e 2C).

Ao realizar análise dos componentes na profundidade 0,10-0,20 m, foi possível observar que assim como nas profundidades anteriores, o potencial de explicação voltou-se para as condições de bases trocáveis e percentagem de saturação presente no solo, a diferença se deu

na correlação inversa dos atributos em comparação as profundidades anteriormente analisadas, uma vez que o Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e V% apresentaram correlação negativa e a saturação por alumínio (m%), evidenciou correlação positiva. Na presente situação a CP1 apresentou percentual da variabilidade dos dados de 24,42 %. Ao se analisar o segundo componente, observou-se que o mesmo teve percentual de explicação de 50,41 %, com evidente característica de acidificação do solo, onde nessa profundidade os atributos $\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$, Al^{3+} e T se correlacionaram positivamente. No geral, ambos componentes principais nesta profundidade apresentaram percentual de variância explicada de 74,83% (Tabela 4 e figura 2A, 2B e 2C).

Na Figura 2, estão representadas as análises de componentes principais, por meio da distribuição dos escores das diferentes áreas estudadas e da disposição das cargas fatoriais dos atributos químicos do solo formados pelos CP1 e CP2. Com base nos resultados, ao se analisar a profundidade 0,00-0,05 m, foi possível observar maior adensamento dos escores da área de urucum no primeiro e quarto quadrante, o que discrimina que a respectiva área obteve valores dos atributos Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e V%, acima da média (Figura 2A). Por outro lado, a área cultivada com cupuaçu ficou mais distribuída no segundo e terceiro quadrante, com os atributos $\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$, T e CO apresentando valores acima da média para os respectivos atributos (Figura 2A).

Com base nos resultados também foi possível identificar que o maior adensamento dos escores na área de floresta concentrou-se no segundo e terceiro quadrante, a mesma apresentando valores de saturação por alumínio (m%), acima da média. Na floresta, pode-se explicar os baixos teores de nutrientes, em parte, pelo fato de que nesse ambiente grande parte dos nutrientes estão alocados na vegetação, além da pobreza química dos Argissolos e do alto grau de intemperismo dele no ambiente (LOSS et al., 2009). Na interpretação geral dos componentes principais, observou-se ainda que o maior adensamento dos escores para a área de guaraná ocorreu respectivamente no terceiro e quarto quadrante, apresentando valor abaixo da média para os atributos Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, V%, m%, $\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$, T e CO. Tais resultados na área

de guaraná já evidencia elevado grau de degradação química na profundidade superficial promovida pelo processo de conversão floresta em áreas cultivadas. Provavelmente grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos como H^+ e Al^{3+} , fato que torna fácil caracterizar o solo da presente área como pobre.

Ao analisar os resultados relacionados a profundidade 0,05-0,10 m, observou-se maior adensamento dos escores da área de urucum no primeiro quadrante, o que discrimina que a presente área obteve valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e V%, acima da média (Figura 2B). Importante destacar que ao verificar o comportamento das áreas de floresta e guaraná, os resultados evidenciaram que as maiores concentrações dos escores ocorreram no primeiro e segundo para a área de guaraná e respectivamente no segundo para área de floresta. A área de guaraná apresentou valores dos atributos $H^+ + Al^{3+}$ e P acima da média, já a área de floresta discriminou valores acima da média para saturação por alumínio (m%). Quando analisada a área de cupuaçu identificou-se maior adensamento dos escores no terceiro e quarto quadrante, apresentando valor acima da média para o atributo CO (Figura 2B).

Quando se analisou os componentes principais na profundidade 0,10-0,20 m, observou-se uma dispersão acentuada dos escores das áreas cultivadas com guaraná, urucum e cupuaçu entre o primeiro ao quarto quadrante, o que discrimina que ambas áreas obtiveram valores dos atributos $H^+ + Al^{3+}$, T e Al^{3+} , acima da média (Figura 2C). Ao analisar a área de floresta foi possível observar adensamento dos escores concentrados no segundo e terceiro quadrante, identificando condição contrária da observada nas primeiras duas profundidades, de modo que nesta situação a área de floresta apresentou valores acima da média para os atributos, Mg^{2+} e SB e abaixo da média para os atributos V% e Ca^{2+} . Provavelmente os baixos teores de matéria orgânica e a baixa atividade da fração argila nesta profundidade favoreceram uma elevada perda de cátions de natureza básica por lixiviação. Com a lixiviação destes, acumulam-se os cátions de natureza ácida (Al^{3+} e o H^+) no solo (ELTZ et al., 2005).

6.4 CONCLUSÕES

Os atributos químicos CO, $H^+ + Al^{3+}$, Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , SB, t, T, V%, m% e P sofreram maiores alterações e degradações após a conversão de floresta em ambientes cultivados.

As alterações nos atributos químicos foram mais pronunciadas nas camadas superficiais (0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m), tal resultado demonstra a importância da biomassa acima do solo na ciclagem dos nutrientes.

A análise multivariada dos atributos químicos do solo é adequada para identificar os nutrientes que apresentam maior alteração após o processo de conversão floresta/cultivos agrícolas.

6. 5 REFERÊNCIAS

ALVES, S. M. F.; QUEIROZ, D. M.; ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo usando técnicas de análise de componentes principais e geostatística. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 22-30, 2014.

AQUINO, R. E. de; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A. de; FRANCISCON, U.; SILVA, D. M. P. da; CUNHA, J. M. da. Chemical soil attributes evaluated by multivariate techniques and geostatistics in the area with agroforestry and sugarcane in Humaitá, AM, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 61-72, 2016.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, K. O. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil** - Folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561p.

BRAZ AMS, FERNANDES AR, ALLEONI LRF. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. **Land Degradation and Development**, v. 24, n. 1, p. 33-38, 2013.

CAMPOS, M.C.C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@mbiente**, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.254-258, 2001.

COMTE I, DAVIDSON R, LUCOTTE M, CARVALHO CJR, OLIVEIRA FA, SILVA BP, ROUSSEAU GX. Physicochemical properties of soils in the Brazilian Amazon following fire-free land preparation and slash-and-burn practices. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 156, n. 1, p. 108-115, 2012.

CORRÊA, R.M.; FREIRE, M.B.G. dos S.; FERREIRA, R.L.C.; FREIRE, F.J.; PESSOA, L.G.M.; MIRANDA, M.A.; MELO, D.V.M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33 n.2, p.305-314, 2009.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, M. R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo Amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1207-1216, 2011.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; BRASIL, E. C. Calagem em latossolo amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 895-908, 2012.

DAVIDSON E, A.; SÁ, T. D. A.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIREDO, R.O.; KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; ISHIDA, F. Y. An integrated greenhouse gas assessment of an alternative to

slash-and-burn agriculture in eastern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 14, n. 5, p. 998-1007, 2008.

ELTZ, F.L.F.; ROVEDDER, A.P.M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrocência**, v.11, n.2, p.193-200, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília/DF, 2017. 575p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3.ed. revisada e ampliada. Brasília, 353p, 2013.

FROGBROOK, Z. L.; OLIVER, M.A.; SALAHI, M.; ELLIS, R.H. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, Oxon, v.18, n.1, p.1-9, 2002.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; MACHADO, D. L. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 617-631, 2015.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 43, n. 01, p. 189-202, 2005.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 593p. 2007.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6th ed. Upper Saddle River: Pearson prentice Hall, 2007. 773 p.

LIMA, M. S.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; ALMEIDA, B. G.; RIBEIRO, E. P.; SANTOS, R. L. Solos florestais em fragmento de floresta urbana na mata de dois irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 542-553, 2018.

LINDELL L, ÅSTRÖM M, ÖBERG T. Land-use versus natural controls on soil fertility in the Subandean Amazon, Peru. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 4, p. 965-75, 2010.

MANLY, B.J.F. **Metodos estatísticos multivariados**: uma introdução. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.1, p. 68-75, 2009.

MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; GOMES, R. P.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 2, p. 122-130, 2015.

MARQUES JÚNIOR, J. **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das**

relações solo-relevo, 2009. 113 p. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, 2009.

MARTINS, E. C. A.; PELUZIO, J. M.; OLIVEIRA JUNIOR, W. P. de; TSAI, S. M.; NAVARRETE, A. A.; MORAIS, P. B. de. Alterações dos atributos físico-químicos da camada superficial do solo em resposta à agricultura com soja na várzea do Tocantins. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 4, p. 56-62, 2015.

MELO, V. F., ORRUTÉA, A. G., MOTTA, A. C. V., & TESTONI, S. A. Land Use and Changes in Soil Morphology and Physical-Chemical Properties in Southern Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-14, 2017.

MOLINE, E. F. V. & COUTINHO, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 1, p. 14-20, 2015.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil Chemical Attributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 17-18, p. 2912-2925, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; NÓBREGA, R. S. A.; JESUS, E. C.; FERREIRA, D. F.; PÉREZ, D.V. Differentiation in the fertility of Inceptisols as related to land use in the upper Solimões river region, western Amazon, **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 2, p. 349-355, 2009.

MUNOZ HERNANDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações ca:mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**, v.45, n.1, p.1-12, 2015.

OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JUNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; FREITAS, L.; SIQUEIRA, D. S.; CUNHA, J. M.; Variabilidade Espacial e Densidade Amostral da Suscetibilidade Magnética e dos Atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39 n.3, p. 668-681, 2015.

OWUOR, S. O., BUTTERBACH-BAHL, K., GUZHA, A. C., JACOBS, S., MERBOLD, L., RUFINO, M. C., & BREUER, L. Conversion of natural forest results in a significant degradation of soil hydraulic properties in the highlands of Kenya. **Soil and Tillage Research**, v. 176, n. 9, p. 36-44, 2018.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.; DEL'ARCO VINHAS; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.575-585, 2010.

PRAGANA, R. B., RIBEIRO, M. R., NÓBREGA, J. C. A., RIBEIRO FILHO, M. R., & COSTA, J. D. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 1591-1600, 2012.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2011. 420p.

REICHERT, J. M.; RODRIGUES, M. F.; BERVALD, C. M. P.; KATO, O. R. Fire-free fallow management by mechanized chopping of biomass for sustainable agriculture in eastern Amazon: effects on soil compactness, porosity, and water retention and availability. **Land Degradation and Development**, v. 27, n. 5, p. 1403-1412, 2016.

REIS, M. S., FERNANDES, A. R., GRIMALDI, C., DESJARDINS, T., GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Revista de Ciência Agrária**. v.52, n.3. p.37-47, 2009.

SANTOS, L. A. C. dos; CAMPOS, M. C. C.; COSTA, H. S.; PEREIRA, A. R. Caracterização de solos em uma topossequência sob terraços aluviais na região do médio rio Madeira (AM). **Ambiência**, v. 8, n. 2, p. 319-331, 2012.

SILVA, S. A., LIMA, J. S. L., DE SOUZA, G. S., DE OLIVEIRA, R. B., & DA SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.

SOARES, M.D.R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. C.; MANTOVANELLI, B. C.; OLIVEIRA, I. A.; BRITO FILHO, E. G.; LEITE, A. F. L. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 2. p. 125-133, 2018.

SOUSA NETO, O. N., **Análise multivariada dos atributos físicos e químicos de um cambissolo cultivado sob práticas de manejo sustentável da caatinga**, 2013. 78 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró/RN.

SPSS Inc. **Statistical Analysis Using SPSS**. Chicago. 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719 p.

WARRICK A.W.; NIELSEN D.R. 1980. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, USA. p.344.

WIESMEIER, M.; DICK, D. P.; RUMPEL, C.; DALMOLIN, R. S. D.; HILSCHER, A.; KNICKER, A. Depletion of soil organic carbon and nitrogen under *Pinus taeda* plantations in Southern Brazilian grasslands (Campos). **European Journ l of Soil Science**, Oxford, v. 60, n. 3, p. 311 - 487, 2009.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p.1467-1476, 1988.

7. CAPÍTULO III: ESTABILIDADE DE AGREGADOS E ESTOQUE DE CARBONO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL.

RESUMO

Ao longo dos anos o processo de conversão de ecossistemas naturais em áreas cultivadas, assim como sistemas de uso e manejo dos solos tem proporcionado alterações na estabilidade de agregados e nos teores de estoques de carbono dos solos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade de agregados e estoque de carbono em áreas sob conversão de floresta para diferentes sistemas de cultivo, utilizando técnicas de estatística tradicional univariada, multivariada e geoestatística. Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo, nas áreas de floresta e guaraná estabeleceu-se malhas de 90 x 70 m e espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 x 10 m, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m e espaçamento de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. Após delimitadas as malhas foram coletadas amostras nos pontos de cruzamento das malhas, nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área, e totalizando 240 amostras por área. Em cada ponto amostral, coletou-se amostras com estrutura preservada em forma de torrão para determinação da estabilidade dos agregados, textura do solo e carbono orgânico, perfazendo um total de 960 amostras nas quatro áreas avaliadas. O processo de conversão influenciou o estado de agregação do solo, avaliado pelo aumento da dispersão da fração argila e diminuição dos valores DMP, DMG e classes de agregados > 2,00 mm; Os atributos avaliados nas respectivas áreas estudadas se mostraram nos limites do grau de dependência espacial, apresentando dependência variando entre moderada a forte; Na análise multivariada, as áreas de floresta e cupuaçu apresentaram comportamentos semelhantes, com valores de CO, EC, silte, argila e classes de agregados 2 – 1 mm, < 1mm e IEA, acima da média.

Palavras-chave: ecossistemas naturais; agregação do solo; sistemas de uso e manejo.

7. CHAPTER III: STABILITY OF AGGREGATES AND CARBON STOCK UNDER FOREST CONVERSION TO DIFFERENT CROPPING SYSTEMS IN SOUTHERN AMAZONAS, BRAZIL.

ABSTRACT

In recent years, the process of converting natural ecosystems into cultivated areas, as well as land use and management systems soil, has provided changes in the stability of aggregates and soil carbon stock. The present work aimed to evaluate the stability of aggregates and carbon stock in areas under forest conversion for different cropping systems, using traditional univariate, multivariate and geostatistical statistical techniques. Were established meshes according to the dimensions of cultivation, in the areas of forest and guaraná were established meshes of 90 x 70 m and regular spacing between the sample points of 10 x 10 m, in the area of annatto the established mesh was of 90 x 56 m and spacing of 10 x 8 m, already for area of cupuaçu the mesh had dimensions of 54 x 42 m, with spacing between the sample points of 6 x 6 m. After delimiting the meshes samples were collected at the crossing points of the meshes, at depths of 0.00-0.05; 0.05-0.10; and 0.10-0.20 m, with 80 sampling points in each area, and totaling 240 samples per area. At each sample point, samples were collected with preserved structure in the form of clod to determine the stability of the aggregates, soil texture and organic carbon, making a total of 960 samples in the four areas evaluated. The conversion process influenced soil aggregation, evaluated by increasing clay fraction dispersion and decrease in values DMP, DMG and aggregate classes > 2.00 mm; The attributes evaluated in the respective areas studied were within the limits of the degree of spatial dependence, presenting dependence ranging from moderate to strong; In the multivariate analysis, the forest and cupuaçu areas presented similar behavior, with values of CO, EC, silt, clay and classes of aggregates 2 - 1 mm, <1mm and IEA, above average.

Key words: natural ecosystems; soil aggregation; systems of use and management.

4.1 INTRODUÇÃO

Atualmente a ocupação e substituição de áreas antes florestadas por áreas agrícolas sem o devido conhecimento e a inobservância de critérios técnicos, tem sido um dos principais problemas na região amazônica. Neste sentido, a conversão de ambientes naturais em sistemas agropecuários, especialmente sistemas de monocultivo, tem provocado alterações no solo (SILVA et al., 2007; FREITAS et al., 2015).

Dentre as propriedades do solo que mais sofrem alterações pelo uso e manejo, está a estrutura, associado a formação de camadas compactadas com a diminuição de macroporos, tamanho de agregados, taxa de infiltração de água e aumento da resistência à penetração do sistema radicular e densidade (HOU et al., 2012; SOUZA et al., 2014; COSTA et al., 2015). Estudos também tem demonstrado que o estoque de carbono no solo tem sido afetado de modo significativo pelos sistemas de uso e manejo do solo (CAMPOS et al., 2016; CUNHA et al., 2017). De modo que, o cultivo intensivo, aliado à alta taxa de revolvimento, é responsável pela redução do conteúdo de matéria orgânica do solo, que é um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados (CASTRO FILHO et al., 1998).

A quantificação das alterações na estabilidade de agregados do solo pode fornecer resultados que propiciem uma produção agrícola com bases mais sustentáveis. Para que haja otimização de produtividade de culturas é necessário atenção e manutenção do bom estado de agregação, estabilidade e, conseqüentemente, boa estrutura (OLIVEIRA et al., 2013). Diante do exposto, a estabilidade de agregados, como atributo físico, torna-se fundamental na avaliação da qualidade estrutural, visto que a mesma é sensível a variações no uso do solo, podendo identificar possíveis alterações promovidas pela conversão da floresta em áreas agrícolas.

Para a interpretação das variações nos atributos físicos dos solos é necessário a utilização dos métodos estatísticos. Os métodos univariados apresentam limitações, já que o

comportamento dos atributos é interpretado isoladamente, não levando em conta interação com os demais atributos presentes (SILVA et al., 2010). Neste sentido, através da técnica de análise multivariada é possível explicar o máximo de intercorrelação entre as variáveis, e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização e/ou, alteração do solo. Auxiliando na tomada de decisão para o emprego do manejo adequado, tendo como base o comportamento dos atributos do solo, e indicando quais atributos sofrem maior alteração com a ação antrópica (OLIVEIRA et al., 2015).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade de agregados e estoque de carbono em áreas sob conversão de floresta para diferentes sistemas de cultivo, utilizando técnicas de estatística tradicional univariada, multivariada e geoestatística.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

7.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em duas propriedades rurais que fazem parte do Assentamento São Francisco localizado no município de Canutama, Amazonas, Brasil sob as coordenadas geográfica de referência ($8^{\circ} 13' 23''$ S; $64^{\circ} 00' 50''$ W) e ($8^{\circ} 13' 25''$ S; $64^{\circ} 00' 23''$ W), para ambas propriedades. Foram selecionadas quatro áreas, sendo três áreas sob diferentes cultivos: Urucum (*Bixa orellana* L.), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng) Schum), Guaraná (*Paullinia cupana* (Mart.) Ducke) e mais área de floresta (Figura 1).

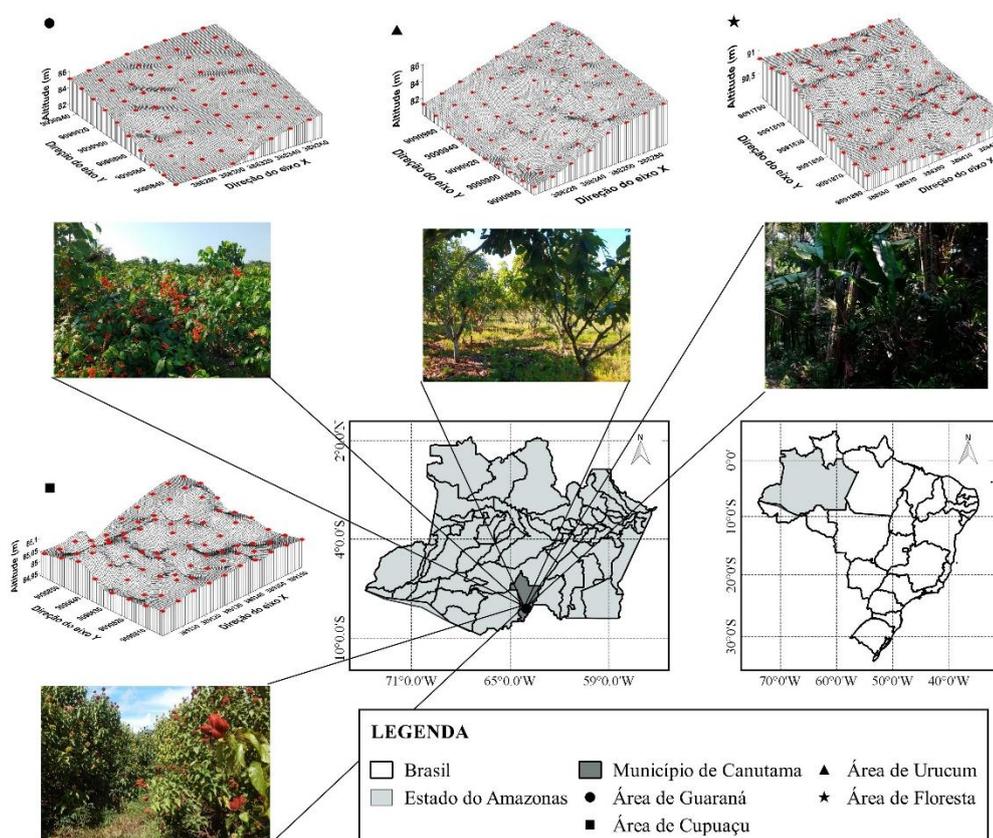


Figura 1. Localização e modelo de elevação digital das áreas com guaraná, cupuaçu, urucum e floresta, no município de Canutama, região sul do Amazonas - AM.

O solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo localizados na Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos aluviais recentes e antigos, do período Quaternário, caracterizadas pela presença de

relevos tabulares de grandes dimensões, definidos por talvegues de aprofundamento muito fraco, isto é, o relevo apresenta declives muito suaves, e a drenagem natural é deficiente (EMBRAPA, 2013). No que se refere à caracterização climática, o clima da região é Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média parcial varia entre 2250 e 2750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro e junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25 e 27° C e a umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

Foram selecionadas quatro áreas com diferentes sistemas de usos tradicionais nesta região da Amazônia (Figura 1), a saber:

a) Guaraná e urucum: área cultivada com guaraná há 7 anos e urucum a cerca de 3 anos, ambas áreas apresentam declividade média em torno de 3%. As respectivas áreas são oriundas de derrubada e queima da floresta, com conseqüente realização de destoca manual para limpeza da área no primeiro ano de cultivo, sem realizar adubação e calagem durante todo o período de cultivo. Para controle das plantas daninhas nas áreas é utilizado roçadeira motorizada e pulverização com herbicidas glifosato para controle do sapé (*Imperata brasiliensis*).

b) Cupuaçu: área cultivada há 7 anos, no processo de conversão floresta/cultivo de cupuaçu realizou derrubada e queima da floresta para limpeza da área no primeiro ano de cultivo, sem realizar adubação e calagem durante todo o período de cultivo, porém há acumulação de biomassa da cultura em grande quantidade. Para controle das plantas daninhas somente é utilizado roçadeira motorizada.

d) Floresta: Floresta tropical Ombrófila densa, cujo a vegetação é perenifólia caracterizada pela presença de fanerófitos (plantas cujas gemas de renovação se encontram a mais de 25 cm do solo), além de ser constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 a 50 metros de altura.

4.2.2 Metodologia de Campo

Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo. Nas áreas de guaraná e floresta foram estabelecidas malhas 90 x 70 m com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 x 10 m, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m com espaçamento entre os pontos amostrais de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. As amostras foram coletadas nos pontos de cruzamento das malhas, nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área, e totalizando 240 amostras por área. Os pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin modelo Etrex (*Datum South American'69*).

Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada em forma de torrão nas três camadas avaliadas para determinação da estabilidade dos agregados, granulometria do solo e carbono orgânico, perfazendo um total de 960 amostras nas quatro áreas avaliadas. As amostras foram secas à sombra e levemente destorroadas, de forma manual, passado as mesmas em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha, separando-se o material retido na peneira de 4,76 mm para as análises relativas à estabilidade de agregados. Já as amostras retidas na peneira de 2,00 mm foram utilizadas para análises de textura do solo e carbono orgânico.

4.2.3 Determinações e análises em Laboratório

A determinação da estabilidade dos agregados do solo foi realizada pelo método de peneiramento úmido. A separação e estabilidade dos agregados foi determinado segundo Kemper & Chepil (1965), com modificações nas seguintes classes de diâmetro: 4,76-2,0 mm; 2,0-1,0 mm; 1,0-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,125; 0,125-0,063 mm.

Os agregados provenientes da peneira de 4,76 mm foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm e submetidos à agitação vertical em aparelho Yoder

(SOLOTEST, Bela Vista, São Paulo, Brasil) por 15 min e com 32 oscilações por minuto. O material retido em cada classe das peneiras foi colocado em estufa a 105 °C, em seguida mensurada as respectivas massas em balança digital. Os resultados foram expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras para > 2 mm, 2-1 mm e < 1 mm, e posteriormente foram calculados os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) da classe < 0,25 mm, ambos através da fórmula proposta por CASTRO FILHO et al. (1998), o diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado segundo SCHALLER & STOCKINGER (1953), citados por ALVARENGA et al. (1986), de acordo com as equações:

$$\text{DMP} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i D_i}{\sum n_i} \quad (1)$$

$$\text{DMG} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^N n_i \log D_i}{\sum n_i}} \quad (2)$$

em que:

n_i é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira, D_i é o diâmetro médio de uma determinada peneira e N é o número de classes de peneiras.

$$\text{IEA} = \left(\frac{\text{MS-wp0,25-areia}}{\text{MS-areia}} \right) 100 \quad (3)$$

em que:

MS – massa seca da amostra, g; wp0,25 – massa dos agregados da classe < 0,25 mm, g.

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 min, seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (2011). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte foi calculado pela diferença.

O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por YEOMANS & BREMNER (1988). Já o estoque de carbono (EC) foi definido pela equação:

$$EC = Ds \times h \times CO \quad (4)$$

em que:

EC = estoque de carbono ($Mg \text{ ha}^{-1}$);

Ds = densidade do solo ($g \text{ cm}^{-3}$);

h é a espessura da camada de solo amostrada (cm);

CO = teor de CO (%).

Para complementação dos trabalhos realizou-se a análise da argila dispersa em água (ADA) para determinação do grau de floculação (GF) e grau de dispersão (GD), conforme EMBRAPA (2011).

4.2.4 Análises Estatísticas

Após a determinação dos atributos físicos relacionados com a estabilidade de agregados e carbono orgânico, foram realizadas análises estatística descritiva onde foram calculados a média e o coeficiente de variação. De modo que o coeficiente de variação (CV%) foi avaliado conforme classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), que classifica variáveis do solo como: $CV < 12\%$, $12 < CV < 60\%$, e $CV > 60\%$ para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

Posteriormente foram feitas análise estatística univariada e multivariada. A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para verificar se existe diferença entre as áreas estudadas, para saber qual área é diferente da outra e comparar as médias dos atributos, utilizando o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, por meio do software SPSS 21 (SPSS Inc., 2001). Em seguida foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA), através da análise fatorial, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, com referência ao ambiente sob floresta, obtendo como resposta atributos que sofrem maior influência sobre o uso do solo.

A adequação da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Barlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi feita pelas componentes principais, incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco. A escolha do número de fatores a ser utilizados foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superior a 1). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (*Varimax*) dos fatores e representada em um plano fatorial das duas componentes.

A análise geoestatística foi realizada com base no semivariograma experimental, estimado pela equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

em que:

$\hat{\gamma}(h)$ o valor da semivariância para uma distância h ; $n(h)$ o número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ o valor do atributo Z na posição x_i ; e $Z(x_i + h)$ o valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

O ajuste dos semivariogramas foram feitos com base no melhor coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada (VC), estimados pelo Software GS+ 7.0 (GAMMA DESIGN, 2004). Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que as propriedades do solo são consideradas com dependência espacial forte se a razão do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar (C_0+C_1) for menor que 25%. Se a razão estiver entre 26 a 75%, a dependência espacial é considerada moderada, enquanto que, se a propriedade do solo for maior que 75% a aproximadamente 95%, classificam-se como dependência espacial fraca.

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva, assim como análise de variância para os atributos avaliados em áreas cultivadas com guaraná, urucum e cupuaçu em comparação com a área de floresta estão apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3, para as respectivas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. Observou-se que a maioria dos atributos apresentam valores positivos de curtose, com exceção da área de cupuaçu na profundidades 0,00-0,05 m e guaraná, cupuaçu e floresta na profundidades 0,10-0,20 m. Os coeficientes de assimetria dos atributos avaliados apresentaram valores próximos à zero. Quanto aos resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov os mesmos indicaram normalidade para todos os atributos avaliados em todas as profundidades estudadas.

O CO, EC, DMG, DMP, IEA, frações granulométricas e as classes de agregados exibiram valores de média e mediana muito próximos, para todos os atributos e em suas respectivas profundidades, o que justifica as distribuições normais. A única exceção se deu para os atributos de GF e GD nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, respectivamente na área cultivada com urucum (Tabela 2 e 3). Apesar dos atributos GF e GD apresentarem valores de média e mediana não muito próximos, os mesmos apresentaram distribuição normal.

Com base nos resultados apresentados nas tabelas 1, 2 e 3, quando analisados os resultados de CO e EC foi possível observar que houve diferenças significativas entre todas as áreas analisadas, com maiores valores encontrados na área sob cultivo de cupuaçu nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, com exceção da profundidade de 0,10-0,20 m, a qual a área de floresta apresentou maior valor. No geral observou-se diminuição do CO e EC em profundidade, com exceção apenas para os teores de EC nas áreas de floresta e guaraná na profundidade de 0,10-0,20 m.

Tabela 1. Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,00-0,05 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.

Estatística Descritiva	CO	EC	DMG	DMP	Classes %			IEA	GF	GD	Areia	Silte	Argila
	g kg ⁻¹	t ha ⁻¹	----- mm ----	>2,00	2,0-1,0	<1,00	----- % -----	-----	-----	-----	----- g kg ⁻¹ -----	-----	-----
Guaraná													
Média	14,04 d	7,99 b	2,79 a	3,19 a	94,38 a	0,82 bc	4,80 b	93,92 b	78,93 a	21,07 a	390,03 a	392,99 c	216,98 a
Mediana	14,04	7,99	2,81	3,19	94,53	0,82	4,63	94,54	80,28	19,72	389,92	391,99	216,00
DP	2,94	1,82	0,24	0,07	3,21	0,40	1,71	3,09	8,41	8,41	47,98	40,63	32,04
CV (%)	20,93	22,83	8,74	2,12	3,42	48,69	35,72	3,29	10,66	39,93	12,30	10,36	14,87
Assimetria	-0,03	0,21	-1,30	-0,56	-1,43	0,76	0,57	-1,64	-1,08	1,08	0,08	0,22	-0,45
Curtose	-0,60	-0,65	2,32	0,09	2,63	0,46	0,06	3,90	1,71	1,71	-0,53	-0,30	-0,05
K-S	0,09*	0,07*	0,11*	0,11*	0,12*	0,15*	0,13*	0,12*	0,16*	0,16*	0,06*	0,09*	0,13*
Urucum													
Média	16,52 c	8,79 b	2,76 a	3,18 a	94,77 a	0,70 c	4,53 b	92,87 b	76,60 ab	23,40 a	378,10 a	445,29 b	176,61 b
Mediana	16,36	8,57	2,80	3,20	94,64	0,70	4,53	93,71	60,73	39,27	375,10	442,29	175,61
DP	3,28	2,38	0,27	0,09	4,12	0,42	1,83	4,17	13,90	13,90	51,94	56,11	40,27
CV (%)	19,86	27,08	9,89	2,88	4,41	59,18	40,38	4,49	23,45	34,12	13,85	12,69	22,93
Assimetria	0,44	1,13	-0,84	-1,52	-1,32	0,85	0,92	-1,09	0,21	-0,21	0,57	0,25	-0,11
Curtose	0,05	1,45	0,01	2,84	1,11	0,29	0,92	0,60	0,88	0,88	-0,43	0,04	-1,04
K-S	0,12*	0,11*	0,16*	0,17*	0,19*	0,14*	0,17*	0,15*	0,16*	0,16*	0,10*	0,10*	0,12*
Cupuaçu													
Média	23,42 a	11,18 a	2,53 b	3,08 b	91,17 b	1,15 a	7,68 a	91,12 c	68,55 c	31,45 a	263,77 b	519,49 a	216,74 a
Mediana	23,42	11,18	2,53	3,08	90,81	1,13	7,68	91,58	68,44	29,83	265,50	519,64	209,20
DP	6,25	3,28	0,25	0,10	3,66	0,54	2,64	3,96	10,46	7,62	34,15	43,03	33,42
CV (%)	26,70	29,28	9,90	3,41	4,04	46,80	34,37	4,34	15,71	25,41	13,00	8,28	15,52
Assimetria	0,12	0,21	-0,16	-0,31	-0,41	0,55	0,21	-0,94	-0,82	1,79	0,24	0,13	-0,01
Curtose	-0,29	-0,41	-0,88	-0,80	-0,57	-0,55	-0,93	0,55	-0,44	4,61	-0,83	-0,38	-0,33
K-S	0,10*	0,07*	0,08*	0,10*	0,10*	0,13*	0,09*	0,09*	0,25*	0,38*	0,09*	0,04*	0,14*
Floresta													
Média	20,22 b	8,66 b	2,82 a	3,20 a	94,52 a	0,98 ab	4,51 b	95,64 a	72,91 a	27,09 a	252,19 b	530,44 a	217,37 a
Mediana	20,34	8,62	2,85	3,20	94,54	0,96	4,51	95,80	73,26	26,74	252,00	529,01	215,37
DP	3,59	1,94	0,23	0,07	2,91	0,59	1,84	2,05	4,56	4,56	26,12	37,53	31,96
CV (%)	17,76	22,45	8,26	2,17	3,09	60,17	40,76	2,14	6,25	16,83	10,48	7,09	14,84
Assimetria	0,43	0,62	-0,58	-0,28	-1,00	1,10	0,38	-0,74	-0,43	0,43	0,03	-0,02	-0,59
Curtose	0,46	1,69	0,05	-0,71	1,51	1,87	-0,52	0,52	-0,49	-0,49	0,13	0,83	0,98
K-S	0,09*	0,08*	0,07*	0,07*	0,08*	0,15*	0,07*	0,08*	0,13*	0,13*	0,07*	0,07*	0,15*

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; GF: Grau de Flocculação; GD: Grau de Dispersão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 2. Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,05-0,10 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.

Estatística Descritiva	CO	EC	DMG	DMP	Classes %			IEA	GF	GD	Areia	Silte	Argila
	g kg ⁻¹	t ha ⁻¹	-----	mm	-----	>2,00	2,0-1,0	<1,00	-----	%	-----	g kg ⁻¹	-----
Guaraná													
Média	12,11 d	6,63 c	2,44 c	2,96 bc	86,17 b	2,77 a	11,06 a	91,12 b	69,42 a	30,58 a	363,61 b	410,86 b	225,53 c
Mediana	11,82	6,47	2,51	3,01	86,85	3,17	10,49	92,49	68,57	31,43	357,30	407,16	228,65
DP	2,55	1,31	0,43	0,24	7,28	1,18	5,33	5,07	4,73	4,73	41,52	39,93	52,07
CV (%)	21,02	19,74	17,42	8,00	8,45	39,62	48,14	5,56	6,81	15,47	11,42	9,68	23,09
Assimetria	0,45	0,33	-0,97	-1,32	-1,13	0,54	1,35	-1,74	-0,72	0,72	0,47	0,05	-0,20
Curtose	-0,16	-0,55	0,75	1,79	1,18	0,45	1,95	3,37	1,17	1,17	-0,33	1,53	0,48
K-S	0,09*	0,11*	0,13*	0,14*	0,15*	0,14*	0,19*	0,16*	0,25*	0,25*	0,08*	0,10*	0,10*
Urucum													
Média	16,16 b	8,62 b	2,81 a	3,16 a	93,63 a	1,39 b	4,98 c	94,64 a	59,27 a	40,73 a	383,86 a	320,14 c	296,00 ab
Mediana	16,66	8,66	2,85	3,19	94,14	1,04	4,70	94,86	78,05	21,95	385,90	320,73	296,00
DP	2,24	1,43	0,24	0,11	3,54	1,08	2,11	2,33	4,62	4,62	51,56	34,42	48,64
CV (%)	13,86	16,63	8,63	3,45	3,79	77,60	42,37	2,46	6,03	19,75	13,32	10,65	16,43
Assimetria	-0,51	-0,35	-0,83	-1,20	-1,03	1,28	0,57	-0,66	-1,48	1,48	0,45	0,01	-0,15
Curtose	-0,15	0,32	0,33	1,30	0,68	0,87	-0,58	0,20	2,12	2,12	-0,51	-0,34	-0,83
K-S	0,12*	0,07*	0,09*	0,12*	0,11*	0,17*	0,08*	0,09*	0,32*	0,32*	0,12*	0,09*	0,11*
Cupuçu													
Média	23,30 a	13,38 a	2,59 b	3,04 b	89,17 b	3,49 a	7,35 b	93,74 a	57,78 a	42,22 a	284,69 c	418,06 b	297,25 a
Mediana	23,30	13,27	2,60	3,05	89,11	2,69	7,35	94,05	56,81	43,19	286,70	415,20	303,20
DP	3,10	2,05	0,26	0,16	6,10	1,75	2,53	2,45	5,71	5,71	29,96	59,37	43,52
CV (%)	13,30	15,33	9,87	5,20	6,92	58,02	34,44	2,61	9,88	13,52	10,53	14,20	14,64
Assimetria	-0,22	0,39	-0,68	-1,13	-1,40	1,15	0,54	-0,76	1,46	-1,46	-0,20	0,98	-0,74
Curtose	0,07	0,35	0,85	1,02	2,15	1,13	0,08	0,79	3,70	3,70	0,31	1,29	0,22
K-S	0,11*	0,09*	0,10*	0,15*	0,16*	0,15*	0,14*	0,08*	0,25*	0,25*	0,06*	0,09*	0,10*
Floresta													
Média	13,66 c	6,53 c	2,52 bc	2,94 c	87,61 b	3,58 a	8,81 b	93,67 a	66,14 a	33,86 a	238,88 d	483,25 a	277,87 b
Mediana	13,66	6,53	2,52	2,96	85,60	3,58	8,81	94,09	68,20	34,49	238,00	483,40	276,94
DP	2,65	1,45	0,31	0,26	8,82	2,19	3,73	2,66	9,28	6,68	24,09	45,85	39,81
CV (%)	19,42	22,22	12,33	8,91	10,32	61,00	42,34	2,83	13,61	19,36	10,08	9,54	14,33
Assimetria	-0,20	-0,03	0,00	-0,91	-0,82	0,35	0,14	-0,63	0,47	-0,40	0,21	-0,17	0,21
Curtose	0,21	-0,10	-0,56	0,47	0,20	-0,61	-0,88	-0,12	-0,23	0,68	0,13	-0,35	0,00
K-S	0,11*	0,09*	0,15*	0,11*	0,10*	0,10*	0,09*	0,11*	0,20*	0,16*	0,06*	0,08*	0,10*

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; GF: Grau de Flocculação; GD: Grau de Dispersão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 3. Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,10-0,20 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM. 127

Estatística Descritiva	CO	EC	DMG	DMP	Classes %			IEA	GF	GD	Areia	Silte	Argila
	g kg ⁻¹	t ha ⁻¹	----- mm -----	----- mm -----	>2,00	2,0-1,0	<1,00	----- % -----	----- % -----			----- g kg ⁻¹ -----	
Guaraná													
Média	10,35 b	11,13 b	2,09 b	2,72 bc	77,54 b	5,33 b	17,13 ab	89,47 c	54,27 ab	45,73 ab	361,48 b	434,92 b	203,60 c
Mediana	10,71	11,64	2,05	2,72	75,84	5,49	17,27	90,31	55,33	44,67	360,10	435,40	204,00
DP	2,20	2,20	0,43	0,27	6,67	1,88	5,04	5,38	19,47	19,47	40,65	23,63	39,11
CV (%)	21,26	19,79	20,62	9,87	8,60	35,33	31,92	6,02	35,88	42,59	11,18	5,43	19,19
Assimetria	0,18	-0,69	-0,15	-0,38	0,07	-0,08	-0,25	-1,08	-0,47	0,47	0,76	0,19	-0,36
Curtose	-0,28	0,84	-0,50	-0,29	-0,56	-0,15	-0,80	0,84	-1,05	-1,05	0,03	0,56	-0,65
K-S	0,08*	0,12*	0,06*	0,06*	0,11*	0,09*	0,15*	0,14*	0,16*	0,16*	0,10*	0,08*	0,10*
Urucum													
Média	7,87 c	8,08 d	2,62 a	3,03 a	89,42 a	2,76 c	7,82 c	92,83 a	51,99 ab	48,01 ab	380,31 a	405,28 c	214,41 b
Mediana	7,90	8,29	2,67	3,09	90,22	2,71	7,12	93,80	49,31	50,69	380,30	409,14	211,20
DP	2,09	2,22	0,27	0,18	4,68	1,27	3,20	3,48	8,44	8,44	53,63	54,32	48,07
CV (%)	26,56	27,46	10,46	5,79	5,25	46,10	40,94	3,75	16,24	17,58	14,10	13,40	21,76
Assimetria	0,59	0,23	-0,69	-1,16	-1,03	1,41	1,02	-1,04	1,35	-1,35	0,29	-0,01	0,03
Curtose	1,13	0,80	0,75	0,90	0,95	1,96	1,97	0,64	1,62	1,62	-0,43	-0,42	-0,43
K-S	0,13*	0,10*	0,11*	0,16*	0,12*	0,17*	0,12*	0,15*	0,22*	0,22*	0,07*	0,08*	0,12*
Cupuaçu													
Média	8,05 c	9,40 c	2,07 b	2,62 c	73,95 c	7,89 a	18,16 a	90,92 bc	41,42 b	58,58 a	279,30 c	418,40 bc	302,30 a
Mediana	8,24	9,70	2,07	2,66	73,70	7,64	17,91	91,83	41,42	58,58	278,40	419,50	295,20
DP	3,06	3,59	0,39	0,35	11,24	3,39	7,88	3,69	7,95	7,95	26,62	44,49	35,74
CV (%)	37,99	38,21	18,67	13,34	15,25	44,44	43,99	4,06	19,20	13,57	9,53	10,63	11,82
Assimetria	-0,49	-0,57	-0,28	-0,67	-0,82	0,44	0,91	-1,21	-0,27	0,27	0,40	0,06	0,31
Curtose	-0,52	-0,69	-0,70	-0,28	0,64	-0,12	1,05	1,30	0,18	0,18	-0,10	0,50	-0,05
K-S	0,13*	0,13*	0,09*	0,10*	0,13*	0,10*	0,13*	0,13*	0,22*	0,22*	0,06*	0,07*	0,10*
Floresta													
Média	12,70 a	13,32 a	2,15 b	2,75 b	80,45 b	5,47 b	14,09 b	91,86 ab	61,44 a	38,56 b	241,16 d	467,04 a	291,80 a
Mediana	12,60	13,02	2,15	2,75	79,34	5,47	14,09	92,65	61,67	38,33	240,98	466,22	292,00
DP	2,34	2,63	0,46	0,33	12,44	2,31	6,19	3,93	6,31	6,31	27,20	39,42	32,46
CV (%)	18,45	19,76	21,59	11,90	15,87	42,14	43,91	4,28	10,28	16,38	11,28	8,44	11,22
Assimetria	0,73	0,98	-0,07	-0,42	-0,52	-0,02	0,42	-0,65	-0,26	0,26	0,42	0,25	-0,80
Curtose	0,33	1,05	-0,86	-0,61	-0,36	-0,16	-0,12	-0,14	-0,18	-0,18	0,15	0,53	1,24
K-S	0,12*	0,14*	0,07*	0,09*	0,09*	0,16*	0,10*	0,09*	0,25*	0,25*	0,09*	0,06*	0,15*

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; GF: Grau de Floculação; GD: Grau de Dispersão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Os altos valores de CO e EC na área de cupuaçu, respectivamente nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m devem estar associados à elevada produção de fitomassa, proporcionada pelo aporte de resíduos provenientes da própria cultura, fato que pode ser atribuído também ao tempo de 7 anos de cultivo com a cultura sem sofrer práticas intensivas no solo (Tabela 1 e 2). Os respectivos resultados encontrados para CO e EC corroboram com os encontrados por Cunha et al. (2017), a qual também atribuíram às altas concentrações, em virtude da cobertura vegetal verificadas *in loco* sob o uso do feijão Guandu em comparação com a área de floresta nativa e pastagem. Já Mantovanelli et al. (2015), atribuem este padrão em função da maior deposição de matéria orgânica em superfície, que é intensificada devido ao aporte de resíduos vegetais mais lignificados.

Estudos de Carvalho et al. (2010) e Campos et al. (2016) demonstram que a ausência da queima no processo de colheita, os resíduos vegetais são depositados na superfície do solo e com o passar do tempo parte desses resíduos é decomposto e parte é incorporada à matéria orgânica do solo, contribuindo para o aumento do carbono orgânico e estoque de C. Tais resultados só comprovam a afirmação proposta por outros autores de que o teor de carbono no solo depende da condição de tratamento que este recebe, e que durante a mudança no seu uso, pode ser significativo quando manejado da forma correta, e que não sofra uma consequente perda de nutriente durante o uso do solo (COX et al., 2000; FRIEDLINGSTEIN et al., 2006).

Quando analisados os atributos da estabilidade de agregados, DMG, DMP e IEA verificou-se que os atributos DMG e DMP para as áreas cultivadas com guaraná, urucum e floresta nativa não apresentaram entre si diferenças significativas na profundidade de 0,00-0,05 m, porém as mesmas foram estatisticamente diferentes quando comparadas a área cultivada com cupuaçu (Tabela 1). Os menores valores de DMG e DMP encontraram-se na área de cupuaçu, respectivamente na profundidade de 0,10-0,20 m com valor em torno de 2,07 e 2,62 mm, e os maiores valores se encontrou na área de floresta nativa, na profundidade 0,00-0,05 m

com valor em torno de 2,82 e 3,20 mm (Tabela 1 e 3).

Tomando como base os resultados encontrados, foi possível observar relação direta da estabilidade dos agregados com os valores encontrados de carbono orgânico em todas as áreas, para todas as profundidades estudadas. Sendo possível observar aumento dos valores de agregados com o aumento do carbono orgânico. Tal situação foi comprovada nos estudos de CAMPOS et al., (2016), onde os mesmos, destacaram correlação positiva entre a distribuição de agregados com o carbono orgânico, observando, aumento na porcentagem dos agregados dos solos com os maiores teores de carbono. Em outro contraponto, com base em tais resultados observou-se decréscimo nos valores de agregados em profundidade para todas as áreas estudadas. Trabalhos de Wendling et al., (2012) e Alho et al., (2014), também observaram decréscimo da agregação do solo com o aumento da profundidade.

Analisando os resultados obtidos do IEA foi possível observar na profundidade 0,00-0,05 m, diferença significativa da área de floresta em relação as áreas de guaraná, urucum e cupuaçu, favorecendo incremento de 4,52% da área de floresta em relação as áreas cultivadas (Tabela 1). Essa superioridade nos valores indicativos da agregação pode ser atribuída ao maior acúmulo de carbono orgânico. Na profundidade 0,05-0,10 m as áreas de floresta, cupuaçu e urucum não apresentaram diferença significativa, com exceção da área cultivada com guaraná (Tabela 2), tais resultados podem estar relacionados a estruturação do solo das respectivas áreas em profundidades. De acordo com Six et al. (2000), dentro dos padrões físicos, os mesmos destacam a estabilidade de agregados como o indicador da estrutura do solo. Outro fator que pode ter relação é acerca da manutenção dos teores de carbono orgânico, funcionando como agente cimentante. Tal afirmação é reforçada nos estudos de Corrêa et al. (2009) a qual relatam que o processo de agregação envolve um conjunto de elementos, entre eles, a matéria orgânica, que atua como agente cimentante unindo as partículas do solo. Na profundidade de 0,10-0,20 m os resultados seguiram a mesma tendência da profundidade anterior, porém com incremento

de 3,52% do maior valor referente a área cultivada com urucum em relação a área de guaraná (Tabela 3). Os baixos IEA apresentados no cultivo do guaraná pode estar relacionado ao tempo de cultivo da respectiva cultura, já que se trata de uma área com 7 anos de efetivo uso e sem atenção especial quanto ao manejo do solo.

Quando analisados os resultados relacionados as classes de agregados $> 2,00$ mm na profundidade 0,00-0,05 m foi possível observar que as maiores porcentagens de agregados foram encontrados nas área de guaraná com 94,4%, urucum 94,8% e floresta 94,5%, as mesmas não apresentando diferença significativa entre si pelo teste Tukey a nível de 0,05 de probabilidade, com exceção da área de cupuaçu a qual apresentou uma menor porcentagem dos agregados estáveis em água com valor em torno de 91,2% (Tabela 1).

Na profundidade de 0,05-0,10 observou-se maior valor na área de urucum com 93,6%, a mesma apresenta diferença significativa quando comparada as demais áreas de guaraná, cupuaçu e floresta (Tabela 2). Quando analisada a respectiva classe na profundidade de 0,10-0,20 m, foi possível observar que os resultados seguiram a mesma tendência da profundidade de 0,05-0,10, com a área de urucum apresentando maior valor em relação as demais áreas estudadas (Tabela 3). Possivelmente as raízes da planta de urucum a qual tinha apenas 3 anos de cultivo aceleraram a agregação do solo nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Estudos destacam que este processo ocorre tanto pela liberação de exsudados orgânicos que servem de energia para a atividade microbiana, como pela sua atuação na aproximação das partículas minerais pelas pressões exercidas durante seu crescimento e na absorção de água, favorecendo a coesão entre as partículas do solo (CASTRO FILHO et al., 1998; PALMEIRA et al., 1998). No geral a porcentagem de agregados na classe $> 2,00$ mm, apresentou valores acima de 80% aferindo maior resistência à desagregação, resultados que corroboram com os encontrados por Soares et al. (2018).

Ao analisar os agregados da classe de 2,0-1,0 mm na profundidade 0,00-0,05 mm

(Tabela 1), encontrou-se maior porcentagem nos solos sob as áreas de cupuaçu e floresta nativa. As possíveis explicações para esse efeito, pode estar relacionado aos elevados teores de carbono orgânico encontrados nestas áreas na profundidade superficial. Tal explicação foram relatados por Campos et al. (2012) e Soares et al. (2018), ambos destacaram os altos teores da Matéria Orgânica e estabilização dos agregados do solo em profundidade superficial. Na profundidade 0,05-0,10 mm os resultados da presente classe para as áreas de guaraná, cupuaçu e floresta exibiram ocorrência de maior homogeneidade, diferindo estatisticamente da área de urucum (Tabela 2). Provavelmente tal fato pode estar relacionado a manutenção de elevados teores de carbono orgânico nesta profundidade.

Na classe < 1,0 mm, as maiores porcentagens dos agregados estáveis em água foram observadas na área de cupuaçu com 7,68% para profundidade 0,00-0,05 mm, área de guaraná com valor de 11,1% na profundidade 0,05-0,10 mm, já na profundidade de 0,10-0,20 mm as áreas de guaraná com 17,1% e cupuaçu com 18,1% não apresentaram diferença significativa entre si pelo teste Tukey. Para a mesma classe, observou-se que a área de urucum apresentou menor porcentagem dos agregados estáveis em água para todas as profundidades estudadas.

Quando analisados os resultados de fração granulométrica observou-se que para o atributo areia na profundidade 0,00-0,05 mm as áreas de guaraná e urucum não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 1). Já nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m a área de urucum apresentou diferença significativa em relação as áreas de guaraná, cupuaçu e floresta (Tabela 2 e 3). Ao analisar o silte, foi possível observar maiores valores nas áreas de floresta com valores variando de 483,5 a 467,0 g kg⁻¹, com exceção da profundidade 0,00-0,05 mm na qual as áreas de cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa entre si. Quando se avaliou os valores de argila, observou que as áreas de guaraná, cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa entre si, no entanto as respectivas áreas diferiram da área de urucum na profundidade 0,00-0,05 mm. Já na profundidade 0,05-0,10 m as áreas de urucum

e cupuaçu apresentaram maiores valores quando comparadas às áreas de guaraná e floresta, em seguida ao analisar os resultados na profundidade 0,10-0,20 m, as áreas de cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa entre si. No geral os teores de areia, silte e argila caracterizaram-se como de textura média para todas as profundidades avaliadas.

Quando analisados os resultados de grau de floculação (GF) na profundidade de 0,00-0,05 m observou-se que as áreas guaraná, urucum e floresta não apresentaram diferenças significativas entre si pelo teste Tukey, tais resultados se mantiveram entre 72,9 a 78,9%, com exceção da área de cupuaçu que apresentou 66,6% (Tabela 1). Tais resultados são similares aos resultados encontrados quando se avaliou a classe de agregados > 2,00 mm, possivelmente em virtude do GF influenciar diretamente as partículas do solo (Santos et al., 2010). No mesmo sentido do ponto de vista agrícola, segundo Lemos & Silva (2005) a floculação é importante para o controle da erosão, já que propicia a formação de agregados estáveis ou grânulos.

Ao se avaliar os resultados nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m notou-se que as respectivas áreas não apresentaram diferenças significativas entre si, com exceção da área de cupuaçu na profundidade 0,10-0,20 m, a qual apresentou menor valor em relação as demais áreas avaliadas (Tabela 2 e 3). No geral, em todas as áreas estudadas observou-se uma tendência de diminuição do GF em profundidade, resultados semelhantes foram encontrados por Vicente et al. (2012).

Quando analisados os resultados relacionados ao grau de dispersão (GD), foi possível observar que as áreas estudadas não apresentaram diferenças significativas entre si, pelo teste Tukey em todas as profundidades analisadas. A única exceção foi observada para área de floresta na profundidade de 0,10-0,20 m, a qual apresentou menor grau de dispersão em relação as áreas de guaraná, urucum e cupuaçu (Tabela 3). Tomando como base os presentes resultados, estudos destacam que normalmente os solos com alto grau de floculação (GF) e baixo grau de dispersão (GD), se relacionam com melhores condições físicas do solo (VASCONCELOS et

al., 2013), além de mencionarem que ambos atributos são inversamente proporcionais (VICENTE et al., 2012).

Adotando-se os critérios propostos por Warrick e Nielsen (1980), que consideram os valores do coeficiente de variação abaixo 12% como baixa variabilidade, entre 12% e 60% como média variabilidade e valores acima 60% como alta variabilidade. Foi possível afirmar com base nos valores de (CV%) encontrados, que os atributos estudados apresentaram de baixa à média variabilidade para todas as áreas e profundidades estudadas, com exceção da classe de 2,0-1,0 mm na profundidade 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 mm na área de floresta.

Os ajustes do semivariogramas experimentais e análise de dependência espacial estão apresentados nas figuras 2, 3 e 4. Foi possível observar através dos resultados que os atributos apresentaram dependência espacial, ajustando-se, predominantemente, aos modelos exponencial e esférico, com valores de R^2 e VC acima de 0,73 e 0,70, respectivamente. As exceções ocorreram na área de cupuaçu para os atributos EC e argila na profundidade 0,00-0,05 m, CO e classes de agregados > 2 mm na profundidade 0,05-0,10 m, além de EC na profundidade 0,10-0,20 m, para área de floresta a exceção se deu para a variável DMG na profundidade 0,10-0,20 m, no geral ambos atributos produziram efeito pepita.

Outras exceções ocorreram também na área de cupuaçu, porém apresentando efeito pepita puro, isso para as variáveis silte na profundidade 0,00-0,05 m, classes de agregados 2-1 mm na profundidade 0,05-0,10 m e areia na profundidade 0,10-0,20 m. Após observação e análise dos resultados é possível aferir para as respectivas variáveis, ausência de dependência espacial, de modo que a distância utilizada entre os pontos amostrados não detectou a dependência espacial para as profundidades e respectivas áreas estudadas.

Ao analisar os resultados do grau de dependência espacial (GDE), expresso pela razão entre o efeito pepita e o patamar, seguindo a classificação de Cambardella et al. (1994), observou-se que os atributos se mostraram nos limites do grau de dependência espacial (GDE),

variando entre dependência moderada a forte. Tais resultados corroboram com os encontrados por Alho et al. (2014), os mesmos avaliando a variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo no Amazonas. Através dos resultados, foi possível observar maiores GDE para o DMG na área de urucum com 58% e floresta 63,1% respectivamente na profundidade de 0,00-0,05 (Figura 2). Na profundidade 0,05-0,10 m, o maior GDE foi observado para os atributos Silte e IEA, com 53,8% e 54,5% respectivamente, na área de guaraná e urucum (Figura 3). Já na profundidade 0,10-0,20 m, os maiores valores ocorreram para os atributos DMP e classes de agregados > 2 mm, ambos na área de guaraná (Figura 4).

O alcance é um parâmetro da geoestatística que tem servido de subsídio em planejamentos amostrais, uma vez que é a distância limite da dependência espacial (Vieira et al., 2011; Soares et al., 2018). Com base aos resultados, observou-se que os atributos apresentaram diferentes valores de alcance, de modo que os menores valores foram observados na área de cupuaçu, para os atributos argila na profundidade 0,00-0,05 m, DMG na profundidade 0,05-0,10 m e classes de agregados > 2 mm na profundidade de 0,10-0,20 m, nos intervalos de 5,9 m a 9,8 m, fato que indica que estes atributos apresentaram distribuição dos valores de dependência espacial menos prolongada, ao longo da área de estudo. Os valores de alcance para os demais atributos, levando em consideração todas as áreas estudadas ficaram em torno de 10 a 89,9 m.

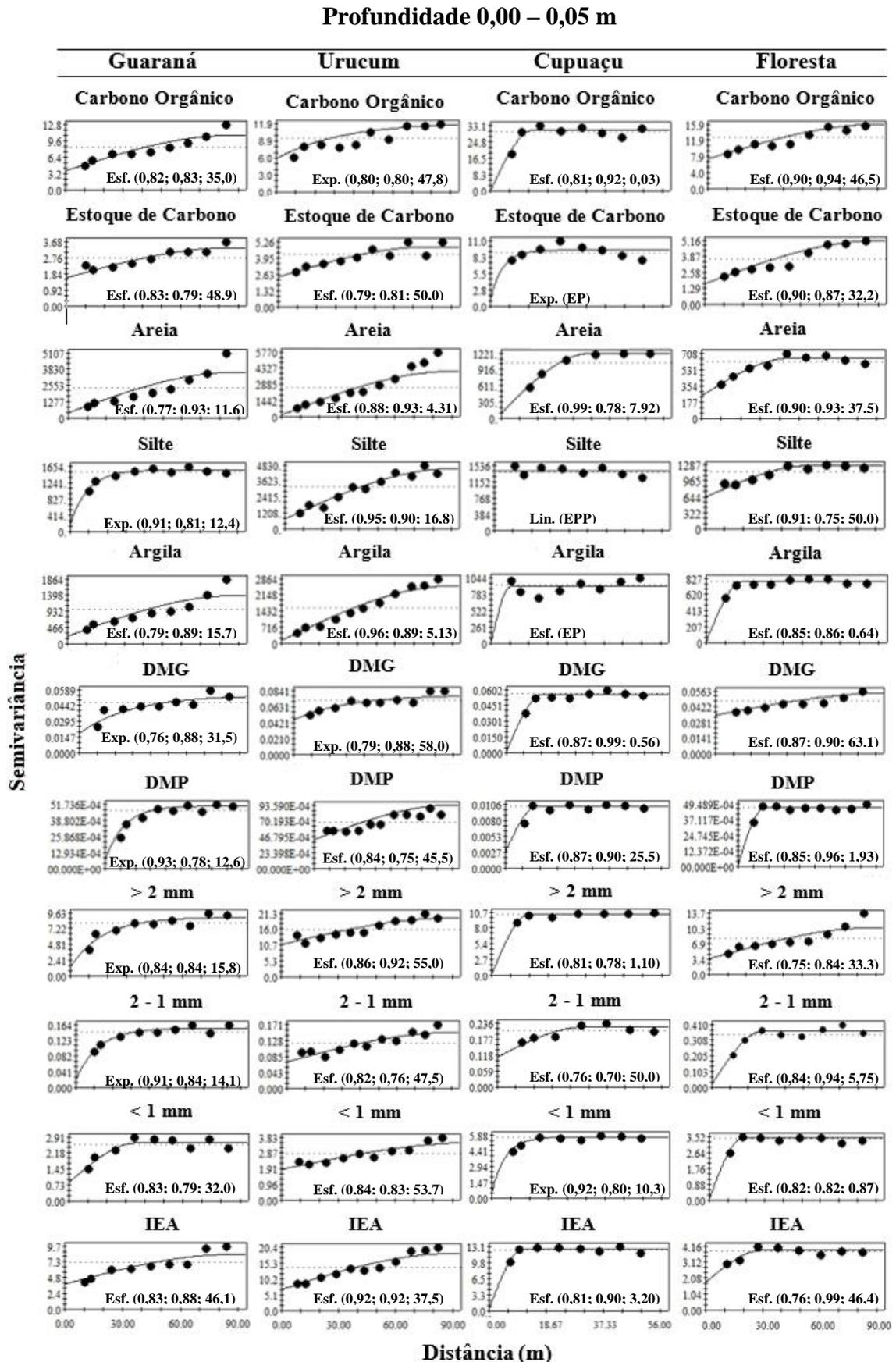


Figura 2: Semivariogramas ajustados aos atributos na profundidade 0,00 a 0,05 cm, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM. Modelo (R^2 , VC e GDE).

Profundidade 0,05 – 0,10 m

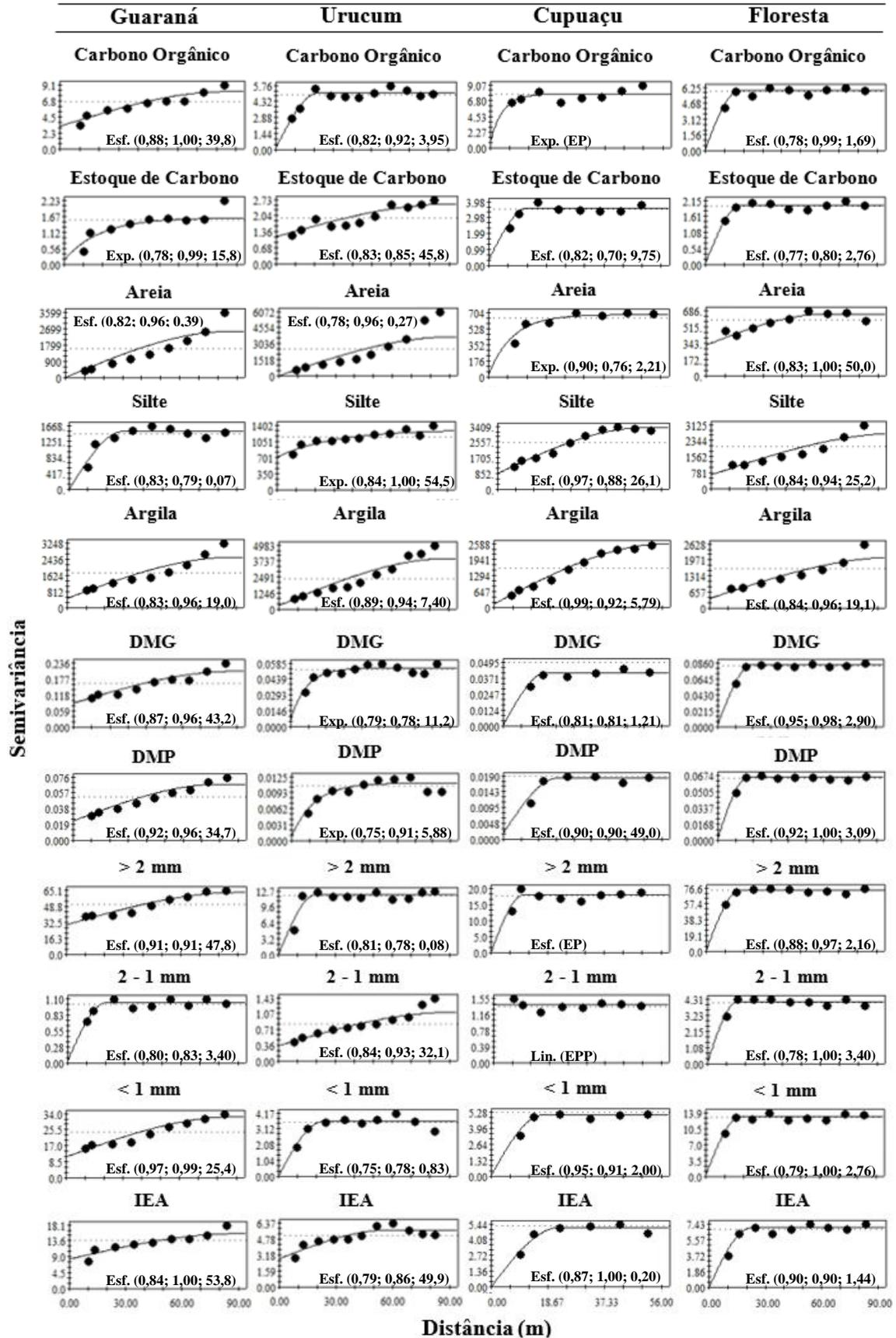


Figura 3: Semivariogramas ajustados aos atributos na profundidade 0,05 a 0,10 cm, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM. Modelo (R^2 , VC e GDE).

Profundidade 0,10 – 0,20 m

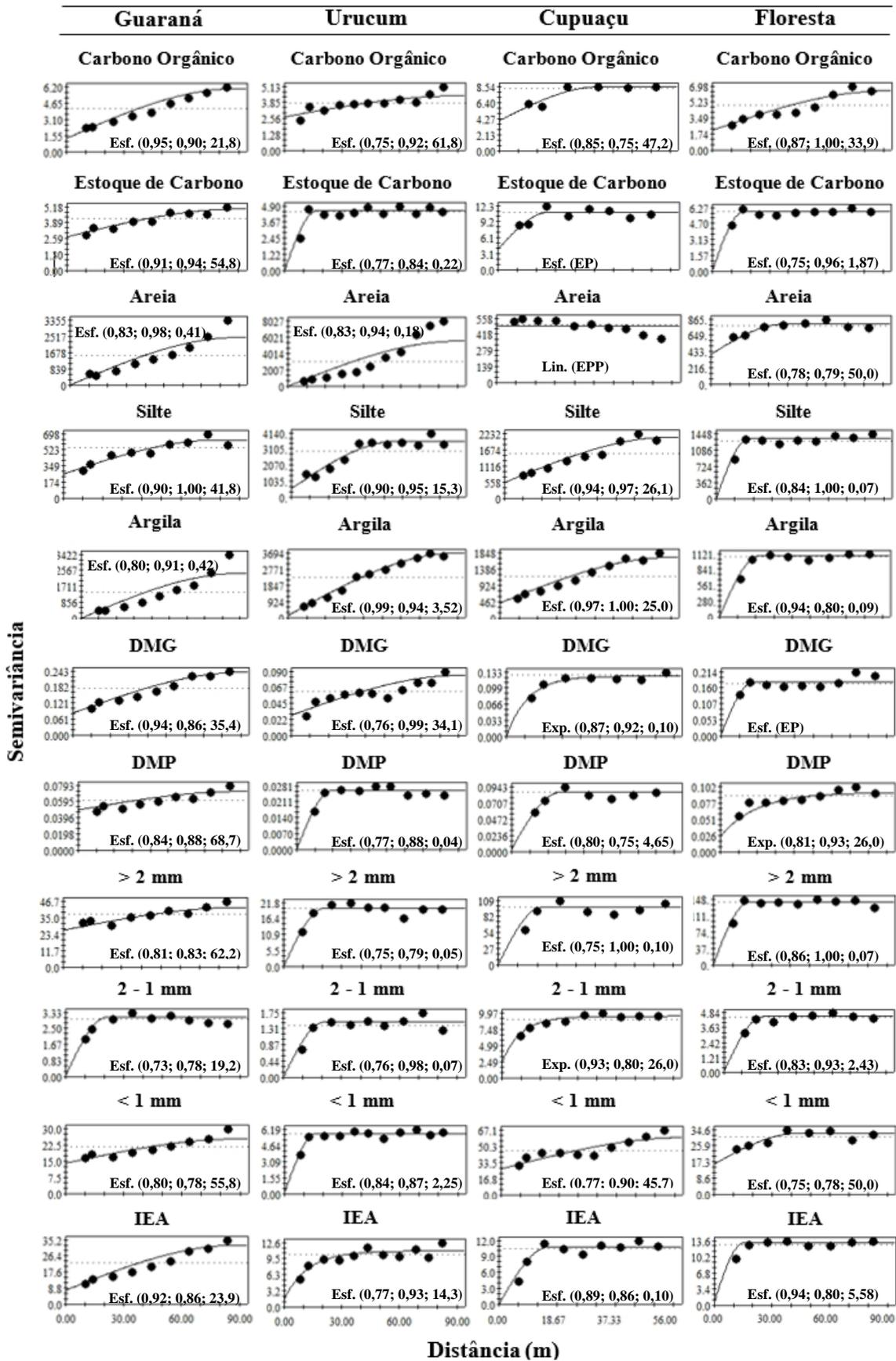


Figura 4: Semivariogramas ajustados aos atributos na profundidade 0,10 a 0,20 cm, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM. Modelo (R², VC e GDE).

Na análise multivariada, foi possível observar os atributos do solo que sofreu maior alteração quando ao uso do solo, em comparação ao solo sob floresta. A adequação da análise fatorial mostrou-se significativo (KMO igual a 0,76 e $p < 0,05$ para o teste de esfericidade de Barlett) para os atributos avaliados. Na análise de componentes principais (ACP), o número de fatores a ser extraído foi estabelecido de forma a explicar acima de 70% da variância total dos dados (Tabela 4 e Figura 5), que apresentaram autovalores da matriz de covariância superior a um (1) (Manly, 2008), com 4,90 na CP1 e 3,31 na CP2. Em relação ao percentual da variância explicada, observou-se que a CP1 foi responsável por 45,59% da variância total, enquanto que a CP2 foi responsável por 28,99%.

Tabela 4. Correlação entre cada componente principal e variáveis analisadas e análise fatorial dos atributos do solo com os fatores rotacionados (Varimax) (Fator 1 e 2) correspondentes as áreas com diferentes usos no Sul do Amazonas - AM.

Atributos	Variância comum	Fatores	
		CP1	CP2
CO	0,78	0,08	0,84*
EC	0,73	0,02	0,75*
Areia	0,95	0,16	-0,90*
Silte	0,90	-0,21	0,69*
Argila	0,85	0,01	0,73*
DMG	0,91	0,96*	-0,01
DMP	0,91	0,96*	-0,07
> 2 mm	0,87	0,94*	-0,12
2 - 1 mm	0,75	-0,81*	0,30
< 1 mm	0,80	-0,92*	0,09
IEA	0,76	0,77*	0,34
Variância explicada (%)		45,59	28,99

CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; > 2 mm (%): classe de agregados maior que 2 milímetros; 2 - 1 mm: classe de agregados entre 2 e 1 milímetros; < 1 mm (%): classe de agregados menor que 1 milímetros; IEA (%): índice de estabilidade de agregados.

Tanto o primeiro, quanto o segundo fator (Tabela 4) tem percentual de explicação para as características estruturais e granulométrica do solo. Assim, a discriminação entre os ambientes diz respeito a essas características, com CP1 representando as características de estabilidade dos agregados do solo (DMG, DMP e classes de agregados > 2 mm, $2 - 1$ mm e < 1 mm), enquanto a CP2 às características texturais e orgânicas (CO, EC, Areia, silte e argila).

Na Figura 5 está representado a análise de componentes principais, através da distribuição dos escores das diferentes áreas estudadas e da disposição das cargas fatoriais dos atributos do solo formado pelos PC1 e PC2.

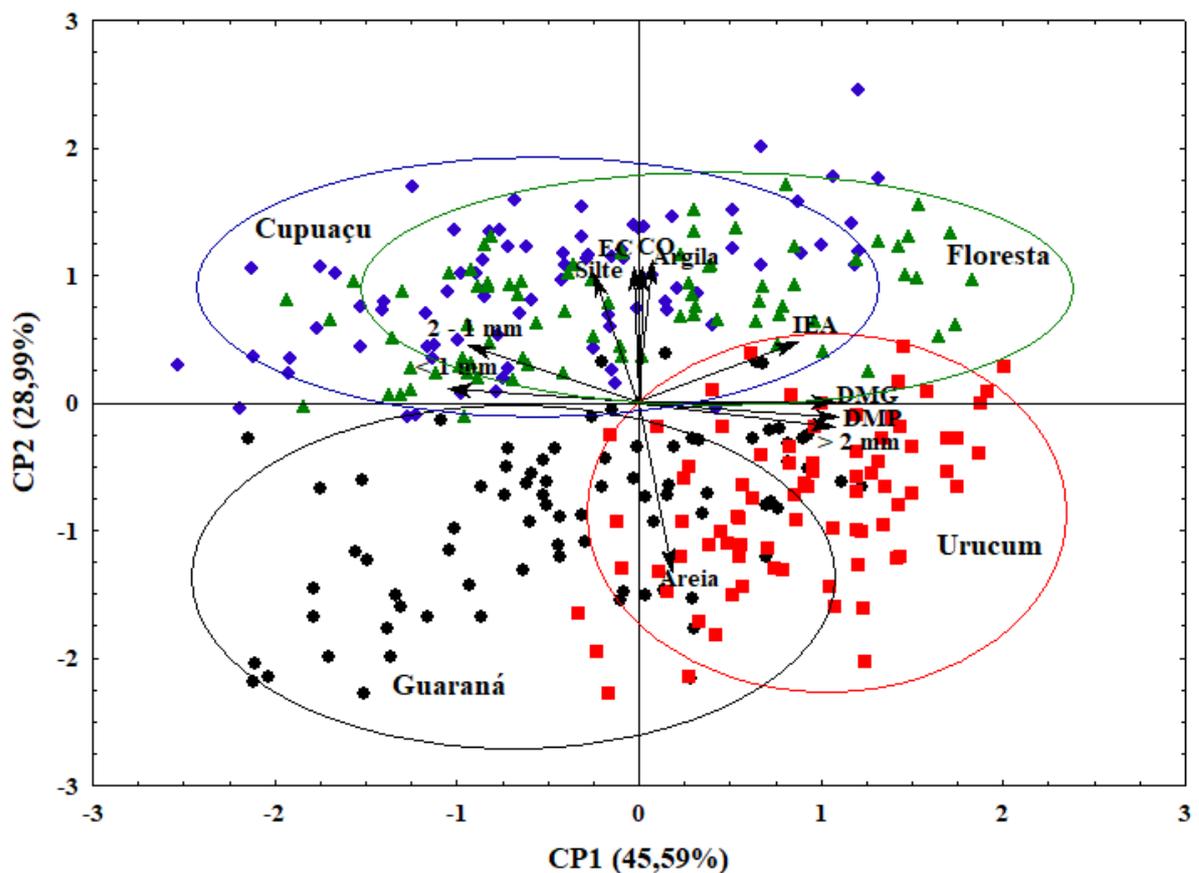


Figura 5: Análise de componentes principais dos atributos dos solos estudados na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM.

Com base nos resultados, foi possível observar maior adensamento dos escores da floresta e cupuaçu no primeiro e segundo quadrante, o que discrimina que ambas áreas obtiveram valores dos atributos CO, EC, silte, argila e classes de agregados 2 – 1 mm, < 1mm e IEA, acima da média. Por outro lado, a área cultivada com urucum apresentou-se mais distribuída no quarto quadrante, com atributos mais voltados para características estruturais, os mesmos apresentando valores acima da média, tal condição estruturante pode estar relacionada, ao tempo de cultivo da respectiva área. Fato inverso ocorreu na área cultivada com guaraná, onde se observou valores abaixo da média para os atributos que estão relacionados as condições estruturais do solo, como DMG, DMP e classes de agregados > 2 mm.

7.4 CONCLUSÕES

Áreas cultivadas com cupuaçu, após processo de conversão pode apresentar o mesmo teor de CO e EC ou até mesmo superar as áreas de florestas nativas.

O processo de conversão influenciou o estado de agregação do solo, avaliado pelo aumento da dispersão da fração argila e diminuição dos valores DMP, DMG e classes de agregados > 2 mm.

Os atributos avaliados nas respectivas áreas estudadas se mostraram nos limites do grau de dependência espacial, apresentando dependência variando entre moderada a forte.

Na análise multivariada, as áreas de floresta e cupuaçu apresentaram comportamentos semelhantes, com valores de CO, EC, silte, argila e classes de agregados 2 – 1 mm, < 1mm e IEA, acima da média.

7.5 REFERÊNCIAS

- ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 246-254, 2014.
- ALVARENGA, R. C.; FERNANDES, B.; SILVA, T. C. A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palha do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 2, p.273-277, 1986.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil** - Folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561p.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-11, 1994.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 2, p.339-348, 2016.
- CAMPOS, M.C.C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@mbiente**, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p.527-538, 1998.
- CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MORAES, M.H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n. 2, p.263-272, 2009.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.
- COX, P. M., R. A. BETTS, C. D. JONES, S. A. SPALL, AND I.J. TOTTERDELL, Acceleration of global warming due to carbono cycle feedbacks in a coupled climate model, *Nature*, v. 408, n. 6809, p. 184-187, 2000.
- CUNHA, J. M.; GAIO, D. C.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; LIMA, A. F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta

Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**. v. 12 n. 2, p. 263-281, 2017.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Revisada. Embrapa Solos Rio de Janeiro, 353p. 2013.

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

FREITAS, L., CASAGRANDE, J. C., OLIVEIRA, I. A., CAMPOS, M. C. C., SILVA, L. S. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 1, p.17-26, 2015.

FRIEDLINGSTEIN, P.; COX, P.; BETTS R.; BOPP, L.; BLOH, W.; BROVKIN, V.; CADULE, P.; DONEY, S.; EBY, M.; FUNG, I.; BALA, G.; JOHN, J.; JONES, C.; JOOS, F.; KATO, T.; KAWAMIYA, M.; KNORR, W.; LINDSAY, K.; MATTHEWS, H.D.; RADDATZ, T. Climate-carbon cycle feedback analysis: Results from the (CMIP) - M-4 model intercomparison. **Journal of Climate**, v.19, p.3337-3353, 2006.

HOU X.Q.; LI R.; JIA Z.K.; HAN Q.F.; YANG B.P.; NIE J.F. Effects of rotational tillage practices on soil structure, organic carbon concentration and crop yields in semi-arid areas of northwest China. **Soil Use Manage**, v. 28, n. 4, p.551-558, 2012.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A., EVANS, D. D., WHITE, J. L., ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E., eds. **Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison, American Society of Agronomy, p. 499-510. (Agronomy Series, 9), 1965.

LEMOS, C.F. de; SILVA, E.T. da. Comparação das características morfológicas, mineralógicas, químicas e físicas do solo entre áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v.3, n.1, p. 11-18, 2005.

MANLY, B.J.F. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; GOMES, R. P.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 2, p. 122-130, 2015.

OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; FREITAS, L.; SOARES, M.D.R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015.

OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; ROSSETTI, K. V.; FERRAUDO, A. S.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. S.; BÁRBARO JÚNIOR, L. S. Qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 604-612, 2013.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.2, p.189-195, 1999.

SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v.26, n. 6, p.940-947, 2010.

SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 4, p. 543–548, 2007.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; CAMPOS, M. C. C.; AMORIM, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró, RN, com o uso de análise multivariada. **Ambiência**, v. 6, n. 2, p. 261-270, 2010.

SIX, L.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society American Journal**, v.64, p.1042-1049, 2000.

SOARES, M.D.R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. C.; MANTOVANELLI, B. C.; OLIVEIRA, I. A.; BRITO FILHO, E. G.; LEITE, A. F. L. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 2. p. 125-133, 2018.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA R.B.; BARBOSA, R.S.; ARAÚJO, F. S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p.135-146, 2014.

VASCONCELOS, R. R. A.; BARROS, M. F. C.; SILVA, Ê. F. F.; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. P. B.; SILVA, N. M. L. Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1318–1325, 2013.

VIEIRA, S. R. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 185-195, 2011.

VICENTE, T. F. S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; e SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1215–1222, 2012.

WARRICK A.W.; NIELSEN D.R. 1980. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, USA. p.344.

WENDLING, B. et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do Cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 256-265, 2012.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p.1467-1476, 1988.

8. CAPÍTULO IV: AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS NA ERODIBILIDADE DO SOLO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA NATIVA EM ÁREAS DE CULTIVO COM ESPÉCIES AMAZÔNICAS.

RESUMO

No Brasil, ainda são relativamente poucos os estudos envolvendo erodibilidade do solo, principalmente em áreas que sofreram processo de conversão de floresta nativas em áreas agrícolas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os impactos na erodibilidade do solo sob conversão de floresta nativa em áreas de cultivo com guaraná, urucum e cupuaçu no sul do Amazonas. Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo, seguida foram coletadas amostras nos pontos de cruzamento das malhas, na profundidade de 0,00-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área. Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada em forma de torrão na profundidade avaliada para determinação da textura do solo e carbono orgânico, perfazendo um total de 320 amostras nas quatro áreas avaliadas. As áreas cultivadas com guaraná e urucum apresentaram maior predisposição do solo a sofrer erosão em sulcos ($K_{r_{wepp}}$) e entressulcos ($K_{i_{wepp}}$). As áreas de cupuaçu e floresta, apresentaram elevados valores de silte, favorecendo condições de erodibilidade (fator K), em contrapartida as mesmas evidenciaram elevados valores de tensão crítica de cisalhamentos, fato que sinaliza resistência ao início do processo erosivo; A geoestatística de forma integrada com a análise multivariada auxiliou na compreensão do comportamento dos fatores da erodibilidade, após o processo de conversão floresta nativa/áreas cultivadas.

Palavras-chave: erosão do solo; multivariada e geoestatística; variabilidade espacial.

8. CHAPTER IV: EVALUATION OF IMPACTS ON SOIL ERODIBILITY UNDER NATIVE FOREST CONVERSION IN CULTIVATION AREAS WITH AMAZON SPECIES.

ABSTRACT

In Brazil, there are still relatively few studies involving soil erodibility, especially in areas that have undergone native forest conversion processes in agricultural areas. The present work had as objective to evaluate the impacts on soil erodibility under conversion of native forest in areas of cultivation with guaraná, urucum and cupuaçu in the south of Amazonas. Meshes were established according to the size of the crop, followed by sampling at the crossing points of the meshes, at a depth of 0.00-0.20 m, with 80 sample points in each area. At each sampling point, were collected sample with a structure preserved clod-shaped were collected in the depth evaluated, for determination of soil texture and organic carbon, for a total of 320 samples in the four evaluated areas. The areas cultivated with guaraná and urucum presented greater predisposition of the soil to erosion in furrows (Krwepp) and entressulcos (Kiwepp). The areas of cupuaçu and forest presented high silt values, favoring erodibility conditions (factor K); In contrast, they showed high values of critical strain of shear, fact that signal resistance to the beginning of the erosive process; Geostatistics integrated with the multivariate analysis helped to understand the behavior of the erodibility factors, after the process of native forest / cultivated areas conversion.

Key words: soil erosion; multivariate and geostatistics; spatial variability.

8.1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo é considerada a forma mais prejudicial de degradação e o principal causador de insustentabilidade nos sistemas de produção agrícola em escala global (BERTOL et al., 2004; WANG et al., 2016). Fato que tem contribuído para essa insustentabilidade é a substituição de áreas florestadas por áreas cultivadas sem adoção de critérios técnicos, o que vem causando grandes mudanças nas características do solo que tornam os solos suscetíveis à erosão e degradação (SZILASSI et al., 2006).

Estudos científicos vêm demonstrando a magnitude da degradação das florestas na Amazônia Brasileira após processo de conversão (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010; SOUZA-JUNIOR et al., 2013; FREITAS, et al., 2015), bem como os impactos e alterações sobre a biodiversidade e os serviços ecológicos ou ecossistêmicos (MOURA et al., 2013; BERENGUER et al., 2014), além de trazer alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos, acarretando efeitos sobre a qualidade ambiental da área (WANG et al., 2013).

A erodibilidade (fator K) é uma das variáveis da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) que expressa, quantitativamente, a suscetibilidade do solo à erosão hídrica. A mesma representa um fator importante na estimativa das perdas de solo por erosão, fator este que se caracteriza por ser uma expressão da combinação de atributos do solo, os quais possibilitam sua estimativa por meio de equações (SÁ et al., 2004; TALESHEAN JELOUDAR et al., 2018). O valor de erodibilidade é muito variável, devido à ampla variedade de solos com atributos diferenciados, tornando arriscado estimar um valor, com base, unicamente, na classificação do solo (MARTINS et al., 2011; SCHICK et al., 2014).

Alguns autores têm destacado o uso de técnicas de geoestatística, como uma importante ferramenta para o estudo dos processos de erosão, dada a sua notória variabilidade espacial e temporal (WANG et al., 2001). Este método especialmente tem refletido a realidade, no caso da erodibilidade do solo (PARYSOW et al., 2001; WANG et al., 2009). Isto é muito apropriado

em situações onde os dados disponíveis consistem em variáveis relacionadas, porque as informações provem de uma variável com suporte da outra, reduzindo a margem de erro, podendo prever tudo das variáveis, sendo útil na estimativa da erodibilidade do solo, pois está dependente de muitas variáveis, como o conteúdo do carbono orgânico, textura do solo e permeabilidade (ARRAES et al., 2010). Neste sentido, poucos trabalhos têm explorado o estudo da variabilidade espacial dos atributos da erosão.

Uma opção de análise da variabilidade espacial dos atributos é aliar ao uso de técnicas de análise multivariada, uma vez que a mesma visa a redução dimensional do número de variáveis, à geoestatística. As análises multivariadas como a fatorial em componentes principais, são ferramentas que permitem condensar todas as informações contidas em um determinado número de variáveis originais em conjuntos menores, denominados fatores, cujas combinações lineares explicam o máximo da variância contida nas variáveis originais (HAIR et al., 2007). O objetivo do presente trabalho foi avaliar os impactos na erodibilidade do solo no processo de conversão de floresta nativa em áreas de cultivo com guaraná, urucum e cupuaçu no sul do Amazonas.

8.2 MATERIAL E MÉTODOS

8.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em duas propriedades rurais que fazem parte do Assentamento São Francisco localizado no município de Canutama, Amazonas, Brasil sob as coordenadas geográficas de referência (8° 13' 23'' S; 64° 00' 50'' W) e (8° 13' 25'' S; 64° 00' 23'' W), para ambas propriedades. Foram selecionadas quatro áreas, sendo três áreas sob diferentes cultivos: Urucum (*Bixa orellana* L.), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng) Schum), Guaraná (*Paullinia cupana* (Mart.) Ducke) e mais área de floresta (Figura 1).

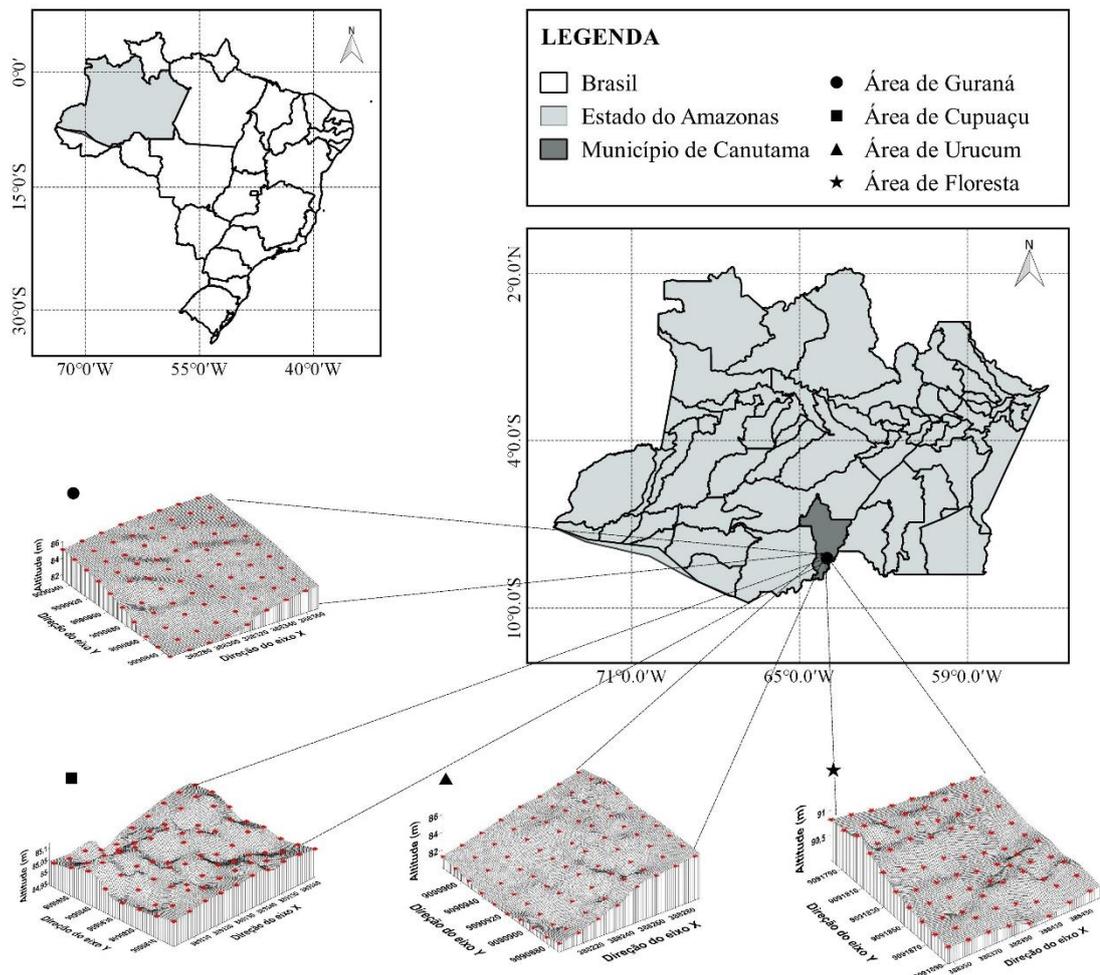


Figura 1. Localização e modelo de elevação digital das áreas com guaraná, cupuaçu, urucum e floresta, no município de Canutama, região sul do Amazonas.

O solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo localizados na Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos

aluviais recentes e antigos, do período Quaternário, caracterizadas pela presença de relevos tabulares de grandes dimensões, definidos por talvegues de aprofundamento muito fraco, isto é, o relevo apresenta declives muito suaves, e a drenagem natural é deficiente (EMBRAPA, 2013). No que se refere à caracterização climática, o clima da região é Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média parcial varia entre 2250 e 2750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro e junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25 e 27° C e a umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

Foram selecionadas quatro áreas com diferentes sistemas de usos tradicionais, afim de avaliar possíveis impactos na erodibilidade do solo, através de áreas que sofreram processo de conversão de floresta em áreas cultivadas com guaraná, urucum e cupuaçu. No processo de conversão floresta para cultivo agrícolas, as respectivas áreas sofreram processo de derrubada e queima da floresta, com realização de destoca manual para limpeza da área no primeiro ano de cultivo. Atualmente as áreas de guaraná e cupuaçu possuem 7 anos de cultivo, já a área de urucum possui apenas de 3 anos de efetivo cultivo. A área de floresta escolhida como testemunha nesse processo de conversão é caracterizada como floresta tropical Ombrófila densa, cujo a vegetação é perenifólia caracterizada pela presença de fanerófitos (plantas cujas gemas de renovação se encontram a mais de 25 cm do solo), além de ser constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 a 50 metros de altura.

8.2.2 Metodologia de Campo

Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo. Nas áreas de guaraná e floresta foram estabelecidas malhas 90 x 70 m com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 x 10 m, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m com espaçamento entre os pontos amostrais de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. As amostras foram coletadas nos pontos de cruzamento das malhas, na profundidade de 0,00-0,20

m, com 80 pontos amostrais em cada área. Os pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin modelo Etrex (*Datum South American '69*).

Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada em forma de torrão na profundidade avaliada para determinação da textura do solo e carbono orgânico, perfazendo um total de 320 amostras nas quatro áreas avaliadas. As amostras foram secas à sombra e levemente destorroadas, de forma manual, passado as mesmas em peneira de 4,76 mm de diâmetro de malha, separando-se o material retido na peneira de 2,00 mm para as análises de textura do solo e carbono orgânico.

8.2.3 Análises em Laboratório

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 min, seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (2011). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte foi calculado pela diferença. Para fins de fracionamento da areia, foram utilizadas peneiras comuns com malhas de 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,250mm, 0,125mm e 0,053mm, as quais foram agitadas durante 3 (três) minutos utilizando-se de um Agitador de Peneiras, modelo SOLOTEST com reostato digital marcador de tempo e frequência.

O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por YEOMANS e BREMNER (1988). Já a matéria orgânica foi determinada pelo produto do CO pelo fator 1,724.

8.2.4 Determinação dos Fatores de Erodibilidade (K , K_i , K_r) e Tensão Cisalhante (T_c)

Para estimativa da erodibilidade, foram utilizados modelos indiretos de predição, onde os mesmos estimam os valores dos fatores erodibilidade por meio de equações que envolvem os valores dos atributos do solo analisados em laboratório. Assim, no presente trabalho foram

utilizados os modelos USLE (Universal Soil Loss Equation) e WEPP (Water Erosion Prediction Project) para determinação dos fatores condicionantes da erosão nas áreas em estudo.

Para o cálculo da erodibilidade global do solo da USLE (fator K_1 , $t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha\ h$) foi utilizada a equação proposta por Denardin (1990) (Eq. 1):

$$K = 7,48 \times 10^{-6} M + 4,48059 \times 10^{-3} p - 6,31175 \times 10^{-2} X27 + 1,039567 \times 10^{-2} X32 \quad (1)$$

em que:

Novo silte = silte + areia muito fina, %;

Nova areia = areia muito grossa + areia grossa + areia média + areia fina, %.

M = novo silte x (novo silte + nova areia);

p = permeabilidade, segundo Wischmeier et al. (1971) (Tabela 1);

$X27 = [(0,002 \times \text{argila, \%}) + (0,026 \times \text{silte, \%}) + (0,075 \times \text{areia muito fina, \%}) + (0,175 \times \text{areia fina, \%}) + (0,375 \times \text{areia média, \%}) + (0,75 \times \text{areia grossa, \%}) + (1,5 \times \text{areia muito grossa, \%})] / (\text{argila, \%} + \text{silte, \%} + \text{areia, \%})$

$X32 = \text{nova areia} \times (\text{Matéria Orgânica, \%}/100)$.

Tabela 1. Classes textural e Classes de permeabilidade do solo.

Classe textural ¹	Classe de permeabilidade ²	Permeabilidade
Muito argilosa, Argilosa e Argilo-siltosa	6	Muito lenta
Franco-argilo-siltosa e Argilo-arenosa	5	Lenta
Franco-argilo-arenosa e Franco-argilosa	4	Lenta e moderada
Franca, Franco-siltosa e Siltosa	3	Moderada
Areia-franca e Franco-arenosa	2	Moderada e rápida
Arenosa	1	Rápida

Fonte: ¹United States Department of Agriculture (1983); ²Wischmeier et al. (1971).

Para o cálculo da erodibilidade em entressulcos do modelo Wepp (K_i , $kg\ s\ m^{-4}$) foram utilizadas as equações propostas por Flanagan e Livingston (1995) (Eq. 2 e 3):

$$K_i \text{ WEPP} = 2728000 + 192100 \text{ AMF}, \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (2)$$

$$K_i \text{ WEPP} = 6054000 - 55130 \text{ ARG}, \quad \text{areia} < 30\% \quad (3)$$

em que:

AMF = percentual de areia muito fina, (%);

ARG = percentual de argila, (%).

Para calcular a erodibilidade em sulcos (K_r , s m^{-1}) e a tensão cisalhante (T_c , N m^{-2}) do modelo Wepp foram utilizadas as equações propostas por Flanagan & Livingston (1995) (Eq. 4, 5, 6 e 7):

$$K_r \text{ WEPP} = 0,00197 + 0,00030 \text{ AMF} + 0,03863 e^{(-1,84 \text{ MO})} \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (4)$$

$$T_c \text{ WEPP} = 2,67 + 0,065 \text{ ARG} - 0,058 \text{ AMF} \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (5)$$

$$K_r \text{ WEPP} = 0,0069 + 0,134 e^{(-0,20 * \text{ARG})} \quad \text{areia} < 30\% \quad (6)$$

$$T_c \text{ WEPP} = 3,5 \quad \text{areia} < 30\% \quad (7)$$

em que,

AMF = percentual de areia muito fina, %;

e = base dos logaritmos neperianos;

MO = percentual de matéria orgânica do solo, %;

ARG = percentual de argila, %.

8.2.5 Análises Estatísticas

Após a determinação dos atributos da erodibilidade, textura e matéria orgânica do solo, foram feitas a estatística descritiva, assim como análise estatística univariada e multivariada. Na estatística descritiva foram calculados os valores de média, mediana, desvio padrão,

variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose, mínimo e máximo das variáveis. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no software estatístico Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para comparar médias dos atributos individualmente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o software SPSS 21 (SPSS Inc., 2001). Em seguida foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA), através da análise fatorial, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos avaliados que mais discriminam os ambientes, tendo como referência a área sob floresta, objetivando ter como resposta os atributos que sofrem maior influência nas respectivas áreas estudadas.

A adequação da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Barlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi feita pelas componentes principais (ACP), incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco (5.0). A escolha do número de fatores a ser utilizados foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superior a 1). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (*Varimax*) dos fatores e representada em um plano fatorial das duas componentes.

A análise geoestatística foi realizada com base no semivariograma experimental, estimado pela equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

em que:

$\hat{\gamma}(h)$ o valor da semivariância para uma distância h ; $n(h)$ o número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ o valor do atributo Z na posição x_i ; e $Z(x_i + h)$ o valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, foi utilizada a classificação de Cambardella et al. (1994), em que as propriedades do solo são consideradas com dependência espacial forte se a razão do efeito pepita (C0) em relação ao patamar (C0+C1) for menor que 25%. Se a razão estiver entre 26 a 75%, a dependência espacial é considerada moderada, enquanto que, se a propriedade do solo for maior que 75% a aproximadamente 95%, classificam-se como dependência espacial fraca.

Os modelos do semivariograma para os atributos estudados foram estimados pelo Software GS+ 7.0 (GAMMA DESIGN, 2004). O ajuste dos semivariogramas foram feitos com base no melhor coeficiente de determinação (R^2) e máximo coeficiente de correlação (r) da validação cruzada. Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado o programa Surfer 13. A correlação de Pearson foi utilizada para avaliar a força e direção da correlação dos mapas do padrão de distribuição dessas variáveis.

8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva, assim como análise de variância para os atributos da erodibilidade avaliados em áreas cultivadas com guaraná, urucum e cupuaçu em comparação com a área de floresta estão apresentadas nas tabela 2, para a profundidade 0,00-0,20 m. Através dos resultados observou-se que todos os atributos avaliados apresentaram valores de média e mediana muito próximos, indicando que os mesmos possuem distribuição normal, além de distribuições simétricas com valores dos atributos próximos à zero. Já o coeficiente de curtose, boa parte dos atributos apresentaram valores negativos, tal fato evidencia uma distribuição platicúrtica, ou seja, distribuição de picos mais achatados que a distribuição normal (JONGMAN et al., 2000). Os respectivos resultados encontrados foram semelhantes aos encontrados por Cunha et al. (2017).

Quanto aos resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov, os mesmos indicaram normalidade para todos os atributos da erodibilidade avaliados na profundidade 0,00-0,20 m. Em relação aos valores extremos (máximos e mínimos), observou-se valores propínquos para as variáveis em estudo.

Adotando-se os limites de coeficiente de variação (CV%) propostos por Warrick e Nielsen (1980), que consideram os valores do coeficiente abaixo 12% como baixa variabilidade, entre 12% e 60% como media variabilidade e valores acima 60% como alta variabilidade. Foi possível afirmar com base nos valores de (CV%) encontrados, que os atributos da erodibilidade apresentaram baixa variabilidade para a maioria dos atributos estudados, com exceção da MO nas áreas de guaraná, cupuaçu e floresta, atributo argila nas áreas de guraná e urucum, além do fator Kr_{wepp} na área de urucum, aos quais apresentaram média variabilidade conforme os limites estabelecidos.

Tabela 2. Teste de média e estatística descritiva dos atributos da erodibilidade do solo na profundidade de 0,00-0,20 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.

Estatística Descritiva	MO	Areia	Silte	Argila	Fator K	K _{iwepp}	K _{rwepp}	T _{cwepp}
	g kg ⁻¹	-----t ha ⁻¹ -----			t ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹ ha h	kg s m ⁻⁴	s m ⁻¹	N m ⁻²
Guaraná								
Máximo	29,10	462,93	467,20	282,67	5,29 x10 ⁻²	7,10 x10 ⁷	1,03 x10 ⁻²	3,67
Mínimo	12,77	307,53	378,60	120,00	4,30 x10 ⁻²	5,52 x10 ⁷	6,98 x10 ⁻³	2,36
Média	21,05 d	372,03 a	413,06 c	214,91 c	4,70 x10 ⁻² b	6,18 x10 ⁷ a	8,31 x10 ⁻³ a	3,03 b
Mediana	21,03	370,07	411,50	215,99	4,69 x10 ⁻²	6,15 x10 ⁷	8,28 x10 ⁻³	3,05
DP	3,18	37,86	20,75	33,63	2,12 x10 ⁻³	2,96 x10 ⁶	6,78 x10 ⁻⁴	0,25
Variância	10,14	1433,60	430,73	1131,19	1,00 x10 ⁻⁵	8,78 x10 ¹¹	0,00	0,06
CV (%)	15,13	10,17	5,02	15,65	4,51	4,79	8,16	8,15
Assimetria	-0,12	0,36	0,53	-0,49	0,48	0,56	0,68	-0,42
Curtose	0,00	-0,47	-0,36	-0,02	0,08	0,46	0,67	0,44
K-S	0,06*	0,06*	0,10*	0,09*	0,07*	0,07*	0,10*	0,09*
Urucum								
Máximo	29,34	303,13	302,93	158,67	4,15 x10 ⁻²	4,27 x10 ⁷	4,65 x10 ⁻³	2,35
Mínimo	17,73	481,80	457,67	305,33	5,56 x10 ⁻²	7,40 x10 ⁷	1,00 x10 ⁻²	3,87
Média	23,79 c	381,62 a	387,54 d	230,84 b	4,70 x10 ⁻² b	6,31 x10 ⁷ a	8,16 x10 ⁻³ a	3,08 b
Mediana	23,93	372,03	390,30	233,33	4,70 x10 ⁻²	6,68 x10 ⁷	8,60 x10 ⁻³	3,11
DP	2,62	44,94	34,40	35,86	2,93 x10 ⁻³	8,06 x10 ⁶	1,31 x10 ⁻³	0,34
Variância	6,87	2020,05	1183,16	1285,82	9,00 x10 ⁻⁶	6,50 x10 ¹¹	2,00 x10 ⁻⁶	0,12
CV (%)	11,01	11,78	8,81	15,53	6,23	12,77	16,11	11,09
Assimetria	-0,19	0,41	-0,19	-0,09	0,51	-0,56	-0,60	-0,15
Curtose	-0,61	-0,74	-0,49	-0,94	0,77	-0,99	-0,70	-0,55
K-S	0,07*	0,10*	0,05*	0,08*	0,10*	0,19*	0,15*	0,06*
Cupuaçu								
Máximo	45,45	230,53	373,40	217,20	4,39 x10 ⁻²	4,22 x10 ⁷	7,07 x10 ⁻³	-
Mínimo	20,87	318,87	537,07	333,20	5,78 x10 ⁻²	4,86 x10 ⁷	8,64 x10 ⁻³	-
Média	31,42 a	275,51 b	452,85 b	271,64 a	4,98 x10 ⁻² a	4,59 x10 ⁷ b	7,63 x10 ⁻³ b	3,5 a
Mediana	31,54	277,50	452,63	274,53	4,97 x10 ⁻²	4,59 x10 ⁷	7,54 x10 ⁻³	-
DP	5,04	20,54	34,25	25,33	2,91 x10 ⁻³	1,49 x10 ⁶	3,70 x10 ⁻⁴	-
Variância	25,42	421,84	1173,28	641,49	8,00 x10 ⁻⁶	2,21 x10 ¹¹	0,00	-
CV (%)	16,05	7,45	7,58	9,32	5,84	3,24	4,85	-
Assimetria	0,26	-0,17	0,27	0,13	0,40	-0,35	0,89	-
Curtose	0,36	-0,55	-0,20	-0,04	0,26	-0,37	0,30	-
K-S	0,07*	0,06*	0,08*	0,07*	0,07*	0,08*	0,13*	-
Floresta								
Máximo	35,55	196,87	434,35	212,00	4,38 x10 ⁻²	4,31 x10 ⁷	7,14 x10 ⁻³	-
Mínimo	18,55	284,27	558,07	316,00	5,73 x10 ⁻²	4,89 x10 ⁷	7,97 x10 ⁻³	-
Média	26,67 b	242,99 c	492,17 a	260,84 a	4,90 x10 ⁻² a	4,61 x10 ⁷ b	7,58 x10 ⁻³ b	3,5 a
Mediana	26,67	243,33	490,43	260,00	4,90 x10 ⁻²	4,62 x10 ⁷	7,63 x10 ⁻³	-
DP	3,40	19,98	26,33	23,04	2,64 x10 ⁻³	1,27 x10 ⁶	1,99 x10 ⁻⁴	-
Variância	11,58	399,09	693,30	530,79	7,00 x10 ⁻⁶	1,61 x10 ¹¹	0,00	-
CV (%)	12,76	8,22	5,35	8,83	5,39	2,75	2,63	-
Assimetria	0,38	-0,22	0,10	-0,14	0,40	0,14	-0,07	-
Curtose	0,35	-0,51	-0,41	-0,35	0,96	-0,35	-0,57	-
K-S	0,07*	0,06*	0,05*	0,06*	0,09*	0,06*	0,10*	-

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.

*Significativo a 5% de probabilidade; MO: Matéria orgânica; Fator K: erodibilidade global; K_{iwepp}: erodibilidade em entressulcos; K_{rwepp}: erodibilidade em sulcos; T_{cwepp}: Tensão cisalhante; (wepp: Projeto de previsão da erosão hídrica); Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Levando em consideração que o (CV%), indica a variabilidade dos dados em relação à média, e que quanto menor, mais homogêneo é o conjunto de dados, é possível aferir condição homogênea para os resultados encontrados no presente estudo. Segundo Frogbrook et al. (2002), valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados.

Quanto analisados os resultados da análise de variância (Tabela 2), por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), foi possível observar que os maiores valores de MO seguiram a sequência de cupuaçu > floresta > urucum > guaraná, de modo que as respectivas áreas apresentaram diferenças significativas. O alto valor de MO encontrado na área de cupuaçu, possivelmente estar associado à elevada cobertura vegetal proporcionada pelo aporte de resíduos provenientes da própria cultura adquirida ao longo dos 7 anos de cultivo, além da isenção de práticas intensivas no solo. Os presentes resultados são similares aos encontrados por Fontana et al. (2011), a qual verificaram-se maiores teores de MO em área cultivada com banana, associando tal resultado à incorporação dos restos culturais da cultura (folhas e pseudocaule) e do material roçado da própria área.

Quando analisados os resultados de fração granulométrica observou-se que para o atributo areia, as áreas de guaraná e urucum não apresentaram diferença significativa entre si pelo teste Tukey (Tabela 2). Provavelmente os altos valores de areia encontrados nas áreas de guaraná e urucum, pode ter relação com a topografia das respectivas áreas, fato que possivelmente favoreceu o carregamento pela enxurrada das partículas pequenas da fração mineral (argila) e matéria orgânica, as quais são preferencialmente transportadas pelo escoamento superficial. Neste sentido, estudos destacam que topografia do terreno tem uma influência acentuada nas perdas por erosão, especialmente em função do grau de declive e do comprimento de rampa (CAMPOS et al., 2008).

Mais recentemente, Cerdà et al. (2017) recomendaram a aplicação de coberturas de palha como um manejo eficiente do solo, em terras cultiváveis com acentuada declividade, visando redução do escoamento superficial e perda de solo. Estudo de Souza et al. (2019), afirmam que a cobertura vegetal produzida pelas plantas atua de forma a reduzir os efeitos deletérios da erosão, minimizando as perdas de nutrientes e carbono orgânico, em área sob elevada declividade.

Ao analisar os valores de silte, foi possível observar maiores valores nas áreas de floresta com valor em torno de $492,17 \text{ g kg}^{-1}$, a mesma apresentando diferença significativa quando comparada às áreas de guaraná, urucum e cupuaçu. Quando se avaliou os valores de argila, observou que as áreas cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa entre si pelo teste Tukey a nível de 0,05 probabilidade. Tais resultados só comprovam que as respectivas áreas apresentaram comportamento diferenciando e inverso em relação as áreas de guaraná e urucum, de modo que, enquanto áreas de cupuaçu e floresta apresentaram maiores valores para argila, as áreas de urucum tiveram maiores valores de areia.

Possivelmente em virtude das áreas de cupuaçu e floresta estarem localizadas em áreas consideradas mais planas, isso pode ter possibilitado menor condições de perdas de sedimentos proporcionadas pela erosão hídrica, uma vez que a mesma é a principal forma de degradação dos solos Brasileiros, sendo resultante da ação conjunta do impacto das gotas de chuva e da enxurrada que além, de partículas de solo em suspensão, transporta nutrientes, matéria orgânica e substâncias químicas, causando sérios prejuízos as atividades agrícolas (BERTOL et al., 2007a). No geral, foi possível aferir com base nos resultados que os teores de areia, silte e argila caracterizaram-se como de textura média em todas as áreas estudadas.

Ao analisar os resultados da erodibilidade global, observou-se que as áreas de estudo apresentaram valores de K muito próximos, variando de $4,70 \times 10^{-2}$ a $4,98 \times 10^{-2} \text{ t ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}$, evidenciando maiores valores nas áreas de cupuaçu e floresta (Tabela 2). Para

justificar tais resultados temos que compreender primeiramente que a determinação da propriedade erodibilidade (fator K) é complexa pelas inúmeras variáveis envolvidas, fator que tem despertado o maior interesse na pesquisa de erosão, por ser governado pelos atributos intrínsecos do solo, os quais podem variar de solo para solo de acordo com a textura e com o tipo de manejo (BERTOL et al., 2007b; MORGAN, 2005; PANAGOS et al., 2015).

Diante de tal esclarecimento, é possível aferir que provavelmente o tipo de solo e os altos valores de silte encontrados nas áreas de floresta e cupuaçu proporcionaram maior suscetibilidade das respectivas áreas a erosão. Neste sentido, tais resultados podem ser considerados, uma vez que o fator K apenas demonstra a predisposição das áreas a erosão. Os resultados encontrados podem ser comprovados por outros estudos, onde também observaram maiores índices de erodibilidade em solos com altos teores de silte e areia (OLIVEIRA et al., 2009; TALESHEAN JELOUDAR et al., 2018). Os respectivos atributos carecem de propriedades de adesão e, se hidratado, torna-se facilmente quebrado e transportado, tendo um impacto maior na erodibilidade do solo (HUANG e LO, 2015). No geral, ao avaliarmos os resultados do (fator K) encontrados, observamos que os mesmos foram inferiores aos valores de $5,21 \times 10^{-2} \text{ t ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha h}$, encontrado por Nunes et al. (2017), estudando a aplicação da equação universal de perdas de solo em argissolos na região sul do Amazonas.

De acordo com Castro et al. (2011), a erodibilidade do solo pode ser classificada em classes segundo seu potencial, de modo que os respectivos autores adotam as seguintes classificações: $K < 9,00 \times 10^{-3}$ (muito baixa); $9,00 \times 10^{-3} < K \leq 1,50 \times 10^{-2}$ (baixa); $1,50 \times 10^{-2} < K \leq 3,00 \times 10^{-2}$ (média); $3,00 \times 10^{-2} < K \leq 4,50 \times 10^{-2}$ (alta); $4,50 \times 10^{-2} < K \leq 6,00 \times 10^{-2}$ (muito alta), e $K > 6,00 \times 10^{-2}$ (extremamente alta). Nesse sentido, levando em consideração que valores encontrados nas áreas estudadas tiveram variação de $4,70 \times 10^{-2}$ a $4,98 \times 10^{-2} \text{ t ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}$, foi possível classificar os valores encontrados na classe (muito alta), fato que já manifesta preocupação quanto a adoção de práticas mitigadoras da erosão e conservacionistas

de suporte a produção agrícola.

Analisando os resultados obtidos dos fatores $K_{i_{wepp}}$ e $K_{r_{wepp}}$ em todas as áreas estudadas, foi possível observar que as áreas de guaraná e urucum não apresentaram diferença significativa entre si. Com base nos resultados encontrados é possível aferir que as áreas de guaraná e urucum apresentaram maior predisposição a sofrer erosão em entressulcos ($K_{i_{wepp}}$) e sulcos ($K_{r_{wepp}}$). Os valores médios dos fatores de erodibilidade do solo em entressulcos (K_i) foram maiores do que obtidos por Franco et al., (2012) que estudou a erodibilidade do solo em entressulcos em um argissolo vermelho obtendo um valor médio de $1,82 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$.

Ao analisar os resultados encontrados da tensão cisalhante crítica, foi possível observar relação direta com os valores da erodibilidade (fator K), uma vez que seguiram a mesma tendência dos resultados encontrados do fator K, observando maiores valores na área de cupuaçu e floresta, de modo que ambas não apresentaram diferença significativa entre si pelo teste Tukey a nível de 0,05 probabilidade. Nas respectivas áreas os coeficientes de erodibilidade foram maiores, indício de serem bastante susceptíveis a erosão, porém, com valores de tensão crítica de cisalhamentos também elevados, fato que sinaliza resistência ao início do processo erosivo. Diagnóstico semelhante também foram encontrados por Oliveira et al. (2009). Em contraponto podemos aferir que se as presentes áreas começarem a ter uma maior efetividade da ação antrópica, sem adoção de critérios e práticas de manejo eficientes, as mesmas têm grande chance em evoluir os riscos de erosão, acarretando perdas que poderiam ser evitadas. Estudos destacam que a determinação de parâmetros de tensão crítica de cisalhamento e erodibilidade possibilitam avaliar a resistência dos solos, e são alternativas viáveis a ser adotadas no planejamento do controle da erosão hídrica (OLIVEIRA et al., 2009; DECHEN et al., 2015).

Na Tabela 3 estão apresentados os valores da correlação de Pearson ao nível de 0,01 de significância, para os atributos da erodibilidade de todas as áreas estudadas. Foi possível

observar que o atributo MO apresentou correlação positiva com silte ($r = 0,39$), argila ($r = 0,46$), fator K ($r = 0,45$) e Tc_{weep} ($r = 0,48$). Tais resultados encontrados não corroboram com os encontrados por Shabani et al. (2014) e Ostovari et al. (2016) onde os mesmos observaram correlação negativa entre MO e o Fator K. Em contrapartida os resultados indicaram que a MO é afetada pelos atributos areia ($r = -0,55$), Ki_{weep} ($r = -0,47$) e Kr_{weep} ($r = -0,33$), ambos apresentando correlação negativa. Ao analisar a correlação de Pearson para o atributo areia, observou-se que o presente atributo apresentou correlação positiva com Ki_{weep} e Kr_{weep} , porém obteve correlação negativa com os atributos silte, argila, fator K e Tc_{weep} . Trabalho de Taleshian Jeloudar et al. (2018), também encontraram correlação negativa da areia com o atributo silte e fator K. Para o atributo silte, identificou-se correlação positiva com os atributos argila, fator K e Tc_{weep} , já a correlação negativa se deu com os atributos Ki_{weep} e Kr_{weep} .

Tabela 3. Correlação de Pearson dos atributos da erodibilidade em áreas sob conversão de floresta para ambientes de cultivo no município de Canutama, AM.

Atributos	MO	Areia	Silte	Argila	Fator K	Ki_{wepp}	Kr_{wepp}	Tc_{wepp}
MO	1,00	-0,55**	0,39**	0,46**	0,45**	-0,47**	-0,33**	0,48**
Areia		1,00	-0,82**	-0,69**	-0,29**	0,79**	0,41**	-0,84**
Silte			1,00	0,22**	0,52**	-0,70**	-0,27**	0,58**
Argila				1,00	-0,05 ^{ns}	-0,47**	-0,37**	0,76**
Fator K					1,00	-0,18**	0,15**	0,04 ^{ns}
Ki Wepp						1,00	0,69**	-0,81**
Kr Wepp							1,00	-0,64**
Tc Wepp								1,00

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo

Quando analisado a correlação Pearson do atributo argila, foi possível identificar que o respectivo atributo apresentou correlação positiva com Tc_{weep} , já a correlação negativa seguiu a mesma tendência do atributo silte, ao qual também apresentou correlação com os atributos Ki_{weep} e Kr_{weep} . Fato a se destacar foi a observação de correlação não significativa do atributo argila com o fator K. Ao analisar o atributo fator K, observou-se que o mesmo evidenciou

correlação positiva com o atributo Kr_{weep} , correlação negativa com Ki_{weep} , além de correlação não significativa com o atributo Tc_{weep} . Em relação ao atributo Ki_{weep} , observou que o mesmo apresentou correlação positiva com o atributo Kr_{weep} e negativa com Tc_{weep} . Já o atributo Kr_{weep} evidenciou correlação negativa com o atributo Tc_{weep} (Tabela 3).

Importante ressaltar que correlação positiva causa efeito direto, ou seja, a medida que há aumento do atributo analisado, ocorrerá incremento do atributo correlacionados positivamente. Já a correlação negativa indica efeito antagônico dos atributos analisados, de modo que o aumento desses irá proporcionar decréscimo nos outros atributos que tiveram correlação negativa.

Os ajustes do semivariogramas experimentais, mapas de krigagem e análise de dependência espacial estão apresentados nas figuras 2 e 3. Foi possível observar através dos resultados que os atributos apresentaram dependência espacial, ajustando-se, predominantemente aos modelos exponencial e esférico, com valores de R^2 e VC acima de 0,76 e 0,78, respectivamente.

Ao analisar os resultados do grau de dependência espacial (GDE), expresso pela razão entre o efeito pepita e o patamar, seguindo a classificação de Cambardella et al. (1994), observou-se que os atributos se mostraram nos limites do grau de dependência espacial (GDE), variando entre dependência moderada a forte. Tais resultados corroboram com os encontrados por Miqueloni e Bueno (2011), os mesmos realizando análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo.

Através dos resultados, foi possível observar maiores GDE para o atributo Kr_{wepp} na área de urucum e MO na área de floresta, ambos apresentando valor em torno de 50%, evidenciando grau de dependência espacial moderada (Figura 2).

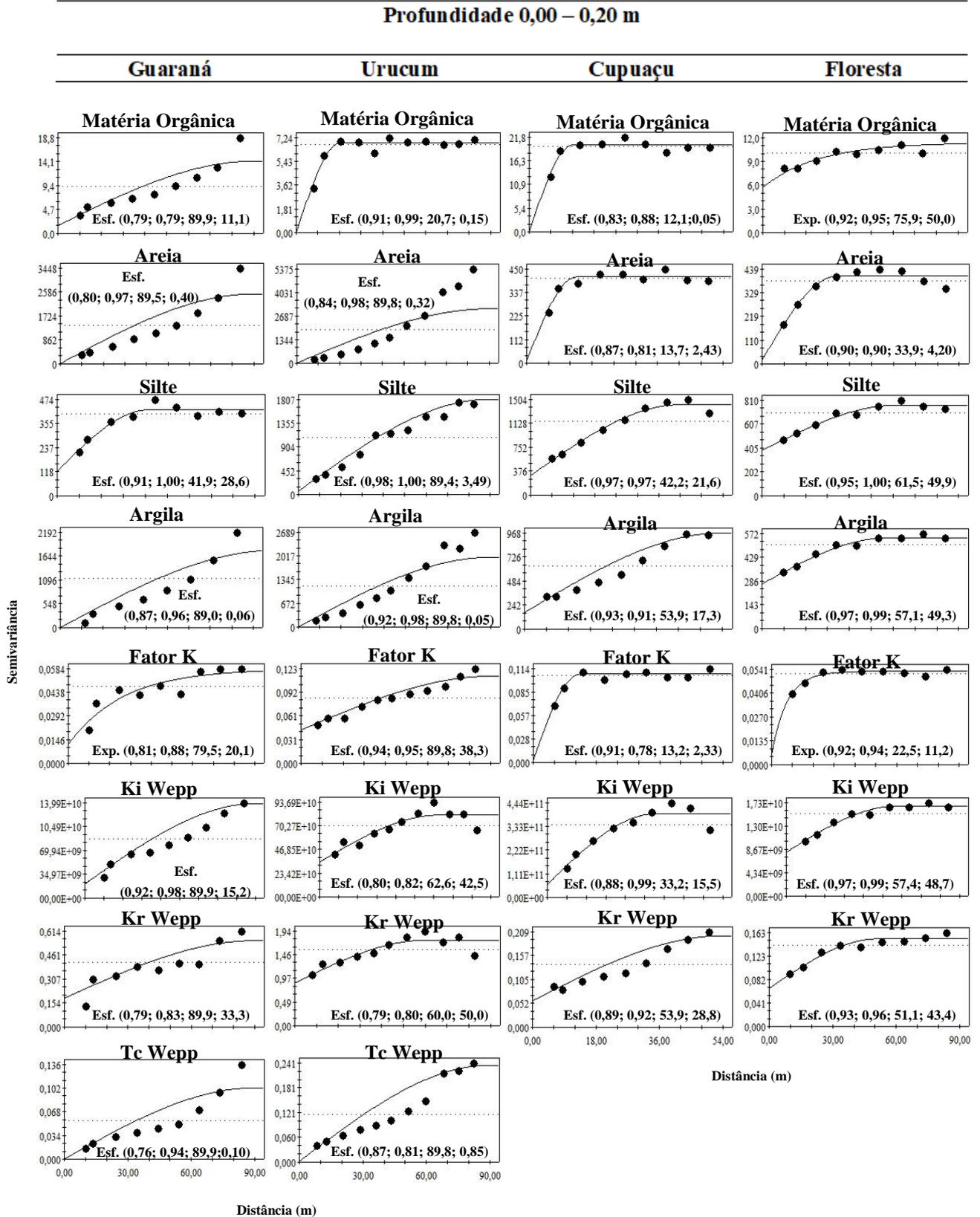


Figura 2: Semivariogramas experimentais ajustados dos atributos da erodibilidade na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM. Modelo (R^2 , VC, alcance e GDE).

Profundidade 0,00 – 0,20 m

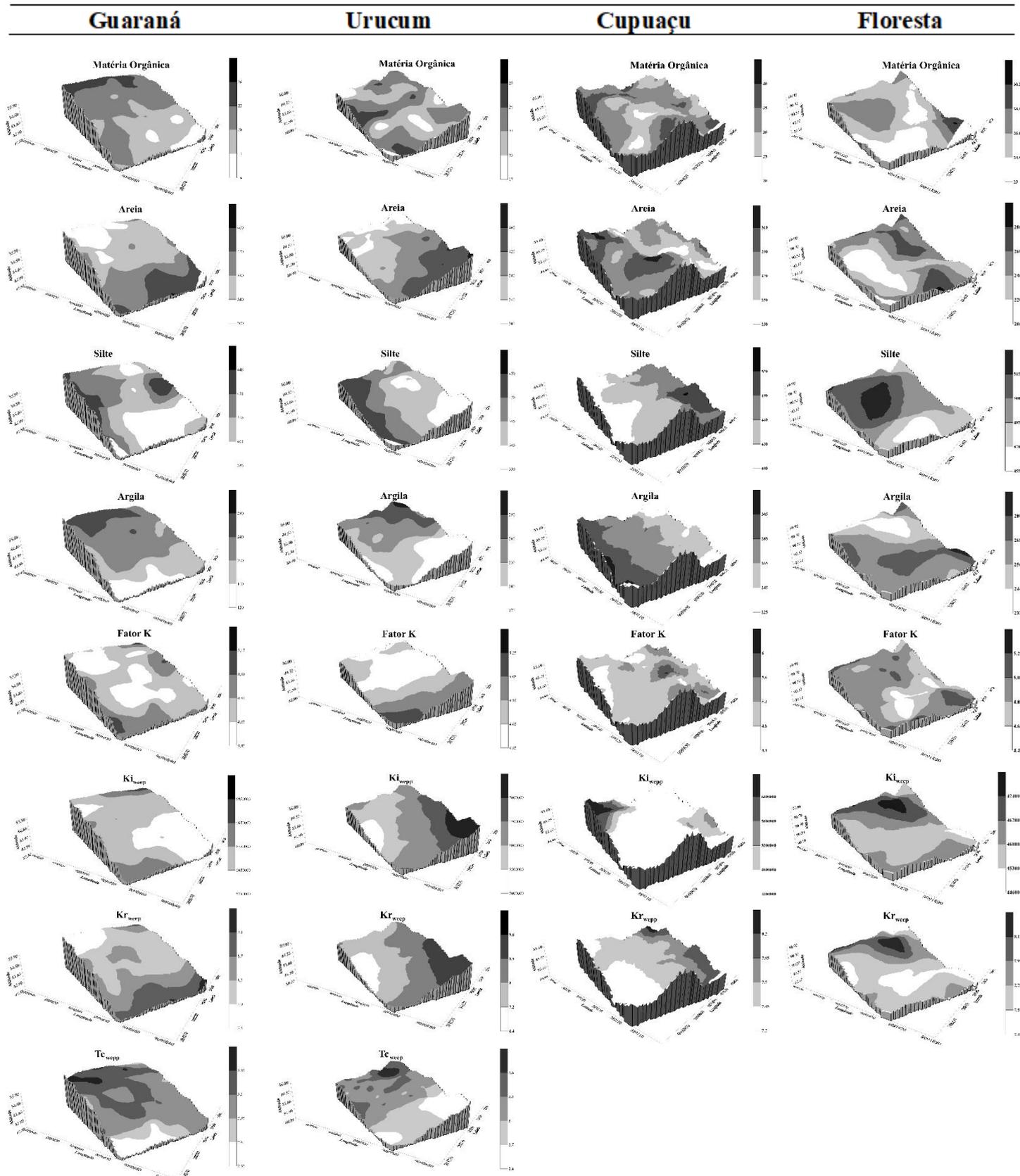


Figura 3: Mapas de krigagem dos atributos matéria orgânica, areia, silte, argila, Fator K: erodibilidade global do solo; Ki_{wepp} : erodibilidade em entressulcos; Kr_{wepp} : erodibilidade em sulcos; Tc_{wepp} : Tensão cisalhante das áreas de guaraná, urucum, cupuauçu e floresta no município de Canutama, AM.

Os menores valores do GDE ocorreram para o atributo argila na área de urucum e MO na área de cupuaçu ambos apresentando valor de 0,05%, evidenciando forte grau de dependência espacial (Figura 2). Quanto menor esta relação $[C_0/(C_0+C)] \times 100$, menor o valor relativo do efeito pepita, e, conseqüentemente, mais bem arranjado espacialmente se encontra o atributo estudado (BERNER et al., 2007). As áreas que apresentaram maiores concentrações de atributos com forte dependência espacial foram as áreas de guaraná, urucum e cupuaçu.

O alcance (a) é um parâmetro da geoestatística que indica a distância limite entre pontos correlacionados entre si. Atualmente tem servido de subsídio em planejamentos amostrais, uma vez que os valores de alcance implicam, de modo geral, em maior ou menor densidade amostral (VIEIRA et al., 2011; SOARES et al., 2018).

Tomando como base os resultados encontrados, observou-se que as variáveis em estudo apresentaram diferentes valores de alcance, de modo que os menores valores foram observados na área de cupuaçu, para o atributo MO da ordem de 12,1 m. Já os valores de alcance para os demais atributos, levando em consideração todas as áreas estudadas ficaram em torno de 20,7 a 89,9 m, isso significa que todos os vizinhos dentro desse raio podem ser usados na estimativa de valores em espaçamentos mais próximos. Tais resultados demonstraram ainda que a malha amostral conseguiu captar a variabilidade espacial dos atributos e que as estimativas de valores realizadas por meio de krigagem geraram valores confiáveis (Figura 3).

Os mapas de krigagem possibilitaram aferir ainda, que os atributos da erodibilidade apresentaram distribuição espacial bem homogênea. Neste sentido, é válido ressaltar que o uso de mapas de variabilidade permite localizar geograficamente as áreas problemáticas, sendo possível intervenção localizada nas zonas que apresentam teores ou valores de determinado atributo não desejáveis (Silva, 2012). Com base em tal esclarecimento, foi possível observar através dos mapas de krigagem, as regiões que apresentaram maiores concentração de areia, silte, argila e matéria orgânica, assim como as regiões que apresentam maiores predisposição a

sofrer erosão do solo, tal fato acaba sendo um importante parâmetro de prevenção de uso e manejo do solo.

Apesar da ocorrência de distribuição espacial para todos os fatores da erodibilidade analisados, é importante salientar influência direta do relevo nas áreas de guaraná e urucum, uma vez que tal fato pode indicar a ocorrência de carregamento de sedimentos, em função do escoamento superficial das partes altas para as partes baixas das áreas.

Na análise multivariada, observou-se os atributos da erodibilidade do solo que sofreram maior alteração após o processo de conversão floresta para áreas cultivadas com espécies amazônicas. A adequação da análise fatorial mostrou-se significativo com (KMO igual a 0,70 e $p < 0,05$ para o teste de esfericidade de Barlett), o presente teste sugere que os dados dos atributos avaliados são adequados à análise fatorial. Na análise de componentes principais (ACP), o número de fatores a ser extraído foi estabelecido de forma a explicar acima de 70% da variância total dos dados (Tabela 4 e Figura 4), que apresentaram autovalores da matriz de covariância superior a um (1) (Manly, 2008), com 3,59 na CP1 e 1,99 na CP2.

Tabela 4. Correlação entre cada componente principal e variáveis analisadas e análise fatorial dos atributos do solo com os fatores rotacionados (Varimax) (Fator 1 e 2) correspondentes as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas - AM.

Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
Areia	0,96	-0,77*	-0,56
Silte	0,93	0,45	0,82*
Argila	0,89	0,78*	-0,01
Fator K	0,43	-0,17	0,89*
Ki _{wepp}	0,82	-0,82*	-0,40
Kr _{wepp}	0,63	-0,78*	0,11
Tc _{wepp}	0,88	0,93*	0,22
Variância explicada (%)		59,17	20,65

Fator K: erodibilidade global do solo; Ki Wepp: erodibilidade em entressulcos; Kr Wepp: erodibilidade em sulcos; Tc Wepp: Tensão cisalhante; (Wepp: Projeto de predição da erosão hídrica).

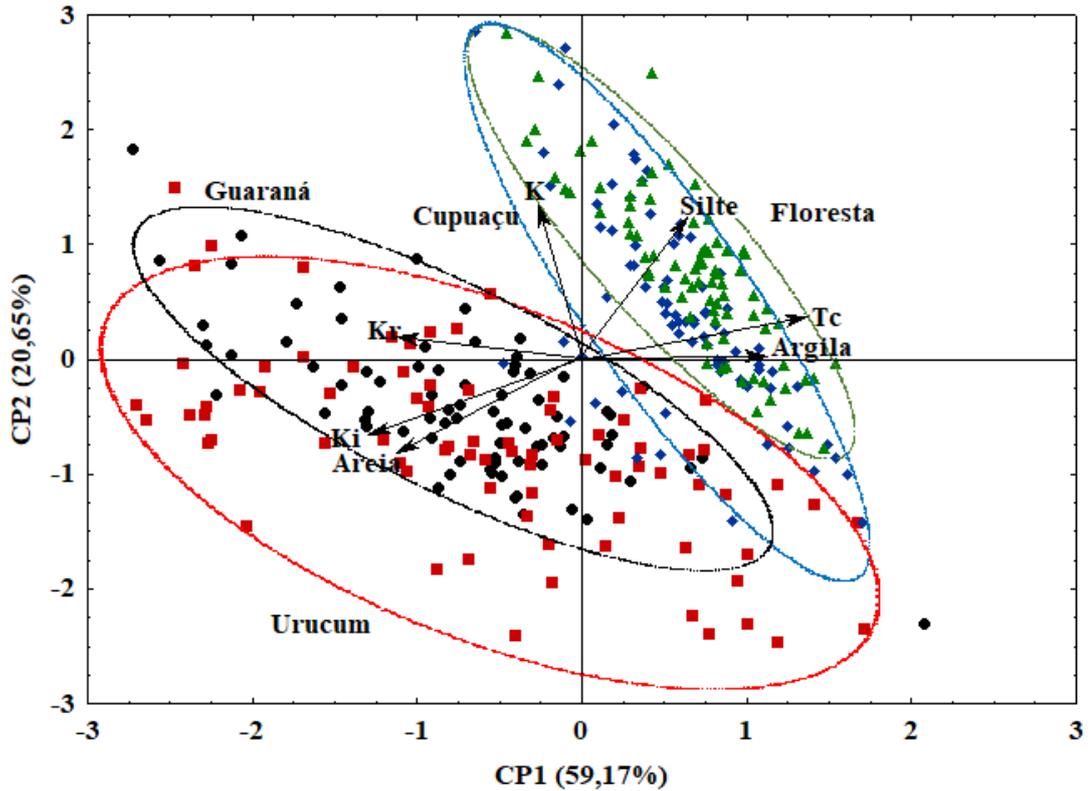


Figura 4: Análise de componentes principais dos atributos dos solos estudados na profundidade 0,00 a 0,20 m, em área de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta no município de Canutama, AM.

Os dois componentes principais retêm 79,82% do percentual da variância explicada, tendo o primeiro (CP1) 59,17% da variância total, já o segundo (CP2), representou valor em torno de 20,65%. Tanto o primeiro, quanto o segundo fator (Tabela 4) apresentaram percentual de explicação para os atributos da erodibilidade e granulometria do solo. De modo, que a CP1 discriminou melhor os atributos (areia, argila, $K_{i_{wepp}}$, $K_{r_{wepp}}$ e $T_{c_{wepp}}$), enquanto a CP2 os atributos (silte e fator K). Na primeira situação, para os atributos que melhor discriminaram a CP1, pode-se aferir que quanto maiores os valores de argila e $T_{c_{wepp}}$, menor será a predisposição do solo a erodibilidade em sulcos ($K_{r_{wepp}}$) e entressulcos ($K_{i_{wepp}}$), além do menor teor de areia.

A presente correlação inversa da argila apresentando correlação negativa com areia, pode ser explicada pela condição particular de cada atributo no solo (Tabela 4). Apesar de solos arenosos reterem mais água devido aos seus maiores poros, possibilitam a não ocorrência do escoamento, tendo em vista baixa proporção de argila, sendo facilmente carregados por menor

que seja a intensidade da chuva. Enquanto um solo argiloso, com menores poros e reduzida infiltração, serão mais resistentes ao escoamento, dado a coesão de suas partículas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2017).

Quando analisados o segundo componente CP2, observa-se que o mesmo evidencia uma correlação direta do fator K com o silte, mostrando que, quanto maior a quantidade dessa fração, maior a erodibilidade e efetividade do processo erosivo (MIQUELONI e BUENO, 2011).

Na Figura 4 está representado a análise de componentes principais, através da distribuição dos escores das diferentes áreas estudadas e da disposição das cargas fatoriais dos atributos do solo formado pelos PC1 e PC2. Com base nos resultados, foi possível observar maior adensamento dos escores das áreas de floresta e cupuaçu no primeiro quadrante, o que discrimina que ambas obtiveram valores dos atributos silte, argila, fator K e $T_{c_{wepp}}$, acima da média. Por outro lado, as áreas cultivadas com guaraná e urucum apresentaram-se mais adensadas no terceiro quadrante, com atributos mais voltados para características que indicam predisposição do solo a sofrer erosão em sulcos e entressulcos, de modo que os atributos areia e $K_{i_{wepp}}$ apresentaram valores abaixo da média e o atributo $K_{r_{wepp}}$ valor acima da média, tal condição de susceptibilidade pode estar relacionada a topografia do terreno, uma vez que as respectivas áreas estão sendo cultivadas em local que apresenta 3% de declividade, fato que acaba favorecendo o carregamento pela enxurrada das partículas do solo.

8.4 CONCLUSÕES

As áreas cultivadas com guaraná e urucum apresentaram maior predisposição do solo a sofrer erosão em sulcos ($K_{r_{wepp}}$) e entressulcos ($K_{i_{wepp}}$).

As áreas de cupuaçu e floresta, apresentaram elevados valores de silte, favorecendo condições de erodibilidade (fator K), em contrapartida as mesmas evidenciaram elevados valores de tensão crítica de cisalhamentos, fato que sinaliza resistência ao início do processo erosivo.

A geoestatística de forma integrada com a análise multivariada auxiliou na compreensão do comportamento dos fatores da erodibilidade, após o processo de conversão floresta nativa/áreas cultivadas.

8.5 REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, L. E.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. **Science**, v. 328, n. 5983, p. 1275-1278, 2010.
- ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do tijuco, sp. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.
- BERENGUER, E.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; CAMARGO, P. B. de; CERRI, C. E.; DURIGAN, M.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; VIEIRA, I. C. G.; BARLOW, J. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, v. 20, n. 12, p. 3713–3726, 2014.
- BERNER, P. G. M.; VIEIRA, S. R.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 837–844, 2007.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.1, p.133-142, 2007b.
- BERTOL, I.; ENGEL, F. L.; MAFRA, Á. L.; BERTOL, O. J.; RITTER, S. R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff under different soil tillage systems during soybean growth. **Soil & Tillage Research**, v.94, n.1, p.142-150, 2007a.
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.485-494, 2004.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo. 10ª Ed. Ícone, 2017. 392p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radam brasil** - Folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561p.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J. ; MARTINS FILHO, M. V. ; PEREIRA, G. T. ; SOUZA, Z. M. ; BARBIERI, D. M. . Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p.2485-2492, 2008.
- CASTRO, W.J.; LEMKE-DE-CASTRO, M.L.; LIMA, J.O.; OLIVEIRA, L.F.C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C.C. Erodibilidade de solos do cerrado goiano. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, p. 305-320, 2011.
- CERDÀ, A.; RODRIGO-COMINO, J.; GIMÉNEZ-MORERA, A.; KEESSTRA, S.D., (2017). An economic, perception and biophysical approach to the use of oat straw as mulch in Mediterranean rainfed agriculture land. **Ecological Engineering**, v. 108, p. 162-171, 2017.

CUNHA, J. M.; GAIO, D. C.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; LIMA, A. F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, p. 263-281, 2017.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARAES, M. F.; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Revisada. Embrapa Solos Rio de Janeiro, 353p. 2013.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Embrapa Solos -RJ, 230p. 2011.

FONTANA, A.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BRITO, R. J.; BENITES, V. M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica, **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 545-550, 2011.

FLANAGAN, D. C.; LIVINGSTON, S. J. **USDA - Water erosion prediction project: WEEP user summary**. West Lafayette: National Soil Research Laboratory & USDA - Agricultural Research Service, 1995. p. 25-26. (Report, 11).

FRANCO, Â. M. P., CASSOL, E. A., PAULETTO, E. A., & INDA, A. V. Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um argissolo vermelho. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 18, n. 2, p. 175-187. 2012.

FREITAS, L., CASAGRANDE, J. C., OLIVEIRA, I. A., CAMPOS, M. C. C., SILVA, L. S. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 1, p.17-26, 2015.

FROGBROOK, Z. L.; OLIVER, M. A.; SALAHI, M.; ELLIS, R. H. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, v. 18, n. 01, p. 01-09, 2002.

GAMMA DESIGN SOFTWARE (GS+). **Geostatistics for the environmental sciences**. 7. ed. Plainwell: Gamma Design, 2004.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 593p. 2007.

HUANG, T. C. C.; LO, K. F. A. Effects of Land Use Change on Sediment and Water Yields in Yang Ming Shan National Park, Taiwan. **Environments**, v. 2, p. 32-42, 2015.

JONGMAN, A.; WAYLAND, R.; WONG, S. Acoustic characteristics of English fricatives.

Journal of the Acoustical Society of America, v. 108, n. 03, p. 1252-1263, 2000.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FONSECA, S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41 n. 3, p. 322-327, 2011.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; Análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.6, p.2175-2182, 2011.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and Conservation**. 3. ed. Blackwell Science Ltd., 192p. 2005.

MOURA, N. G.; LEES, A. C.; ANDRETTI, C. B.; DAVIS, B. J.; SOLAR, R. R.; ALEIXO, A.; BARLOW, J.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A. Avian biodiversity in multiple-use landscapes of the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 167, p. 339-348, 2013.

NUNES, J. G.; CAMPOS, M. C. C.; NUNES, J. C.; MANTOVANELLI, B. C.; CUNHA, J. M.; SOARES, M. D. R. Aplicação da equação universal de perdas de solo na região sul do Amazonas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 15, n. 2, p. 548-557, 2017.

OLIVEIRA, J. F.; GRIEBELER, N. P.; CORRECHEL, V.; SILVA, V. C. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.955-960, 2009.

OSTOVARI, Y.; GHORBANI-DASHTAKI, S.; BAHRAMI, H.A.; NADERI, M.; DEMATTE, J. A. M.; KERRY, R. Modification of the USLE K factor for soil erodibility assessment on calcareous soils in Iran. **Geomorphology**. v.273, p.385-395, 2016.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; ALEWELL, C.; LUGATO, E.; MONTANARELLA, L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. **Land Use Policy**, v.48, p.38-50, 2015.

PARYSOW, P.; WANG, G.; GERATHER, G. Z.; ANDERSON, A. Assessing uncertainty of erodibility factor in national cooperative soil surveys, a case study at Fort Hood, Texas. **Journal Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 56, n. 3, p. 207-211, 2001.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MASSAROTO, J. A.; SÁ, J. J. G.; MARQUES, M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.691-699, 2004.

SCHICK, J., BERTOL, I., COGO, N.P., PAZ GONZÁLEZ, A., BARBOSA, F.T. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.6, p. 1906-1917, 2014.

SHABANI, F.; KUMAR, L.; ESMAEILI, A. Improvement to the prediction of the USLE K factor. **Geomorphology**, v.204, p.229-234, 2014.

SOARES, M.D.R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. C.; MANTOVANELLI, B. C.;

OLIVEIRA, I. A.; BRITO FILHO, E. G.; LEITE, A. F. L. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 2. p. 125-133, 2018.

SOUZA, F. G.; MELO, V. F.; ARAÚJO, W. F.; ARAÚJO, T. H. C. Losses of soil, water, organic carbon and nutrients caused by water erosion in different crops and natural savannah in the northern Amazon. **Revista Ambiente & Água**. v. 14, n. 1, p. 1-16, 2019.

SOUZA JÚNIOR, C. M.; SIQUEIRA, J. V.; SALES, M. H.; FONSECA, A. V.; RIBEIRO, J. G.; NUMATA, I.; COCHRANE, M. A.; BARBER, C. P.; ROBERTS, D. A.; BARLOW, J. Ten-year Landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 5, n. 11, p. 5493-5513, 2013.

SPSS Inc. **Statistical Analysis Using SPSS**. Chicago. 2001.

STATSOFT Inc 7.0. Statistica (data analysis software system). USA: 2004

SZILASSI, P.; JORDAN, G.; VAN ROMPAEY, A.; CSILLAG, G. Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the Kali Basin at Lake Balaton, Hungary. **Catena**, v.68, n. 2, p. 96-108, 2006.

TALESHIAN JELOUDAR, F.; GHAJAR SEPANLOU, M.; EMADI, S.M. Impact of land use change on soil erodibility. **Global Journal of Environmental Science and Management**, v. 4, n. 1, p. 59-70, 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **National Soil Survey Handbook n. 430**. Washington, DC: USDA, 1983.

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

WANG, B.; ZHENG, F.; RÖMKENS, M. J.; DARBOUX, F. Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences. **Geomorphology**, v. 187, p. 1-10, 2013.

WANG, G.; GERTNER, G. Z., LIU, X.; ANDERSON, A. B. Uncertainly assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. **Catena**, v. 46, n. 1, p. 1-14, 2001.

WANG, G.; HAPUARACHCHI, P.; ISHIDAIRA, H.; KIEM, A.S.; TAKEUCHI, K. Estimation of soil erosion and sediment yield during individual rainstorms at catchment scale. **Water Resources Management**, v. 23, n. 8, p. 1447-1465, 2009.

WANG, X.; ZHAO, X.; ZHANG, Z.; YI, L.; ZUO, L.; WEN, Q.; LIU, F.; XU, J.; HU, S.; LIU, B. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, v.137, p.256-268, 2016.

WARRICK A. W.; NIELSEN D. R. 1980. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, USA. p.344.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B. & CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for

farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.26, n. 5, p.189-193, 1971.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p.1467-1476, 1988.