



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO VEGETAL



DENI RAFAELA SILVA BARROS

TESE DE DOUTORADO

**IMPACTOS DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS E PASTAGEM NOS ESTOQUES DE
CARBONO, NITROGÊNIO E QUALIDADE DO SOLO NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Rio Largo – Al
2020

DENI RAFAELA SILVA BARROS

**IMPACTOS DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS E PASTAGEM NOS ESTOQUES DE
CARBONO, NITROGÊNIO E QUALIDADE DO SOLO NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Tese apresentada à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia
Co-orientador: Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier

Rio Largo - AL
2020

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharia e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

B277i	Barros, Deni Rafaela Silva Impactos dos sistemas agrícolas e postagem nos estoques de carbono, nitrogênio e qualidade do solo no semiárido brasileiro. / Deni Rafaela Silva Barros – 2020. 147 f.; il. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharia e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2020. Orientação: Prof. Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia Coorientação: Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier Inclui bibliografia 1. Matéria orgânica do solo. 2. Qualidade do solo. 3. Carbono orgânico. I. Título. CDU: 631.4
-------	--

TERMO DE APROVAÇÃO

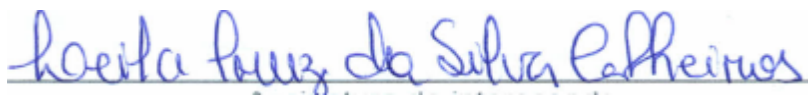
DENI RAFAELA SILVA BARROS
(Matrícula 16140035)

**“IMPACTOS DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS E PASTAGEM NOS ESTOQUES DE
CARBONO, NITROGÊNIO E QUALIDADE DO SOLO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO”**

Tese apresentada e avaliada pela banca examinadora em vinte e sete de março de 2020, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Engenharias e Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.



Prof. Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia
Presidente



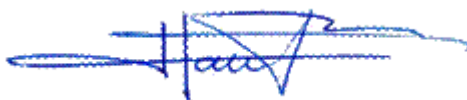
Prof.ª Dr.ª Leila Cruz da Silva Calheiros
Membro Titular



Prof. Dr. Selenobaldo Alexinaldo Cabral de Sant'Anna
Membro Titular



Prof. Dr. Altanys Silva Calheiros
Membro Titular



Prof. Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier

Membro Titular

Rio Largo - AL
Março-2020

Primeiramente a Deus e Nossa Senhora por me sustentarem até aqui.

Aos meus pais (Renato e Darcy) por todo amor e compreensão.

A meu esposo (Vagner) pela paciência e companheirismo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Ciências Agrárias (CECA-UFAL) pelo acolhimento durante esses 10 anos de instituição (graduação, mestrado e por fim Doutorado).

Aos professores de graduação e do Programa de Pós-Graduação em Agonomia que colaboraram para o meu aperfeiçoamento profissional.

Ao professor Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia pela orientação e todo conhecimento transmitido. Agradeço por sua amizade e compreensão.

Ao Dr. Francisco Alisson Xavier, pela co-orientação e colaboração.

Aos professores Dr. Gilson Moura Filho e Dra Leila Cruz da Silva Calheiros por toda ajuda e aprendizado durante esses longos anos de UFAL. Obrigada pelo carinho de sempre.

Aos secretários do Programa de Produção Vegetal e Proteção Vegetal (Gustavo e Marcos).

Aos amigos de laboratório, pela contribuição em minhas análises e por sua amizade, Victor, Fernanda, Rafaela, Antônio, Renato, Thiago e Érica.

Aos técnicos do laboratório Flávia e Ricardo, meu muito obrigada.

Aos amigos de curso Mayara, Antônio, Taciana, Gleica, Adriano, Tatiana, Érica, Karol, Sebastião e Jailma.

Ao amigo Aldair de Souza Medeiros, muito obrigada por sua colaboração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (CNPq – 446286/2015-0) para realização do projeto.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao IFAL, Campus marechal Deodoro, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros e ao laboratório LABSAP pertencente ao CECA/UFAL pelo apoio para realização das análises.

Aos professores Altanys Silva Calheiros, Selenobaldo Alexinaldo Cabral de Sant'Anna e Leila Cruz da Silva Calheiros pelas contribuições para melhoria na escrita da Tese.

“Sábio é aquele que conhece os limites da própria ignorância”

Sócrates

RESUMO

Práticas inadequadas de manejo da vegetação e do solo, como intensa extração de lenha e madeira, desmatamento indiscriminado, queima dos resíduos vegetais, sistemas de preparo convencional do solo e períodos de pousio inadequados aceleram a degradação de áreas no semiárido brasileiro, comprometendo a qualidade do solo dessa região. O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos promovidos pela conversão da vegetação nativa para sistemas agrícolas e pastagem sobre os estoques de carbono orgânico, nitrogênio do solo e compartimentos da matéria orgânica em função da profundidade e tempo de uso da terra no semiárido brasileiro. As amostras de solo foram coletadas em áreas de vegetação nativa, agricultura e pastagem de sete municípios em três estados da região semiárida do Nordeste brasileiro. A profundidade de coleta variou de acordo com o tipo de solo, sendo no máximo até 100 cm. Foram determinados os estoques de carbono orgânico total, nitrogênio total, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, carbono das frações oxidáveis, carbono das frações de substâncias húmicas, granulometria, densidade do solo, pH e atributos químicos (bases trocáveis, acidez potencial, acidez trocável e fósforo disponível). Os solos foram classificados em Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo e Cambissolo. Os resultados obtidos foram avaliados com base nos dados médios em estoque, desvio padrão, taxa de alteração dos estoques, análise multivariada de componentes principais e análise de agrupamentos. A conversão para sistemas agrícolas proporcionou perdas de 4 a 66% nos estoques de carbono orgânico total, principalmente na camada superficial do solo. As maiores perdas ocorreram nos sistemas com menor tempo de uso da terra e seguiu a ordem: Luvisolo > Neossolo Litólico > Planossolo > Argissolo. Os sistemas agrícolas em Cambissolo, que apresentou os maiores teores de argila, apresentaram ganhos nos estoques de carbono e nitrogênio, na camada 0-100 cm. Sendo que, os maiores aumentos nesses estoques foram observados na área de cultivo com menor tempo de uso da terra, com ganhos, respectivamente, de 81 e 48%, na camada 0-10 cm. A conversão para pastagem também apresentou perdas nos estoques de carbono e nitrogênio, nas camadas 0-40 e 0-90 cm. No entanto, as pastagens em Planossolo e Argissolo apresentaram ganhos médios nos estoques de carbono e nitrogênio de, respectivamente, 46 e 31% na camada 70-90 cm, provavelmente devido a liberação de exsudatos radiculares provenientes das gramíneas. Com base nos resultados dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, entende-se que o estabelecimento de sistemas agrícolas com preparo convencional, contribui para perdas nos estoques de matéria orgânica e qualidade do solo, principalmente na camada 0-10 cm para as áreas com mais de 19 anos de uso da terra. Todavia, as pastagens tendem a

apresentar recuperação da qualidade do solo, devido a ganhos nos estoques de carbono das frações mais lábeis da matéria orgânica do solo. A análise de agrupamentos permitiu a separação entre os sistemas de uso da terra e as áreas de vegetação nativa, sendo a distinção entre os ambientes mais evidente na camada 0-10 cm, devido as maiores alterações provenientes no manejo ocorrerem na superfície. De acordo com a análise de componentes principais, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo funcionam como indicadores de separação entre ambientes, no entanto, aqueles associados aos compartimentos lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo apresentaram maior potencial como indicadores da qualidade do solo.

Palavras-chave: Compartimentos da matéria orgânica do solo, qualidade do solo, carbono orgânico total.

ABSTRACT

Inadequate soil management practices, such as intense extraction of firewood and wood, indiscriminate deforestation, burning of plant residues, conventional tillage systems and inadequate fallow periods accelerate the degradation of areas in the Brazilian semiarid, causing environmental and ecological problems. In this sense, the objective with this research was to evaluate the impacts promoted by the conversion of native vegetation to agricultural systems and pasture on the carbon stocks of the soil and compartments of soil organic matter as a function of the depth and time of land use in different types of soil in the Brazilian semiarid. The soil samples were collected in areas of native vegetation, agriculture and pasture in the semiarid of seven municipalities in three states in the Northeast region. The soil sampling depth varied according to the type of soil, up to a maximum of 100 cm. The stocks of total organic carbon, total nitrogen, carbon and nitrogen from microbial biomass, carbon from oxidable fractions, carbon from humic substances fractions, granulometry, soil density, pH and chemical attributes (exchangeable bases, potential acidity, exchangeable acidity) were determined and available phosphorus). The soils were classified into Alfisol, Entisol Lithic, Aridisol, Ultisol and Inceptisol. The results obtained were evaluated based on average data in stock, standard deviation, rate of C change, multivariate analysis of main components and cluster analysis. The conversion to agricultural systems provided losses of 4 to 66% in the total organic carbon stocks, mainly in the superficial soil layer. The greatest losses occurred in the systems with less time of land use and followed the order: Aridisol > Entisol Lithic > Alfisol > Ultisol. Agricultural systems in Inceptisols, which have the highest clay content, have increase of carbon and nitrogen, in the 0-100 cm layer. The greatest increases in these stocks were observed in the area of cultivation with the shortest time in land use, with gains, respectively, of 81 and 48%, in the 0-10 cm layer. Conversion to pasture also showed losses in carbon and nitrogen stocks, in layers 0-40 and 0-90 cm. However, the pastures in Alfisols and Ultisols showed average gains in carbon and nitrogen stocks of, respectively, 46 and 31% in the 70-90 cm layer. Based on the results of the physical, chemical and biological attributes of the soil, it is understood that the establishment of agricultural systems with conventional tillage, contributes to losses in the stocks of organic matter and soil quality, especially in the 0-10 cm layer for the areas with over 19 years of land use. However, pastures tend to show recovery in soil quality, due to gains in carbon stocks of the most labile fractions of soil organic matter. Cluster analysis allowed the separation between land use systems and areas of native vegetation, with the distinction between environments being more evident in the 0-10 cm layer, due to the greater

changes in management occurring on the surface. According to the principal component analysis, the physical, chemical and biological attributes of the soil function as indicators of separation between environments, however, those associated with the labile and recalcitrant compartments of the soil's organic matter showed greater potential as indicators of soil quality.

Keywords: Soil organic matter compartments, soil quality, total organic carbon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I

Figura 1. Localização das áreas de estudo utilizadas para avaliação dos atributos físicos e químicos do solo.....23

CAPÍTULO II

Figura 1. Localização das áreas de estudo utilizadas para avaliação dos atributos físicos e químicos do solo.....43

Figura 2. Densidade do solo (g dm^{-3}) dos sistemas sob Planossolo (A), Neossolo Litólico (B), Luvisolo (C), Argissolo (D) e Cambissolo (E). VN: área sob vegetação nativa; A: área agrícola; SI: Santana do Ipanema-AL, Ba: Batalha-AL SB: Senhor do Bonfim-BA, AD: América Dourada-BA, SL: Santa Luzia-PB, CR: Catolé do Rocha-PB.....53

Figura 3. Taxa de alteração dos estoques de carbono para os sistemas agrícolas. VN: área sob vegetação nativa; A: área agrícola; SI: Santana do Ipanema-AL, Ba: Batalha-AL SB: Senhor do Bonfim-BA, AD: América Dourada-BA, SL: Santa Luzia-PB, CR: Catolé do Rocha-PB....64

CAPÍTULO III

Figura 1. Localização das áreas de estudo utilizadas para avaliação dos atributos físicos e químicos do solo.....76

Figura 2. Densidade do solo (g dm^{-3}) dos sistemas sob Planossolo (A), Neossolo Litólico (B) e Argissolo (C). VN: área sob vegetação nativa; P: pastagem; Tr: Traipu-AL, CR: Catolé do Rocha-PB.....80

Figura 3. Taxa de alteração nos estoques para os sistemas de pastagem sob Planossolo, Neossolo Litólico e Argissolo no semiárido brasileiro. VN: área sob vegetação nativa; P: pastagem; Tr: Traipu-AL, CR: Catolé do Rocha-PB.....88

CAPÍTULO IV

Figura 1. Distribuição das áreas de estudo na região semiárida do Brasil utilizadas para avaliar o comportamento dos diferentes sistemas de manejo (agricultura, pastagem e vegetação nativa).....99

Figura 2. Biplot dos componentes principais CP_1 e CP_2 com os sistemas de manejo (VN – vegetação nativa; A – agricultura; P – pastagem) e localidades (Santana do Ipanema-SI, Traipu-Tr e Senhor do Bonfim-SB) sob Planossolo. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de agrupamento, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 2A (0-10 cm) e 2B (10-20 cm).....111

Figura 3. Biplot dos componentes principais CP_1 e CP_2 com os sistemas de manejo (VN – vegetação nativa; A – agricultura; P – pastagem) e localidades (Santana do Ipanema-SI e Traipu-Tr) sob Neossolo Litólico. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de

agrupamento, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 3A (0-10 cm) e 3B (10-20 cm).....113

Figura 4. Biplot dos componentes principais CP_1 e CP_2 com os sistemas de manejo (VN – vegetação nativa e A – agricultura) e localidades (Batalha-Ba e Santa Luzia-SL) sob Luvissole. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de agrupamento, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 4A (0-10 cm) e 4B (10-20 cm).....115

Figura 5. Biplot dos componentes principais CP_1 e CP_2 com os sistemas de manejo (VN – vegetação nativa; A – agricultura; P – pastagem) e localidades (Catolé do Rocha-CR) sob Argissolo. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de cluster, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 5A (0-10 cm) e 5B (10-20 cm).....117

Figura 6. Biplot dos componentes principais CP_1 e CP_2 com os sistemas de manejo (VN – vegetação nativa e A – agricultura) e localidades (América Dourada-AD) sob Cambissolo. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de cluster, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 6A (0-10 cm) e 6B (10-20 cm).....118

LISTA DE TABELAS

CAPITULO II

Tabela 1. Descrição das áreas avaliadas neste estudo.....	45
Tabela 2. Dados médios da caracterização química do Planossolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas 0-50 cm para os sistemas SI ₁ VN, SI ₁ A47, SB ₁ VN, SB ₁ A10, SB ₁ A15 e SB ₂ A18, e 0-70 cm para os sistemas SB ₂ VN e SB ₂ A8.....	48
Tabela 3. Dados médios da caracterização química do Neossolo Litólico em áreas de vegetação nativa e agricultura na camada de 0-50 cm para os sistemas SI ₂ VN, SI ₂ A2 e SI ₂ A38.....	49
Tabela 4. Dados médios da caracterização química do Luvisolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-50 cm para os sistemas SL ₁ VN, SL ₁ A19, SL ₁ A38 e SL ₁ A90, e 0-70 cm para os sistemas BaVN, BaA11, SL ₂ VN, SL ₂ A20 e SL ₂ A30.....	49
Tabela 5. Dados médios da caracterização química do Argissolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-70 cm para os sistemas CR ₂ VN, CR ₂ A50 e 0-90 cm para os sistemas CR ₁ VN, CR ₁ A12, CR ₁ A15, CR ₃ VN e CR ₃ A40.....	50
Tabela 6. Dados médios da caracterização química do Cambissolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-30 cm para os sistemas AD ₂ VN, AD ₂ A33 e AD ₂ A46, e 0-100 cm para os sistemas AD ₁ VN, AD ₁ A5, AD ₁ A15, AD ₁ A20, AD ₁ A30, AD ₁ A35 e AD ₁ A40.....	50
Tabela 7. Caracterização granulométrica do Planossolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-50 cm para os sistemas SI ₁ VN, SI ₁ A47, SB ₁ VN, SB ₁ A10, SB ₁ A15 e SB ₂ A18, e 0-70 cm para SB ₂ VN e SB ₂ A8.....	53
Tabela 8. Caracterização granulométrica do Neossolo Litólico em áreas de vegetação nativa e agricultura na camada de 0-50 cm para os sistemas SI ₂ VN, SI ₂ A2 e SI ₂ A38.....	54
Tabela 9. Caracterização granulométrica do Luvisolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-50 cm para os sistemas SL ₁ VN, SL ₁ A19, SL ₁ A38 e SL ₁ A90, e 0-70 cm para BaVN, BaA11, SL ₂ VN, SL ₂ A20 e SL ₂ A30.....	54
Tabela 10. Caracterização granulométrica do Argissolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-70 cm para os sistemas CR ₂ VN e CR ₂ A50, e 0-90 cm para CR ₁ VN, CR ₁ A12, CR ₁ A15, CR ₃ VN e CR ₃ A40.....	55
Tabela 11. Caracterização granulométrica do Cambissolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-30 cm para os sistemas AD ₂ VN, AD ₂ A33 e AD ₂ A46, e 0-100 cm para AD ₁ VN, AD ₁ A5, AD ₁ A15, AD ₁ A20, AD ₁ A30, AD ₁ A35 e AD ₁ A40.....	56
Tabela 12. Carbono orgânico total, nitrogênio total e relação C/N e desvio padrão para os sistemas agrícolas e sob vegetação nativa em Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo e Cambissolo.....	59

CAPÍTULO III

Tabela 1. Descrição das áreas avaliadas neste estudo.....	78
Tabela 2. Dados médios da caracterização química de um Planossolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-90 cm para os sistemas Tr ₁ VN, Tr ₁ P10, Tr ₁ P20.....	79
Tabela 3. Caracterização granulométrica de um Planossolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-90 cm para os sistemas Tr ₁ VN, Tr ₁ P10, Tr ₁ P20.....	81
Tabela 4. Caracterização granulométrica de um Neossolo Litólico em áreas de vegetação nativa e agricultura na camada de 0-40 cm para os sistemas Tr ₂ VN e Tr ₁ P4.....	82
Tabela 5. Caracterização granulométrica de um Argissolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-70 cm para os sistemas CR ₂ VN e CR ₂ P6, e 0-90 cm para CR ₃ VN e CR ₃ P30.....	82
Tabela 6. Carbono orgânico total, nitrogênio total, relação C/N e desvio padrão para os sistemas pastagem e sob vegetação nativa em Planossolo, Neossolo Litólico e Argissolo.....	86

CAPÍTULO IV

Tabela 1. Dados da amostragem de solo e descrição das áreas de estudo.....	100
Tabela 2. Carbono orgânico total, nitrogênio total, frações da matéria orgânica, granulometria, densidade do solo, pH, fósforo, acidez potencial e capacidade de troca de cátions em Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo e Cambissolo nas camadas 0-10 e 10-20 cm.....	106
Tabela 3. Resultados da análise de componentes principais para Planossolo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.....	111
Tabela 4. Resultados da análise de componentes principais para Neossolo Litólico, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.....	113
Tabela 5. Resultados da análise de componentes principais para Luvisolo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.....	115
Tabela 6. Resultados da análise de componentes principais para Argissolo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.....	117
Tabela 7. Resultados da análise de componentes principais para Cambissolo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.....	119

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	20
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	20
2 HIPÓTESE.....	22
3 OBJETIVOS	22
3.1 Geral.....	22
3.2 Específicos.....	22
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	23
4.1 Semiárido nordestino.....	23
4.2 Impacto da mudança de uso da terra no COT, NT e compartimentos da MOS.....	25
4.3 Uso de métodos de análise multivariada como ferramenta para distinção de ambientes no semiárido nordestino.....	27
4.3.1 Análise de componentes principais.....	27
4.3.2 Análise de agrupamentos.....	29
REFERÊNCIAS.....	30
CAPITULO II	
“IMPACTO DA MUDANÇA DE USO DA TERRA NOS ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM SOLOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO”.....	39
RESUMO.....	39
ABSTRACT.....	40
1 INTRODUÇÃO.....	41
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
2.1 Caracterização da área de estudo.....	43
2.2 Amostragem de solo.....	48
2.3 Análise química do solo.....	48
2.4 Densidade do solo.....	51
2.5 Análise granulométrica.....	53
2.6 Determinação do carbono e nitrogênio total.....	57
2.7 Análise dos dados.....	58
3 RESULTADOS.....	58
4 DISCUSSÃO.....	64

5 CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS.....	66

CAPÍTULO III

“ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATIVA E PASTAGEM NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO”	72
RESUMO.....	72
ABSTRACT.....	73
1 INTRODUÇÃO.....	74
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	76
2.1 Caracterização da área de estudo.....	76
2.2 Amostragem de solo.....	79
2.3 Análise química do solo.....	79
2.4 Densidade do solo.....	80
2.5 Análise granulométrica.....	81
2.6 Determinação do carbono e nitrogênio total.....	83
2.7 Análise dos dados.....	84
3 RESULTADOS.....	84
4 DISCUSSÃO.....	88
5 CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS.....	90

CAPÍTULO IV

“IMPACTO DA CONVERSÃO DA CAATINGA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E PASTAGEM NA QUALIDADE DOS SOLOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO”	95
RESUMO.....	95
ABSTRACT.....	96
1 INTRODUÇÃO.....	97
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	99
2.1 Caracterização da área de estudo.....	99
2.2 Amostragem do solo e análises.....	103
2.3 Análise estatística.....	105
3 RESULTADOS.....	105

3.1 Impactos do uso da terra na qualidade dos solos solo.....	105
3.2 Impactos da mudança de uso da terra sobre os atributos indicadores da qualidade do solo.....	110
4 DISCUSSÃO.....	119
4.1 Impacto do uso da terra na qualidade dos solos.....	119
4.2 Impactos da mudança de uso da terra sobre os atributos indicadores da qualidade do solo.....	121
5 CONCLUSÕES.....	122
REFERÊNCIAS.....	123
APÊNDICE.....	130

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

Cerca de 73% da região Nordeste do Brasil é ocupada pelo semiárido brasileiro, que é caracterizado pela ocorrência de altas temperaturas, baixa precipitação pluvial (< 800 mm), solos pouco intemperizados e baixa produção de biomassa vegetal (MAIA et al., 2006; MARINHO et al., 2019). Estas características, associadas ao uso indiscriminado dos recursos naturais, acelera os processos de degradação da biodiversidade e da qualidade do solo (CARDOSO et al., 2015; SANTOS et al., 2019).

A resposta dos atributos do solo à conversão da vegetação nativa depende do tipo de uso específico da terra que é adotado. De modo geral, a adoção de sistemas agropecuários afeta a qualidade do solo, no entanto, a intensidade dessa alteração está relacionada ao tipo de manejo do solo (MEDEIROS et al., 2020). Como a principal prática de uso da terra, no semiárido brasileiro, é o corte e queima da vegetação nativa (Caatinga), seguido do revolvimento do solo para introduzir culturas agrícolas ou pastagens, é necessário explorar como essa mudança afeta a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e as propriedades do solo nessa região (SOUSA et al., 2012).

Vários estudos mostraram que mudanças de uso da terra alteram os estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo (BARRETO et al., 2014; MACHADO et al., 2014; FIGUEIREDO et al., 2018; BARBOSA et al., 2019; DIAS et al., 2019). Porém, em muitos casos, dados simples de COT podem não detectar adequadamente as alterações na dinâmica do carbono orgânico do solo (COS), tornando-se necessário selecionar frações específicas da MOS, que melhor detectem as variações no COT provocadas pelas mudanças no uso e manejo da terra (FERREIRA et al., 2014).

Sendo assim, é de fundamental importância estudar além do COT e NT, os compartimentos da MOS, que de acordo com Duxbury et al. (1989) diferem em tempo de residência no solo e susceptibilidade à decomposição microbológica, sendo ordenados em quatro frações: compartimento ativo, constituído pela biomassa microbiana do solo; compartimento lábil, de compostos prontamente oxidados; compartimento físico ou estruturalmente protegido, associado aos agregados do solo; e, compartimento passivo ou recalcitrante, representado pelas substâncias húmicas (SH).

A substituição da vegetação nativa por sistemas agrícolas altera a dinâmica do aporte de resíduos orgânicos e sua taxa de decomposição, podendo reduzir de forma acentuada os estoques de COT (ARAÚJO et al., 2011; CARDOSO et al., 2015; SANTOS et al., 2019). Na região semiárida brasileira, Oliveira et al. (2015) observaram que a sucessão de milho e feijão diminuiu 30% do COT na camada de 0-5 cm em comparação com a vegetação nativa. A redução do potencial dos solos agrícolas em armazenar COT, é atribuída principalmente ao manejo inadequado do solo, tornando-o mais suscetível à erosão, com perdas de MOS e nutrientes, resultando em perda de produtividade (AGUIAR et al., 2010). No sistema de plantio convencional, o frequente revolvimento do solo provoca redução da sua estabilidade estrutural (ALTHOFF et al., 2016), expondo a MOS à maior ação dos microorganismos (GUIMARÃES et al., 2013), por consequência, reduz os estoques de COT, C da biomassa microbiana (C_{mic}) (Marinho et al., 2016), C das frações oxidáveis e substâncias húmicas (SH) (SANTOS et al., 2019).

A conversão da vegetação nativa em pastagem sob manejo inadequado também afeta várias propriedades e funções do solo (LEITE et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016). O pastejo contínuo contribui para o aumento da compactação do solo por meio do pisoteio dos animais, o que causa a redução da porosidade total do solo e o aumento da densidade do solo (PEI et al., 2008). Inversamente, sistemas mais conservacionistas, com maior aporte de resíduos orgânicos e menor mobilização do solo, como as pastagens bem manejadas, têm se mostrado eficientes em manter e, às vezes, elevar os estoques de COT e NT, preservando a qualidade do solo (LOSS et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015; CAMPOS et al., 2016).

Diante deste cenário, é possível verificar a fragilidade dos solos da região semiárida brasileira em termos de decomposição da MOS e alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos. Portanto, existe a necessidade da elaboração de técnicas de manejo que contribuam para a manutenção da sustentabilidade do meio edáfico (MARINHO et al., 2016). No entanto, para a determinação da qualidade do solo é necessário um grande número de dados e análises, o que na maioria das vezes, tornam as pesquisas inviáveis por razões financeiras, logísticas ou operacionais, gerando incertezas quanto ao procedimento de amostragem (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2019).

Neste contexto, o emprego de técnicas de análises multivariadas podem ajudar na avaliação dos dados, por exemplo, reduzindo e simplificando a estrutura dos dados (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2019). O emprego da análise de componentes principais (ACP) é viável quando se deseja reduzir o número de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis com uma perda mínima de informação, enquanto a análise de agrupamentos tem como finalidade

classificar uma amostra de objetos em um número menor de grupos, com base em suas similaridades (HAIR JÚNIOR et al., 2009). Essas técnicas têm sido empregadas para compreender melhor, por exemplo, as variações da qualidade do solo, causadas pelos diferentes usos e manejos (SOUSA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015; CAVALCANTE et al., 2016; MARINHO et al., 2016; MEDEIROS et al., 2017; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2019).

Desta forma, a aplicação dos métodos de análises multivariadas surgem como alternativa eficiente para auxiliar o pesquisador a melhor compreender um conjunto de variáveis estudadas e suas interações com os diferentes sistemas de manejo, podendo assim determinar quais atributos melhor discriminam cada situação de uso do solo (MOTA et al., 2014).

2 HIPÓTESE

A adoção de sistemas agropecuários, com preparo convencional do solo, compromete os estoques de COT, NT, os compartimentos da MOS e a qualidade dos solos no semiárido brasileiro. No entanto, a intensidade dessa alteração depende do sistema de manejo adotado, do tipo de solo e do tempo de uso da terra.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Avaliar a dinâmica da matéria orgânica do solo em função do tempo, profundidade e dos diferentes sistemas de uso do solo (agricultura, pastagem e vegetação nativa) em diferentes tipos de solos na região semiárida do Nordeste brasileiro.

3.2 ESPECÍFICOS

Avaliar como o tempo de uso da terra, sob agricultura e pastagem, afeta os estoques de COT, NT, compartimentos da MOS e a qualidade dos solos.

Avaliar o impacto, em profundidade, da conversão de vegetação nativa em sistemas agrícolas e pastagem nos estoques de COT, NT e compartimentos da MOS.

Analisar como os diferentes tipos de solo, sob diferentes sistemas de uso da terra, afetam os estoques de COT, NT e compartimentos da MOS.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Semiárido nordestino

A região semiárida brasileira é a maior do mundo (SOUSA et al., 2017), com uma área de 1.127.953 km², que corresponde a 13,25% do território nacional, 72,57% da região Nordeste e abrange 1.262 municípios (IBGE, 2019). A população do semiárido é aproximadamente 27 milhões de habitantes e concentra a maior parte da população rural do Brasil (INSA, 2018; IBGE, 2019). O espaço geográfico do semiárido brasileiro estende-se por todos os estados da região Nordeste e norte de Minas Gerais (INSA, 2018) (Figura 1).

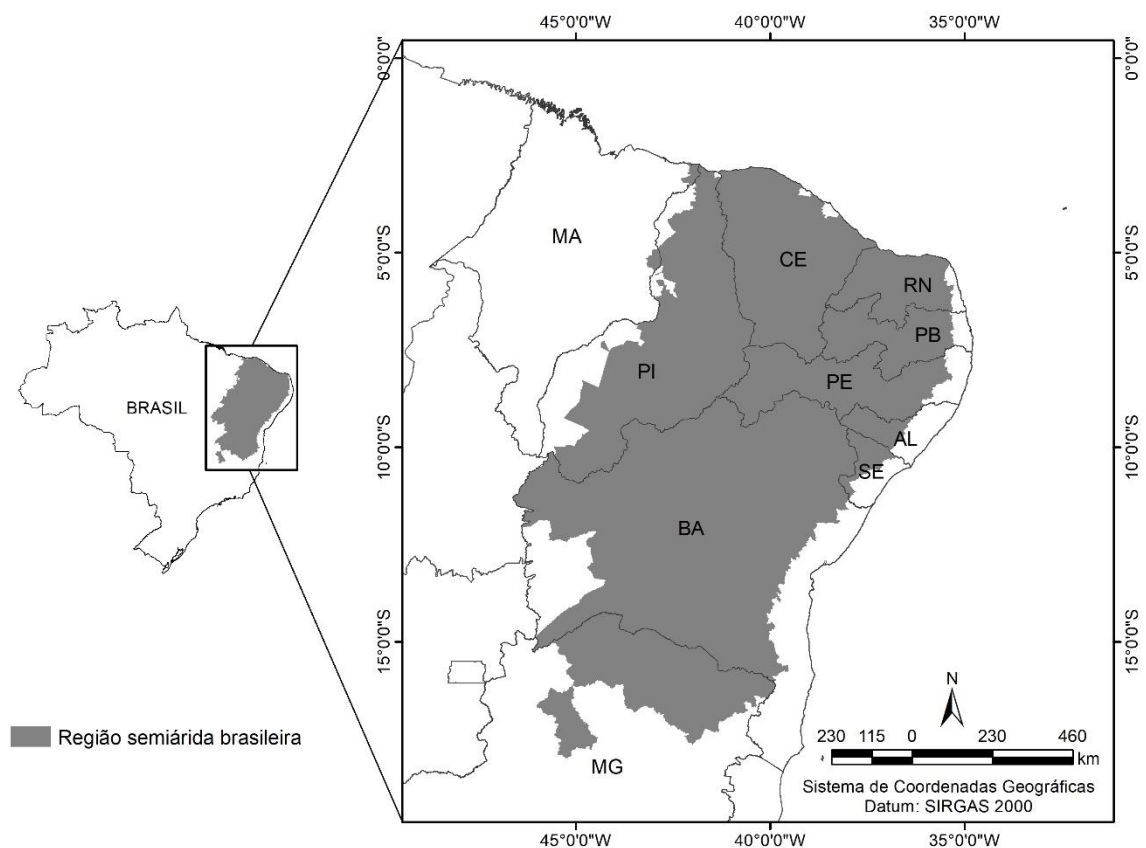


Figura 1. Localização do semiárido brasileiro.

O semiárido brasileiro localiza-se na região intertropical e caracteriza-se por clima quente com temperatura média anual oscilando entre 23 e 27 °C, umidade relativa do ar de 50% (ALTHOFF et al., 2018; MEDEIROS et al., 2020), precipitações pluviais anuais baixas e bastante irregulares, tanto no espaço quanto no tempo (SOUSA et al., 2017). A precipitação

pluvial média anual é de aproximadamente 800 mm, sendo que 54% da região fica na faixa de 500-750 mm (valor razoável para produção agrícola), 29% oscilam entre 750-1000 mm e apenas 17% da região têm médias anuais entre 250-500 mm, além de elevada evapotranspiração potencial de 2000 mm ano⁻¹, a variabilidade temporal e espacial das chuvas ficam limitadas entre 2 e 4 meses por ano, proporcionando a região semiárida um balanço hídrico negativo durante 8 a 10 meses por ano (SALCEDO; SAMPAIO, 2008).

O embasamento geológico é basicamente cristalino, com solos pouco intemperizados e alto coeficiente de escoamento superficial (ALTHOFF et al., 2016; SOUSA et al., 2017). As principais classes de solos na região semiárida são: Latossolo (21%), Neossolo Litólico (19%), Argissolo (15%), Luvisolo (13%), Planossolo (11%), Neossolo Quartzarênico (9%), Cambissolo (4%) e Neossolo Regolítico (4%) (CUNHA et al., 2010). Latossolos e Argissolos são solos bem desenvolvidos, profundos, bem drenados, com boa capacidade de armazenamento de água, baixa fertilidade natural e podem ser utilizados para produção agrícola e pastagem; Neossolos Litólicos e Luvisolos são solos rasos e geralmente pedregosos, com alta fertilidade natural, utilizados como substratos para pastagem natural e agricultura de sequeiro; Planossolos e Cambissolos podem ser destinados para o plantio de culturas agrícolas anuais ou perenes e pastagem com pecuária extensiva, no entanto, apresentam como limitações o risco de erosão, pedregosidade e sistema de drenagem ruim, podendo causar, inundação em ambientes de várzea; Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Regolíticos são solos com textura arenosa, baixa fertilidade natural, drenagem excessiva o que permite a mecanização agrícola, agricultura irrigada, pastagem e pecuária extensiva, porém, apresentam baixa fertilidade natural, baixos teores de MOS e baixa capacidade de retenção de água (EMBRAPA, 2013, 2014).

De acordo com Althoff et al. (2016) a caatinga é o tipo de vegetação que cobre a maior parte da região semiárida do Nordeste brasileiro. Essa vegetação é caracterizada por ser uma floresta seca e decídua, composta por um grande número de espécies que apresentam espinhos e folhas pequenas como forma de adaptação aos grandes períodos de seca comuns na região (ALVES et al., 2009; MEDEIROS et al., 2009). Conforme Ferraz et al. (2014), um dos maiores desafios é a consolidação de um manejo sustentável, devido a Caatinga ser o bioma brasileiro menos estudado e conseqüentemente o menos protegido. Trata-se do único bioma exclusivamente brasileiro, ou seja, grande parte do seu patrimônio biológico não pode ser encontrado em nenhum outro lugar do planeta.

Oyama e Nobre (2003) avaliaram os impactos das mudanças climáticas sobre a estabilidade dos biomas predominantes no Brasil, e indicaram que o bioma Caatinga está entre

os mais vulneráveis em um cenário de aumento das temperaturas globais e perdas da qualidade do solo devido ao seu uso intensivo com práticas de manejo inadequadas. Além disso, a sua vulnerabilidade aos efeitos das mudanças edafoclimáticas representa um forte fator de pressão para o processo de desertificação. Considerando, portanto, seu predomínio e sua reconhecida fragilidade, o semiárido tem sido o foco da maior parte dos estudos dentro do bioma Caatinga.

4.2 Impacto da mudança de uso da terra no COT, NT e compartimentos da MOS

A região semiárida brasileira, além das limitadas condições edafoclimáticas também apresenta o predomínio de sistemas agropecuários basicamente extrativistas (MAIA et al., 2008). Atualmente, essa região, tem sido utilizado como terras agrícolas e pastagens, e cerca de 80% da área original sofreu mudanças no uso da terra (MENEZES et al., 2012). O manejo inadequado do solo tem contribuído para perdas significativas na diversidade da fauna, flora, estoques de MOS e qualidade do solo (CARDOSO et al., 2015; SANTOS et al., 2019). Com a extração de cerca de 10 milhões de m³ de madeira por ano, mais de 90% da área de cobertura florestal, do semiárido brasileiro, é representada por vegetação florestal secundária em regeneração, oriunda do ciclo de pousio da agricultura de corte e queima ou como rebrota da produção de lenha (GARIGLIO et al., 2010).

As práticas inadequadas de manejo do solo aceleraram a degradação de áreas no semiárido, causando problemas ambientais, ecológicos e socioeconômicos (SAMPAIO, 2003). A intensa extração de lenha e madeira para atender a demanda familiar e industrial, juntamente com o desmatamento indiscriminado, seguido pela queima dos resíduos florestais para o estabelecimento de sistemas agrícolas com preparo convencional do solo e períodos de pousio inadequados (ALTHOFF et al., 2016), contribuem enormemente para a redução do aporte de material orgânico ao solo nos sistemas manejados comparativamente à vegetação nativa (ARAÚJO et al., 2011; CARDOSO et al., 2015; SANTOS et al., 2019). A soma dessas ações resulta em aumento da erosão do solo, rápida decomposição da MOS (GUIMARÃES et al., 2013) e oxidação do COT favorecendo a redução de seus estoques no solo (ALTHOFF et al., 2016) e aumentando a emissão de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera (NUNES et al., 2011). Trindade et al. (2011) relatam que as repetidas queimadas e o menor tempo de pousio representam uma contínua perda de nutrientes, maior exposição do solo, retirada da serapilheira e o aumento da mineralização orgânica.

Como a vegetação nativa da Caatinga é frequentemente desmatada para introduzir sistemas agrícolas, é necessário explorar como essas mudanças no uso da terra afetam a

dinâmica da MOS e as propriedades do solo, visto que em áreas de cultivo geralmente ocorrem perdas da qualidade do solo (FERREIRA et al., 2014), enquanto que nas pastagens, estudos mostram que os estoques de COT podem ser muito próximos do que se encontra em áreas de vegetação nativa, ou até mesmo superiores, quando são bem manejadas (LOSS et al., 2014; SILVA et al., 2017). No entanto, da mesma forma que pastagens bem manejadas estão associadas a maiores estoques de COT, as pastagens consideradas degradadas apresentam estoques de C comparativamente menores (SANTANA et al., 2011; GUARESCHI et al., 2013).

Ferreira et al. (2014), avaliando o impacto de diferentes usos da terra nos estoques de COT, NT, Cmic e Nmic no semiárido do Piauí, observaram que as áreas de pastagens apresentaram estoques maiores que as áreas com preparo convencional do solo cultivadas com milho e feijão-caupi. Para estes autores, a conversão da vegetação nativa em terras cultiváveis reduz os estoques de COT, NT, Cmic e Nmic por meio da redução da quantidade de insumos vegetais no solo, do aumento das taxas de erosão e da aceleração da decomposição da MOS devido ao maior revolvimento do solo e consequentemente quebra do agregados. Por outro lado, os maiores estoques de COT, NT, Cmic e Nmic nas pastagens podem ser explicados pela maior rotatividade das raízes nas pastagens do que nas culturas, devido à remoção regular da biomassa das plantas acima da superfície, ou ainda, o uso combinado de fertilizantes minerais e orgânicos com irrigação que promove maior mineralização de C e N, aumento da produção de biomassa vegetal e, portanto, maior aporte de matéria orgânica no solo.

As pastagens, devido às características intrínsecas das gramíneas, como denso sistema radicular que promove a entrada de resíduos orgânicos mais lábeis através de exsudatos radiculares (OLIVEIRA et al., 2016), associados a adição de esterco e ausência de preparo do solo, contribuem para a manutenção da umidade do solo, temperaturas mais baixas da superfície, aumento das taxas de infiltração de água, redução da erosão do solo e densidade do solo (PEI et al., 2008; ARAÚJO et al., 2014), o que pode aumentar os estoques de COT, NT, Cmic e Nmic na camada mais superficial.

Com a finalidade de criar estratégias de manejo do solo que reduzam o impacto da agricultura sobre o ambiente, estudos visando uma melhor compreensão da dinâmica da MOS em áreas de cultivo e vegetação nativa não ficam restritos apenas a avaliação dos teores de COT, NT e ao compartimento ativo da MOS (OLIVEIRA et al., 2015; MEDEIROS et al., 2017; ASSIS et al., 2017; BARBOSA et al., 2019), mas também à análise do compartimento lábil, de compostos prontamente oxidados, e do compartimento passivo ou recalcitrante (MARTINS et al., 2015; MARINHO et al., 2016; FIGUEIREDO et al., 2018; DIAS et al., 2019; SANTOS et

al., 2019), formado pelas substâncias húmicas (SH) (ácidos fúlvicos, húmicos e humina) que representam cerca de 80 a 90% do COT (DUXBURY et al., 1989).

Santos et al. (2019) avaliando as frações de C oxidável, estoques de COT e SH em solos com diferentes usos da terra no semiárido de Pernambuco, observaram que o sistema de cultivo com milho apresentou valores inferiores de carbono nas frações oxidáveis (principalmente F2, F3 e F4), C não lábil (C_{NL}), COT e C das frações de SH, quando comparado a área com vegetação nativa na camada 0-5 cm. Para estes autores, frações mais instáveis de C podem se transformar rapidamente em moléculas mais complexas de alto peso molecular, no entanto, a conversão do sistema natural para o cultivo agrícola convencional contribuiu para a não estabilização do carbono do solo e manutenção da MOS, pois ao promover a degradação física do solo, principalmente pela ação de implementos, facilita a aeração do solo e a ação microbiana, acelerando a oxidação da MOS. Desta forma, a perda de material orgânico mais recalcitrante, implica negativamente a qualidade do solo, uma vez que a MO com maior resistência à oxidação contribui para melhorar as propriedades físicas do solo, como a estrutura e a estabilidade dos agregados (FULTZ et al., 2013).

A agricultura e pecuária de subsistência na região semiárida dependem quase que totalmente do fornecimento de nutrientes a partir da decomposição da MOS. Pesquisas que buscam avaliar as mudanças nos estoques de COT, NT e compartimentos da MOS, causadas pelos diferentes sistemas de manejo de culturas e pastagens, são mais desenvolvidos em regiões de clima tropical e temperado (COSCIONE et al., 2014; LOSS et al., 2015; BITENCOURT et al., 2016; ASSIS et al., 2017; SILVA et al., 2017; FIGUEIREDO et al., 2018; BARBOSA et al., 2019; DIAS et al., 2019). Assim, se faz necessário aumentar a quantidade e qualidade das informações disponíveis sobre os estoques de COT, NT, C e N da biomassa microbiana, C das frações oxidáveis, SH e dinâmica da MOS na região semiárida do Nordeste brasileiro.

4.3 Uso de métodos de análise multivariada como ferramenta para distinção de ambientes no semiárido nordestino

4.3.1 Análise de componentes principais

A retirada da cobertura vegetal nativa e o aumento da intensidade do uso do solo têm levado à alterações nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas, principalmente na camada arável, resultando em diminuição da fertilidade do solo (FREITAS et al., 2014). Para a determinação da qualidade do solo é necessário um grande número de dados e análises, em que

na maioria das vezes, torna as pesquisas inviáveis por razões financeiras, logísticas ou operacionais, gerando incertezas quanto ao procedimento de amostragem (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2019).

Desse modo, a análise multivariada de dados pode contribuir para compreensão da função desempenhada por cada atributo analisado, auxiliando o pesquisador a identificar qual ou quais devem ser utilizados como indicadores básicos da qualidade do solo (ARAÚJO et al., 2013; FREITAS et al., 2014). A principal vantagem dessa técnica é sua capacidade em trabalhar com diversas variáveis na tentativa de entender suas complexas relações, o que não é possível por meio de métodos uni ou bivariados (HAIR JÚNIOR et al., 2009).

Os métodos multivariados são escolhidos de acordo com os objetivos da pesquisa. Quando se deseja verificar qual a semelhança ou diferença existente entre as amostras, o método indicado será a análise de componentes principais (ACP) (HAIR JÚNIOR et al., 2009). A ACP permite estudar simultaneamente diversas variáveis de amostras de solo de vários locais em função de outras condições experimentais, como tempo de amostragem, profundidade e rotação de culturas (BITENCOURT et al., 2016). Isto é possível porque a ACP reduz a dimensionalidade da matriz de dados originais, ou seja, reduz o número de variáveis avaliadas, agrupando aquelas com maior similaridade (VALLADARES et al., 2008). As primeiras componentes principais têm maior contribuição das variáveis que apresentam maior variância no conjunto das medidas experimentais realizadas, o que consequentemente facilita a visualização dos dados em dispersões gráficas no espaço bi ou tridimensional, de fácil interpretação geométrica (COSCIONE et al., 2014).

Para a determinação das componentes principais, é necessário calcular a matriz de variância-covariância, ou a matriz de correlação, encontrar os autovalores e os autovetores e, por fim, ajustar as combinações lineares, que serão as novas variáveis, denominadas de componentes principais (CP), as quais possuem independência estatística e são não correlacionadas entre si (HAIR JÚNIOR et al., 2009).

Os autovetores são valores que representam o peso de cada variável em cada componente (eixos) e funcionam como coeficientes de correlação, que variam de -1 até $+1$, já os autovalores são valores que representam a contribuição relativa de cada componente para explicar a variação total dos dados, existindo um para cada componente (HAIR JÚNIOR et al., 2009; ARRUDA, 2014).

Para definição do número de componentes principais adota-se o critério de Kaiser (1958) que sugere manter na análise as CPs correspondentes aos autovalores maiores que 1. O grau de importância de uma variável na discriminação dos usos é avaliado pelo seu coeficiente

de correlação com as CPs selecionadas, de modo que, aquelas que apresentam valores iguais ou maiores que 0,6 (em módulo) são consideradas mais discriminantes na comparação dos manejos do solo (HAIR JÚNIOR et al., 2009; ARAÚJO et al., 2013).

Diversas pesquisas têm aplicado a técnica de ACP para análise de dados de solos. Cavalcante et al. (2016) avaliando os atributos físicos e químicos em Neossolo Litólico sob diferentes usos agrícolas no semiárido do Rio Grande do Norte, concluíram que os atributos químicos (Al^{3+} e $\text{H} + \text{Al}$) foram os indicadores mais sensíveis na separação entre os ambientes. Marinho et al. (2016), analisando frações quantitativas da MOS e atributos físico-químicos de um Cambissolo em áreas sob vegetação nativa, agricultura, colúvio e zona agroecológica no semiárido nordestino, concluíram, que os parâmetros químicos (P , K^+ e Ca^{2+}) e frações lábeis e recalcitrantes da MOS foram indicadores de separação de ambientes, sendo o C lábil (C_L) e o índice de manejo de carbono (IMC) os mais sensíveis. Mota et al. (2014) recomendam o uso da ACP como ferramenta auxiliar em pesquisas para avaliar a qualidade física do solo, visto que, em seus estudos, esta técnica foi essencial para melhor compreender o conjunto de variáveis estudadas e sua interação com os usos do solo, sendo possível determinar quais atributos discriminavam cada situação de uso do solo.

4.3.2 Análise de agrupamentos

A análise de agrupamentos trata-se de um grupo de técnicas multivariadas cuja finalidade principal é agregar objetos com base nas similaridades que eles possuem, sendo que os agrupamentos resultantes dos objetos devem exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos) (VICINI, 2005; LINDEN, 2009). A depender da área em que esteja sendo utilizada (psicologia, biologia, sociologia, economia, engenharia e administração) essa técnica pode ser chamada de análise Q, construção de tipologia, análise de classificação e taxonomia numérica (HAIR JÚNIOR et al., 2009).

A análise de agrupamentos geralmente envolve pelo menos três passos: I) a medida de alguma forma de similaridade ou associação entre as entidades para determinar quantos grupos realmente existem na amostra; II) o real processo de agrupamento, onde entidades são particionadas em grupos (agrupamentos), caso os dados não estejam com a mesma unidade de medida, deve-se fazer a padronização dos mesmos; e, III) estabelecer o perfil das entidades para determinar sua composição, escolhendo uma medida apropriada de distância, que irá determinar o quão semelhantes, ou diferentes, são os objetos que estão sendo agrupados (PEREIRA, 2004).

De acordo com Vicini (2005) a medida de similaridade diz o quanto esses objetos são parecidos, enquanto que a dissimilaridade explica o menor grau de semelhança entre eles. Um exemplo de similaridade é o coeficiente de correlação de Pearson e de dissimilaridade a distância euclidiana. Para realizar o agrupamento das amostras também é necessário escolher qual o método de encadeamento entre os objetos é o mais apropriado. O método do vizinho mais próximo (*Single Linkage*) é utilizado quando se deseja obter a menor distância entre objetos de dois agrupamentos, enquanto que o método do vizinho mais distante (*Complete Linkage*) se baseia na distância máxima entre objetos em dois agrupamentos (HAIR JÚNIOR et al., 2009; LINDEN, 2009).

O emprego da análise de agrupamento pode ser verificado nos trabalhos de Oliveira Júnior et al. (2019) avaliando a caracterização ambiental de solos em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, observaram a formação de três grupos: I) representado por uma área de vegetação preservada, com altos teores de MOS e umidade; II) contendo amostras com menor conteúdo de MOS e umidade, indicando solos antropizados; e, III) com conteúdo intermediário de MOS e umidade, onde o uso e ocupação da terra exibem menor vegetação. Araújo et al. (2013) objetivando determinar quais atributos físicos, químicos e biológicos mais explicam as modificações nas propriedades dos solos da Chapada do Araripe-CE, por meio da análise multivariada de dados, concluíram que a análise de agrupamentos evidenciou a formação de três grupos: um com amostras da floresta nacional do Araripe e dois com amostras da unidade de manejo florestal em diferentes estados de recuperação.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, T. S. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v.79, p.277-289, 2010.
- ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; CARVALHO, A. L.; PINTO, A. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; OMETTO, J. P. H. B.; VON RANDOW, C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Climate change impacts on the sustainability of firewood harvest and vegetation and soil carbono stocks in a tropical dry forest in Santa Teresina municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.360, p.367-375, 2016.

ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; PINTO, A. S.; PAREYN, F. G. C.; CARVALHO, A. L.; MARTINS, J. C. R.; CARVALHO, E. X.; SILVA, A. S. A.; DUTRA, E. D.; SAMPAIO, E. V. S. B. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. *Agric. Ecosyst. Environ.* v.254, p.26-34, 2018.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S.; Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Caatinga**, v. 22, p. 126-135, 2009.

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 Amazonica**. v.41, p.103-114, 2011.

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. S.; FEITOSA, J. V.; SILVA, F. J. A.; NESS, R. L. L.; FRISCHKORN, H.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; KERNTOPF, M. R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na chapada do Araripe. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.37, p.754-762, 2013.

ARAÚJO, E. A.de; KER, J. C.; MENDONÇA, E. de S; SILVA, I. R da; OLIVEIRA, E. K. 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.

ARAÚJO, J. K. S.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; GALINDO, I, C. L.; SOUZA JÚNIOR, V. S. S. Humic haplustox under different land uses in a High altitude environment in the agreste region Of pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.38, p.1337-1349, 2014.

ARRUDA, L. E. V. **Atributos físicos e químicos de um Latossolo submetido a diferentes usos agrícolas, Martins –RN**. 54f. Dissertação (Mestrado em Manejo de solo e Água no Semiárido), 54f. Universidade Federal Rural do Semiárido, Luiz Eduardo Vieira de Arruda, Mossoró, 2014.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; SILVEIRA, A. L. R.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E. Biological soil properties in integrated crop-livestock-forest systems. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.41, 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160209>

BARBOSA, M. A.; FERRAZ, R. L. S.; COUTINHO, E. L. M.; COUTINHO NETO, A. M.; SILVA, M. S.; FERNANDES, C.; RIGOBELLO, E. C. Multivariate analysis and modeling of soil quality indicators in long-term management systems. **Science of the Total Environment**, v.657, p.457-465, 2019.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Carbono das frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades. **Scientia Forestalis**, v.42, p.581-590, 2014.

BITENCOURT, D. G. B.; BARROS, W. S.; TIMM, L. C.; SHE, D.; PENNING, L. H.; PARFITT, J. M. B.; REICHARDT, K. Multivariate and geostatistical analyses to evaluate lowland soil levelling effects on physico-chemical properties **Soil & Tillage Research**, v.156, p.63-73, 2016.

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, 2016. doi:10.4136/1980-993X

CARDOSO, J. A. F.; LIMA, A. M. N.; CUNHA, T. J. F.; RODRIGUES, M. S.; HERNANI, L. C.; AMARAL, A. J.; OLIVEIRA NETO, M. B. Organic Matter Fractions in a Quartzipsamment under Cultivation of Irrigated Mango in the Lower São Francisco Valley Region, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.39, p.1068-1078, 2015.

CAVALCANTE, J. S. J.; PORTELA, J. C.; MELO, S. B.; MELO, M. R. S.; COSME, C. R.; COSTA, J. D.; GURGEL, G. C. S. Attributes of Neosols associated with agricultural uses in the Semi-arid Region of Rio Grande do Norte, Brazil. **Journal of Soil Science and Environmental Management**, v.7, p.184-190, 2016.

COSCIONE, A. R.; SILVA, L. F. M.; MARIA, I. C.; ANDRADE, C. A.; FERRACINI, V. L. Solução do solo e análise de componentes principais para monitoramento da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p.1654-1662, 2014.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L.; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, p.49-87, 2010.

DIAS, F. P. M.; HÜBNER, R.; NUNES, F. J.; LEANDRO, W. M.; XAVIER, F. A. S. Effects of land-use change on chemical attributes of a Ferralsol in Brazilian Cerrado. **Catena**, v.177, p.180-188, 2019.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C., ed. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, Niftal Project, p.33-67, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2013, 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. **Solos do Nordeste**. Recife-PE, 2014.

FERRAZ, J. S. F.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, M. V. F. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de caatinga, no município de floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**. v.38, p.1055-1064, 2014.

FERREIRA, A. C. C.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; EISENHAUER, N. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semi-arid region of Northeast Brazil. **Land Degradation & Development**, Published online in Wiley Library, DOI: 10.1002/ldr.2282, 2014.

FIGUEIREDO, C. C.; OLIVEIRA, A. D.; SANTOS, I. L.; FERREIRA, E. A. B.; MALAQUIAS, J. V.; SÁ, M. A. C.; CARVALHO, A. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. Relationships between soil organic matter pools and nitrous oxide emissions of agroecosystems in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v.618, p.1572-1582, 2018.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; SOUZA JÚNIOR, P. R.; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.8, p.155-164, 2014.

FULTZ, L. M.; MOORE-KUCERA, J.; ZOBECK, T. M.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; WESTER, D. B.; ALLEN, V. G. Organic carbon dynamics and soil stability in five semiarid agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.181, p.231-240, 2013.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A. C.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Ministério do Meio Ambiente, 2. ed – Serviço Florestal Brasileiro. Brasília. 2010, 368p.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2615-2628, 2013.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; SILVA, T. O.; SILVA, T. L.; DIAS, N. S.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil & Tillage Research**, v.126, p.177-182, 2013.

HAIR JÚNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. (2009) *Análise Multivariada de Dados*. 6. ed. Dados Eletrônicos. – Porto Alegre: Bookman, p.96-142.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**, 2019. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

INSA - Instituto Nacional do Semiárido. **Agricultura temporária: Semiárido brasileiro 2017, 2018**. Disponível em: <https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Tabela%20Agricultura_RESUMO%203.pdf>. Acesso em 18 de setembro de 2019.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v.23, p.187-200, 1958.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; HOLANDA NETO, M. R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1257-1263, 2013.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, p.18-36, 2009.

LOSS, A.; COSTA, E. M.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J. Agregação, matéria orgânica e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad Agronomía**, v.133, p.1-8, 2014.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono Orgânico Total e Agregação do Solo em Sistema de Plantio Direto Agroecológico e Convencional de Cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1212-1224, 2015.

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

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**. v.30, n.5, p.837 – 848, 2006.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.381-392, 2008.

MARINHO, A. C. C. S.; PORTELA, J. C.; SILVA, E. F.; DIAS, N. S.; SOUSA JUNIOR, F. S.; SILVA, A. C.; SILVA, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p.32-41, 2016.

MARINHO, J. O.; CAMPOS, J. O.; LIMA, V. R. P. A importância das cisternas de placas na zona rural de Serra Redonda - PB: uma análise da comunidade Torre. **GEOTemas**, v. 09, p.7-27, 2019.

MARTINS, C. M.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOARES, E. M. B.; SANTOS, S. R. Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de Minas Gerais. **Revista Caatinga**, v.28, p.10-20, 2015.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 165-174, 2009.

MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; SANTOS, L. A. R.; LIMA, J. R. S.; ALMEIDA-CORTÊZ, J. S.; HAMMECKER, C.; LARDY, L.; CURNAC, L. Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil. **Catena**, v.151, p.137-146, 2017.

MEDEIROS, A. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. D.; GOMES, T. C. A. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.287, p.1-9, 2020.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GIONGO, V.; PEREZ-MARIN, A. M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v.72, p.643-653, 2012.

MOTA, J. C. A.; ALVES, C. V. O.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Uni and multivariate analyses of soil physical quality indicators of a Cambisol from Apodi Plateau – CE, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.140, p.66-73, 2014.

NUNES, R. S.; LOPES, A. A.; SOUSA, D. M. G.; MENDES, I. C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.35, p.1407-1419, 2011.

OLIVEIRA, S. P.; LACERDA, N. B.; BLUM, S. C.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Organic carbono and nitrogen stocks in soils of northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. **Land Degradation & Development**, v.26, p.9-21. 2015.

OLIVEIRA, S. P.; CÂNDIDO, M. J. D.; WEBER, O. B.; XAVIER, F. A. S.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, v.137, p.508-516, 2016.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. I.; MENDONÇA, L. A. R.; FONTENELE, S. B.; ARAÚJO, A. O.; BRITO, M. G. S. L. Statistical multivariate analysis applied to environmental characterization of soil in semiarid region. **Revista Caatinga**, v.32, p.200-210, 2019.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letter**. v.30, p.21-99, 2003.

PEI, S.; FU, H.; WAN, C. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.124, p.33-39, 2008.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de Dados Qualitativos: Estratégias Metodológicas para as Ciências da Saúde, Humanas e Sociais**. 3.ed. 1.reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p.101-151, 2004.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. 2008. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. P.419-441. In: In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora. p. 129-142, 2003.

SANTANA, G. S.; DICK, D. P.; JACQUES, A. V. A.; CHITARRA, G. S. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.461-472, 2011.

SANTOS, U. J.; DUDA, G. P.; MARQUES, M. C.; MEDEIROS, E. V.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; BROSSARD, M.; HAMMECKER, C. Soil organic carbon fractions and humic substances are affected by land uses of Caatinga forest in Brazil, **Arid Land Research and Management**, DOI:10.1080/15324982.2018.1555871, 2019.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; FERNANDES, J. C. F.; FONSECA JÚNIOR, A. M.; GAIA-GOMES, J. H.; MENEZES, C. E. G. Soil organic matter fractions, chemical attributes and aggregation under forestry and agricultural systems. **Comunicata Scientiae**, v.8, p.459-468, 2017.

SOUSA, F. P.; FERREIRA, T. O.; MENDONÇA, E. S.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing Desertification. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.148, p.11-21, 2012.

SOUSA, A. B.; COSTA, C. T.; FIRMINO, P. R. A.; BATISTA, V. S. Tecnologias sociais de convivência com o semiárido na região do Cariri cearense. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.34, p.197-220, 2017.

TRINDADE, E. F. S.; KATO, O. R.; CARVALHO, E. J. M.; SERAFIM, E. C. S. Disponibilidade de fósforo em solos manejados com e sem queima no nordeste paraense. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v.6, p.7-19, 2011.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; PEREIRA, M. G.; DOS ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p.285-296, 2008.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Trabalho de conclusão de curso (especialização), 215f. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2005.

CAPÍTULO II

IMPACTO DA MUDANÇA DE USO DA TERRA NOS ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM SOLOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

A adoção de sistemas agrícolas com preparo convencional do solo contribui para alterações significativas nos estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), comprometendo, desta forma, a dinâmica da matéria orgânica do solo. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da conversão da vegetação nativa para sistemas agrícolas sobre os estoques de COT e NT do solo em função da profundidade e tempo de uso da terra em diferentes tipos de solo no semiárido brasileiro. As amostras de solo foram coletadas em áreas de vegetação nativa e agricultura em Argissolo, Cambissolo, Luvissolo, Neossolo Litólico e Planossolo em municípios inseridos no semiárido dos estados de Alagoas, Bahia e Paraíba. A profundidade de coleta variou de acordo com o tipo de solo, sendo no máximo até 100 cm. Os teores de COT e NT do solo foram quantificados por combustão via seca. Os dados foram analisados com base nos dados médios, desvio padrão e taxa de alteração dos estoques. Os resultados mostram que os sistemas agrícolas apresentaram reduções expressivas nos estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total principalmente na camada 0-10 cm. As maiores perdas ocorreram nos solos com maior teor de areia e densidade do solo, seguindo a ordem: Luvissolo > Neossolo Litólico > Planossolo > Argissolo na camada 0-50 cm. As áreas com menor tempo de uso do solo apresentaram as maiores perdas de carbono e nitrogênio. Os sistemas sob Cambissolo apresentaram ganhos nos estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total na camada 0-100 cm, sendo que nesse tipo de solo, os maiores estoques foram observados nas áreas com menor tempo de uso da terra.

Palavras chave: Matéria orgânica do solo, carbono orgânico total, manejo e uso do solo.

ABSTRACT

The adoption of agricultural systems with conventional tillage contributes to significant changes in the stocks of total organic carbon and total nitrogen, thus compromising the dynamics of soil organic matter. Thus, the objective of this work was to evaluate the impact of the conversion of native vegetation to agricultural systems on the stocks of total organic carbon and total nitrogen of the soil as a function of the depth and time of land use in different types of soil in the Brazilian semiarid. The soil samples were collected in areas of native vegetation and agriculture in Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo and Cambissolo in the semiarid of the states of Alagoas, Bahia and Paraíba. The collection depth varied according to the type of soil, up to a maximum of 100 cm. The levels of total organic carbon and total nitrogen were quantified by dry combustion. The data were analyzed based on the average data, standard deviation and rate of change of stocks. The results show that the agricultural systems showed significant reductions in the stocks of total organic carbon and total nitrogen, mainly in the 0-10 cm layer. The greatest losses occurred in soils with higher sand content and soil density, following the order: Luvisolo > Neossolo Litólico > Planossolo > Argissolo in the 0-50 cm layer. The areas with the shortest time of use of the soil presented the greatest losses of carbon and nitrogen. The systems under Cambissolo showed gains in the stocks of total organic carbon and total nitrogen in the 0-100 cm layer, and in this type of soil, the largest stocks were observed in the areas with the least time of land use.

Keywords: Soil organic matter, total organic carbon, management and land use.

INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil concentra a maior parte do semiárido brasileiro, que é caracterizado por solos pouco intemperizados, altas temperaturas, má distribuição das chuvas no tempo e no espaço, e recursos hídricos escassos (MAIA et al., 2006; MARINHO et al., 2019). A cobertura vegetal conhecida como “Caatinga”, apresenta pequena produção de biomassa vegetal e é a que prevalece no semiárido brasileiro (ALTHOFF et al., 2016). Um dos maiores desafios a ser enfrentado é a consolidação de um manejo sustentável, devido a Caatinga ser o bioma brasileiro menos estudado e consequentemente o menos protegido (FERRAZ et al., 2014).

Apesar do baixo índice de precipitação pluvial no semiárido brasileiro, a agricultura é uma das principais atividades econômicas da região, destacando-se a agricultura de subsistência, pouco tecnificada com cultivos agrícolas de sequeiro que adotam na grande maioria dos casos práticas inadequadas de manejo (ALTHOFF et al., 2018). O modelo agrícola inclui intenso desmatamento da Caatinga, seguido da queima da biomassa e períodos de pousio inadequados (ALTHOFF et al., 2016). Com uma extração anual de 10 milhões de m³ de madeira, mais de 90% da área de cobertura florestal do semiárido atualmente é representada por vegetação florestal secundária em regeneração, oriunda do ciclo de pousio da agricultura de corte e queima ou da rebrota da produção de madeira (GARIGLIO et al., 2010).

A exploração agrícola desordenada, associada à retirada da cobertura vegetal e o constante revolvimento do solo, típico do sistema de preparo convencional, intensificam o processo erosivo, culminando com a diminuição da fertilidade dos solos. Sendo esta perda associada diretamente à redução do teor de matéria orgânica do solo (MOS), nas áreas agrícolas em relação à vegetação nativa (ARAÚJO et al., 2011; MACHADO et al., 2014; CARDOSO et al., 2015; SANTOS et al., 2019).

Embora um solo produtivo seja composto por menos de 5% de MOS, é ela a principal determinante do rendimento das culturas por sua influência nas propriedades do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007; BAYER; MIELNICZUK, 2008). A MOS é constituída por aproximadamente 58% de carbono (C) e 4% de nitrogênio (N), os quais exercem papel fundamental na preservação da qualidade do solo e na manutenção de suas funções ecológicas (BAYER; MIELNICZUK, 2008). O conteúdo de C e N em um solo sob vegetação nativa representa o balanço dinâmico entre as adições do material vegetal e as suas perdas pela decomposição, mineralização, lixiviação ou erosão, enquanto que suas taxas de adição e a sua

natureza dependem do clima, da fertilidade do solo e do tipo de vegetação e manejo (SILVA; MENDONÇA, 2007; BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Neste sentido, estudos sobre o carbono orgânico do solo (COS) e nitrogênio total (NT), bem como o entendimento da sua dinâmica, são fundamentais para o uso e manejo do solo em cultivos agrícolas (ARAÚJO NETO, 2019). A quantificação do COS e NT é essencial para o conhecimento da qualidade do solo, principalmente na capacidade dos diferentes tipos de solo em responder às alterações promovidas pelo manejo (OLIVEIRA et al., 2015; SILVA et al., 2017). Diversos estudos têm evidenciado que a conversão da vegetação nativa para sistemas agrícolas altera a entrada de resíduos orgânicos e sua taxa de decomposição, promovendo a redução nos estoques de COS e NT (ARAÚJO et al., 2011; CARDOSO et al., 2015; PEGORARO et al., 2018; SANTOS et al., 2019). Sendo que estas perdas se intensificam em sistemas de cultivo convencionais (CONCEIÇÃO et al., 2017), principalmente, em regiões de clima semiárido, onde a prática de corte-queima da biomassa vegetal é comumente realizada (MARINHO et al., 2016; SOUSA NETO et al., 2018; SANTOS et al., 2019).

Em condições semelhantes de clima, vegetação e manejo, solos argilosos apresentam tendência de maiores estoques de matéria orgânica quando comparados a solos de textura mais arenosas. Isso decorre das maiores áreas de superfície específica e quantidade de cargas nos solos argilosos, que possibilita maiores interações organominerais e menores taxas de mineralização (ALTHOFF et al., 2016). Em solos arenosos o preparo convencional com frequente revolvimento pode reduzir a estabilidade estrutural, devido a maior ruptura dos agregados (GUIMARÃES et al., 2013), além de contribuir para o aumento da aeração do solo e maior contato solo/resíduos vegetais, estimulando a oxidação microbiana dos materiais orgânicos previamente protegidos nos agregados do solo promovendo assim a redução da MOS e consequentemente, levando a perda de COS e NT (FERREIRA et al., 2014; CARDOSO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016; PEGORARO et al., 2018).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da conversão de vegetação nativa para sistemas agrícolas nos estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo em função da profundidade e tempo de uso da terra em diferentes tipos de solo no semiárido brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em seis municípios dos estados de Alagoas, Bahia e Paraíba, localizados na região semiárida brasileira (Figura 1). O clima da região é classificado como quente e seco com temperatura média anual oscilando entre 23 e 27 °C, umidade relativa do ar de 50% (ALTHOFF et al., 2018; MEDEIROS et al., 2020). Também apresenta precipitação média anual de aproximadamente 800 mm e elevada evapotranspiração potencial de 2000 mm ano⁻¹, proporcionando um balanço hídrico negativo durante 8 a 10 meses por ano (SALCEDO; SAMPAIO, 2008).

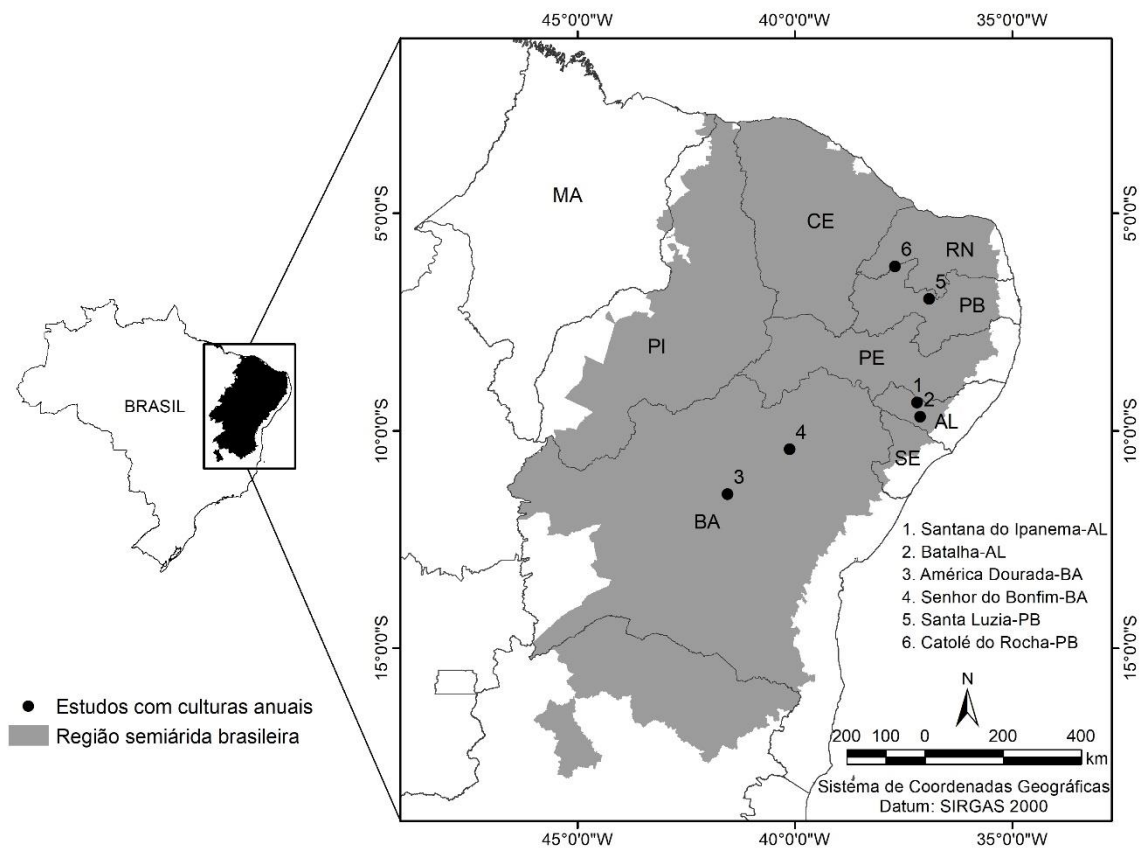


Figura 1. Localização das áreas de estudo utilizadas para avaliação dos atributos físicos e químicos do solo.

O embasamento geológico da região semiárida brasileira é basicamente cristalino, com solos pouco intemperizados e alto coeficiente de escoamento superficial (ALTHOFF et al., 2016; SOUSA et al., 2017). As principais classes de solos do semiárido brasileiro são: Latossolo

(21%), Neossolo Litólico (19%), Argissolo (15%), Luvisolo (13%), Planossolo (11%), Neossolo Quartzarênico (9%), Cambissolo (4%) e Neossolo Regolítico (4%), as quais representam 96% da região (CUNHA et al., 2010). De acordo com Althoff et al. (2016) a cobertura vegetal de Caatinga, com pequena produção de biomassa vegetal, é a que prevalece no semiárido brasileiro. Um resumo da descrição das áreas de estudo encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das áreas avaliadas neste estudo.

Localização	Coordenadas	Uso do solo	Tempo de uso (anos) ^a	Siglas	Histórico das áreas	Tipo de solo	Culturas
Santana do Ipanema-AL	09° 21' 14" S e 37° 16' 31" W	Caatinga	Preservada	SI ₁ VN	Porte alto e adensada. Usada como pastagem durante o período seco.	Planossolo	Milho/feijão
		Agricultura	47	SI ₁ A47	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada		
		Caatinga	Preservada há 30 anos	SI ₂ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.	Neossolo Litólico	Milho/feijão
		Agricultura	2	SI ₂ A2	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada.		
		Agricultura	38	SI ₂ A38			
Batalha-AL	09° 40' 40" S e 37° 07' 29" W	Caatinga	Preservada	BaVN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.	Luvissolo	Milho/feijão
		Agricultura	11	BaA11	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com gradagem pesada.		
Catolé do Rocha-PB	06° 20' 28" S e 37° 44' 59" W	Caatinga	Preservada há 40 anos	CR ₁ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.	Argissolo	Milho/feijão
		Agricultura	12	CR ₁ A12	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada.		
		Agricultura	15	CR ₁ A15			
		Caatinga	Preservada há 50 anos	CR ₂ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.		
		Agricultura	50	CR ₂ A50	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.		
		Caatinga	Preservada	CR ₃ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.		
		Agricultura	40	CR ₃ A40	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.	Milho/feijão	

Tabela 1. Continuação...

Localização	Coordenadas	Uso do solo	Tempo de uso (anos) ^a	Siglas	Histórico das áreas	Tipo de solo	Culturas
Santa Luzia-PB	06° 52' 2" S e 36° 55' 16" W	Caatinga	Preservada há 40 anos	SL ₁ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.	Luvissolo	Milho/feijão
		Agricultura	19	SL ₁ A19	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.		
		Agricultura	38	SL ₁ A19			
		Agricultura	90	SL ₁ A90			Milho/feijão
		Caatinga	Preservada há 50 anos	SL ₂ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.		
		Agricultura	20	SL ₂ A20	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.		
América Dourado-BA	11° 26' 7" S e 41° 25' 54" W	Agricultura	30	SL ₂ A30		Cambissolo	Milho/feijão/mamona
		Caatinga	Preservada	AD ₁ VN	Porte alto e adensada. Usada como pastejo durante o período seco.		
		Agricultura	5	AD ₁ A5			
		Agricultura	15	AD ₁ A15			Milho/feijão/mamona
		Agricultura	20	AD ₁ A20	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.		
		Agricultura	30	AD ₁ A30			
		Agricultura	35	AD ₁ A35			Milho/feijão/mamona
		Agricultura	40	AD ₁ A40			
		Caatinga	Preservada	AD ₂ VN	Porte médio/alto. Usada como pastagem durante o período seco.		
		Agricultura	33	AD ₂ A33	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.		
		Agricultura	46	AD ₂ A46			

Tabela 1. Final...

Localização	Coordenadas	Uso do solo	Tempo de uso (anos) ^a	Siglas	Histórico das áreas	Tipo de solo	Culturas
Senhor do Bonfim-BA	10° 27' 41" S e 40° 11' 22" W	Caatinga	Preservada	SB ₁ VN	Porte médio/alto e adensada. Ausência de animais pastejando	Planossolo	Milho/feijão
		Agricultura	10	SB ₁ A10	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada.		
		Agricultura	15	SB ₁ A15	Usada como pastagem após as colheitas.		
		Caatinga	Preservada	SB ₂ VN	Porte médio/alto. Usada como pastejo durante o período seco.		Milho/feijão
		Agricultura	8	SB ₂ A8	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada.		
		Agricultura	18	SB ₂ A18	Usada como pastagem após as colheitas.		

^a Tempo desde a conversão da vegetação nativa ao sistema de cultivo convencional e/ou pastagem.

2.2 Amostragem de solo

As amostras de solo foram coletadas em três trincheiras de solo, em cada uma das situações (vegetação nativa e cultivos agrícolas). A profundidade de coleta variou de acordo com o tipo de solo, sendo no máximo até 100 cm. Dessa forma, foi obtido um total de 544 amostras de solo. Estas foram secas ao ar, para obtenção da “terra fina seca ao ar” (TFSA), homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm para remover os fragmentos de raízes e cascalho.

2.3 Análise química do solo

Na caracterização química do solo (Tabelas de 2 a 6), foram determinados $H^+ + Al^{3+}$ (extrator de acetato de cálcio e solução tampão de SMP) (COELHO et al., 2018), pH em água, P disponível, K^+ e Na^+ extraídos por Mehlich-1, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis usando extrator de KCl 1 mol L⁻¹. Com os valores obtidos nas análises do solo, calculou-se: a soma de bases (SB = $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$), a capacidade de troca de cátions (CTC pH 7,0, que corresponde ao somatório da SB + $H^+ + Al^{3+}$), o índice de saturação por bases ($V\% = (SB / CTC) \times 100$) e o índice de saturação por alumínio trocável ($m\% = (Al^{3+} \times 100) / (SB + Al^{3+})$) (EMBRAPA, 1997). A análise química do solo foi realizada no Laboratório de Solo, Água e Planta (LabSAP), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (CECA-UFAL).

Tabela 2. Dados médios da caracterização química do Planossolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas 0-50 cm para os sistemas SI₁VN, SI₁A47, SB₁VN, SB₁A10, SB₁A15 e SB₂A18, e 0-70 cm para os sistemas SB₂VN e SB₂A8.

Variáveis	SI ₁ VN	SI ₁ A47	SB ₁ VN	SB ₁ A10	SB ₁ A15	SB ₂ VN	SB ₂ A8	SB ₂ A18
pH em H ₂ O	6,77	6,14	5,89	6,32	6,03	5,50	5,48	5,42
P (mg dm ⁻³)	50,38	8,67	9,92	10,46	8,00	5,83	2,13	3,33
K^+ (cmolc dm ⁻³)	0,35	0,09	0,26	0,30	0,26	0,19	0,24	0,32
Na^+ (cmolc dm ⁻³)	0,07	0,14	0,07	0,03	0,04	0,28	0,33	0,17
Al^{3+} (cmolc dm ⁻³)	0,02	0,05	0,05	0,01	0,03	0,11	0,19	0,34
$H^+ + Al^{3+}$ (cmolc dm ⁻³)	2,42	3,42	3,44	2,15	2,81	3,96	3,98	4,37
Ca^{2+} (cmolc dm ⁻³)	8,35	3,31	3,75	1,79	1,54	3,44	2,73	2,87
Mg^{2+} (cmolc dm ⁻³)	4,17	1,47	1,73	1,22	1,09	3,09	2,63	1,38
SB (cmolc dm ⁻³)	12,94	5,00	5,81	3,34	2,92	7,00	5,93	4,75
CTC (cmolc dm ⁻³)	15,36	8,42	9,25	5,48	5,73	10,96	9,90	9,11
V (%)	84,08	59,28	62,84	60,92	49,88	61,40	55,60	52,03

m (%) 0,16 1,04 0,80 0,12 1,07 1,65 4,49 6,96
 VN: vegetação nativa; A: área agrícola; SI: Santana do Ipanema – AL; SB: Senhor do Bonfim – BA.

Tabela 3. Dados médios da caracterização química do Neossolo Litólico em áreas de vegetação nativa e agricultura na camada de 0-50 cm para os sistemas SI₂VN, SI₂A2 e SI₂A38.

Variáveis	SI ₂ VN	SI ₂ A2	SI ₂ A38
pH em H ₂ O	5,91	6,21	6,06
P (mg dm ⁻³)	4,33	4,33	4,04
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,23	0,19	0,30
Na ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,05	0,07	0,06
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,12	0,03	0,03
H ⁺ +Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	3,99	3,33	3,05
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	2,94	3,91	2,14
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	1,34	1,54	0,85
SB (cmolc dm ⁻³)	4,55	5,71	3,35
CTC (cmolc dm ⁻³)	8,54	9,05	6,40
V (%)	52,66	63,17	52,38
m (%)	2,82	0,58	0,84

VN: vegetação nativa; A: área agrícola; SI: Santana do Ipanema – AL.

Tabela 4. Dados médios da caracterização química do Luvisso em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-50 cm para os sistemas SL₁VN, SL₁A19, SL₁A38 e SL₁A90, e 0-70 cm para os sistemas BaVN, BaA11, SL₂VN, SL₂A20 e SL₂A30.

Variáveis	BaVN	BaA11	SL ₁ VN	SL ₁ A19	SL ₁ A38	SL ₁ A90	SL ₂ VN	SL ₂ A20	SL ₂ A30
pH em H ₂ O	6,93	6,59	6,74	6,15	5,63	6,19	6,99	7,30	7,46
P (mg dm ⁻³)	5,41	6,50	29,38	8,00	5,17	14,13	9,27	5,80	10,47
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,12	0,16	0,24	0,17	0,20	0,28	0,23	0,22	0,33
Na ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,17	0,25	0,14	0,02	0,04	0,11	0,03	0,07	0,04
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,05	0,03	0,05	0,07	0,44	0,04	0,01	0,01	0,00
H ⁺ +Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	2,98	3,30	3,37	2,37	3,86	2,87	1,90	1,58	1,40
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	5,76	7,73	14,05	1,67	1,98	6,38	3,14	2,40	2,66
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	12,32	11,53	10,45	0,71	0,73	2,66	1,03	0,99	1,11
SB (cmolc dm ⁻³)	18,37	19,67	24,87	2,56	2,94	9,42	4,44	3,67	4,15
CTC (cmolc dm ⁻³)	21,36	22,97	28,25	4,93	6,79	12,29	6,33	5,25	5,55
V (%)	85,59	83,43	87,90	52,02	41,72	76,46	69,79	69,94	74,52
m (%)	0,29	0,18	0,18	2,44	14,96	0,33	0,21	0,23	0,05

VN: vegetação nativa; A: área agrícola; Ba: Batalha – AL; SL: Santa Luzia – PB.

Tabela 5. Dados médios da caracterização química do Argissolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-70 cm para os sistemas CR₂VN, CR₂A50 e 0-90 cm para os sistemas CR₁VN, CR₁A12, CR₁A15, CR₃VN e CR₃A40.

Variáveis	CR ₁ VN	CR ₁ A12	CR ₁ A15	CR ₂ VN	CR ₂ A50	CR ₃ VN	CR ₃ A40
pH em H ₂ O	6,22	6,70	6,34	6,03	6,93	6,97	6,73
P (mg dm ⁻³)	2,81	5,42	10,66	7,21	14,53	162,33	120,94
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,23	0,16	0,13	0,16	0,28	0,61	0,23
Na ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,05	0,14	0,06	0,13	0,13	0,09	0,27
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
H ⁺ +Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	2,96	2,63	2,56	3,71	2,56	1,95	2,37
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	3,12	6,62	3,13	7,01	11,94	5,28	4,87
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,97	2,19	0,78	2,08	3,14	1,92	1,47
SB (cmolc dm ⁻³)	4,37	9,10	4,10	9,39	15,48	7,91	6,83
CTC (cmolc dm ⁻³)	7,33	11,73	6,67	13,10	18,04	9,86	9,21
V (%)	59,66	77,29	61,56	70,95	85,57	79,05	73,19
m (%)	1,00	0,00	0,06	0,43	0,00	0,00	0,00

VN: vegetação nativa; A: área agrícola; CR: Catolé do Rocha – PB.

Tabela 6. Dados médios da caracterização química do Cambissolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-30 cm para os sistemas AD₂VN, AD₂A33 e AD₂A46, e 0-100 cm para os sistemas AD₁VN, AD₁A5, AD₁A15, AD₁A20, AD₁A30, AD₁A35 e AD₁A40.

Variáveis	AD ₁ VN	AD ₁ A5	AD ₁ A15	AD ₁ A20	AD ₁ A30	AD ₁ A35	AD ₁ A40	AD ₂ VN	AD ₂ A33	AD ₂ A46
pH em H ₂ O	7,40	6,99	7,84	7,86	7,71	7,16	7,36	7,93	8,17	8,18
P (mg dm ⁻³)	1,42	3,37	3,06	5,17	4,58	15,02	17,44	34,23	11,83	7,33
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,38	0,38	0,18	0,32	0,16	0,57	0,42	0,13	0,25	0,31
Na ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,11	0,11	0,05	0,02	0,05	0,06	0,01	0,08	0,08	0,20
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ⁺ +Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	2,25	2,45	1,32	1,48	1,52	2,18	2,13	1,32	1,15	1,08
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	16,06	9,55	22,58	19,51	19,01	8,94	10,40	45,71	33,46	28,57
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	3,83	4,08	2,71	2,78	3,03	4,01	3,35	5,62	1,06	0,79
SB (cmolc dm ⁻³)	20,39	14,12	25,52	22,63	22,25	13,58	14,17	51,54	34,85	29,87
CTC (cmolc dm ⁻³)	22,64	16,58	26,84	24,12	23,77	15,77	16,30	52,86	36,00	30,95
V (%)	90,02	84,59	95,06	93,81	93,60	86,28	86,89	97,50	96,80	96,49
m (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

VN: vegetação nativa; A: área agrícola; AD: América Dourada – BA.

2.4 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico, para cada camada de solo dentro de cada sistema de uso do solo (EMBRAPA, 1997). Os resultados da densidade do solo para cada sistema de manejo são apresentados na Figura 2.

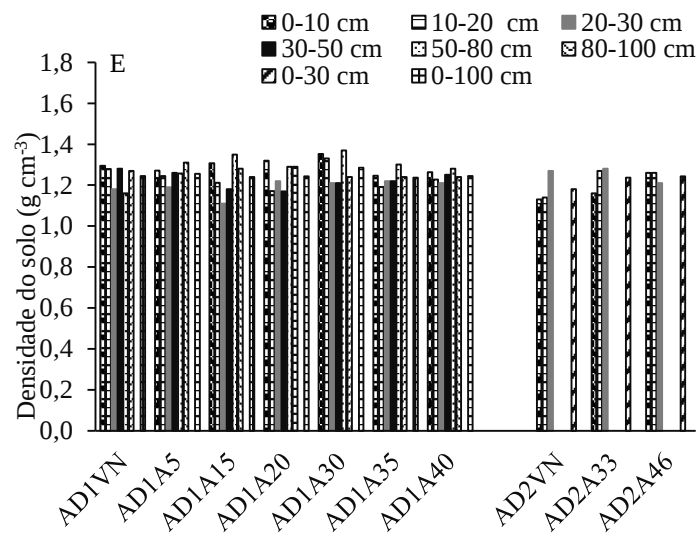
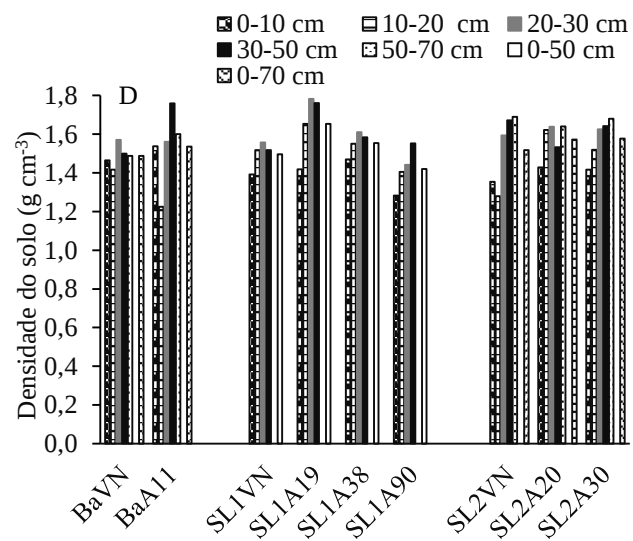
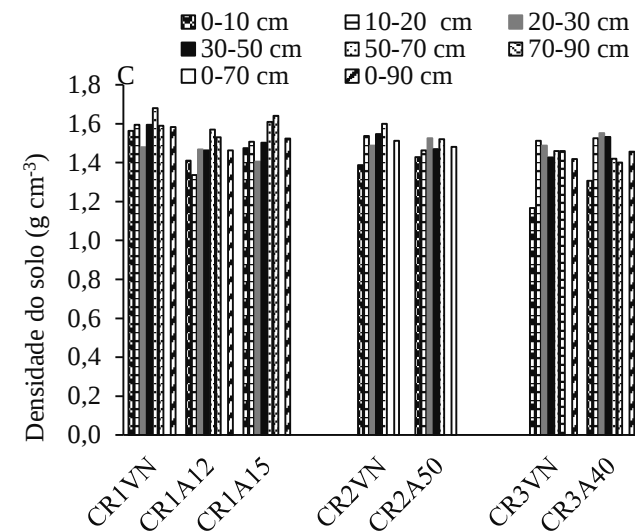
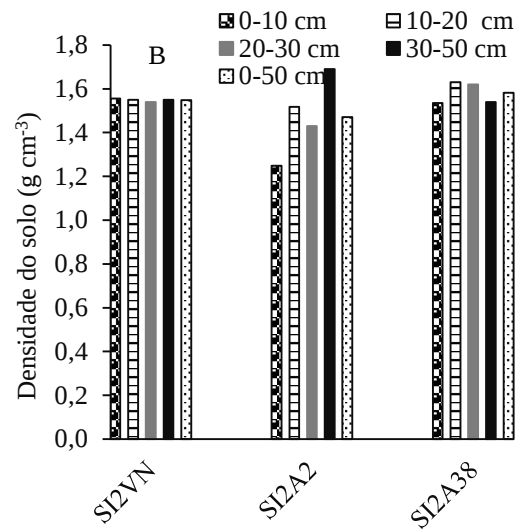
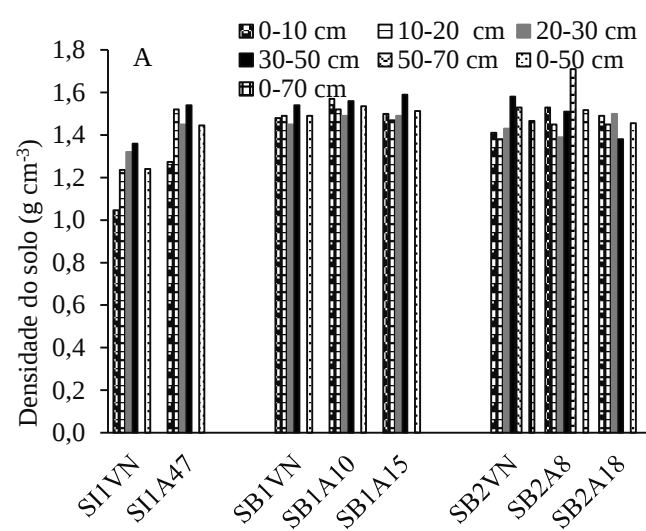


Figura 2. Densidade do solo (g dm^{-3}) dos sistemas sob Planossolo (A), Neossolo Litólico (B), Argissolo (C), Luvisolo (D) e Cambissolo (E). VN: área sob vegetação nativa; A: área agrícola; SI: Santana do Ipanema-AL, Ba: Batalha-AL SB: Senhor do Bonfim-BA, AD: América Dourada-BA, SL: Santa Luzia-PB, CR: Catolé do Rocha-PB.

2.5 Análise granulométrica

Os dados de granulometria foram determinados a partir dos teores de argila, areia e silte para camada de solo nas áreas sob vegetação nativa e agricultura, conforme método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Os resultados podem ser observados nas Tabelas de 7 a 11. Os teores de argila, areia e silte foram determinados nos laboratórios de Gestão Ambiental e Química Ambiental, pertencentes ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Campus de Marechal Deodoro – AL.

Tabela 7. Caracterização granulométrica do Planossolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-50 cm para os sistemas SI₁VN, SI₁A47, SB₁VN, SB₁A10, SB₁A15 e SB₂A18, e 0-70 cm para SB₂VN e SB₂A8.

Camadas (cm)	SI ₁ VN	SI ₁ A47	SB ₁ VN	SB ₁ A10	SB ₁ A15	SB ₂ VN	SB ₂ A8	SB ₂ A18
Argila (g dm^{-3})								
0-10	149,00	120,00	77,65	120,88	52,15	373,00	65,32	67,00
10-20	222,50	124,83	75,65	91,65	59,32	144,00	54,32	45,50
20-30	149,25	109,17	72,00	89,98	45,21	416,00	45,32	56,79
30-50	144,50	89,33	40,67	73,98	39,00	325,98	47,65	74,35
50-70						362,32	73,82	
0-50	166,31	110,83	66,49	94,12	48,92			60,91
0-70						324,26	57,28	
Areia (g dm^{-3})								
0-10	667,78	776,48	849,10	858,47	870,70	561,93	867,47	803,75
10-20	530,83	743,60	845,20	842,60	885,83	747,75	783,03	729,40
20-30	639,34	720,75	812,47	859,00	911,70	541,23	756,10	702,67
30-50	586,43	756,00	827,77	863,00	908,57	613,93	794,00	730,83
50-70						258,32	796,30	
0-50	606,09	749,21	833,63	855,77	894,20			741,66
0-70						544,63	799,38	
Silte (g dm^{-3})								
0-10	183,23	103,53	73,25	20,66	77,15	65,07	67,22	129,25
10-20	246,68	131,57	79,15	65,75	54,85	108,25	162,65	225,10

20-30	211,41	170,08	115,53	51,02	43,09	42,77	198,58	240,54
30-50	269,08	154,67	131,57	63,02	52,43	60,08	158,35	194,82
50-70						379,37	129,88	
0-50	227,60	139,96	99,88	50,11	56,88			197,43
0-70						131,11	143,34	

VN: vegetação nativa; A: área agrícola; SI: Santana do Ipanema – AL; SB: Senhor do Bonfim – BA

Tabela 8. Caracterização granulométrica do Neossolo Litólico em áreas de vegetação nativa e agricultura na camada de 0-50 cm para os sistemas SI₂VN, SI₂A2 e SI₂A38.

Camadas (cm)	SI₂VN	SI₂A2	SI₂A38
	Argila (g dm⁻³)		
0-10	234,67	90,67	116,00
10-20	119,00	55,67	129,50
20-30	121,33	107,67	123,22
30-50	175,75	132,33	111,00
0-50	162,69	96,58	119,93
	Areia (g dm⁻³)		
0-10	730,57	741,95	801,53
10-20	731,30	708,12	777,03
20-30	708,02	691,58	746,27
30-50	632,28	676,48	743,47
0-50	700,54	704,53	767,07
	Silte (g dm⁻³)		
0-10	34,77	167,38	82,48
10-20	149,70	236,22	93,48
20-30	170,65	200,76	130,51
30-50	191,98	191,18	145,53
0-50	136,77	198,89	113,00

VN: vegetação nativa; A: área agrícola; SI: Santana do Ipanema.

Tabela 9. Caracterização granulométrica do Luvisso em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-50 cm para os sistemas SL₁VN, SL₁A19, SL₁A38 e SL₁A90, e 0-70 cm para BaVN, BaA11, SL₂VN, SL₂A20 e SL₂A30.

Camadas (cm)	BaVN	BaA11	SL₁VN	SL₁A19	SL₁A38	SL₁A90	SL₂VN	SL₂A20	SL₂A30
	Argila (g dm⁻³)								
0-10	175,00	138,17	187,67	55,00	61,50	63,67	69,65	57,32	280,55
10-20	198,17	147,00	118,00	39,50	79,00	73,33	60,98	56,00	113,98

20-30	179,17	269,67	252,67	53,33	54,67	54,67	39,98	64,67	74,98
30-50	77,67	242,33	258,00	147,50	49,33	41,00	48,82	58,67	61,98
50-70	145,67	234,67					29,65	61,67	73,15
0-50			204,08	73,83	61,12	58,17			
0-70	155,13	206,37					49,82	59,66	120,93
Areia (g dm⁻³)									
0-10	677,80	689,25	627,87	872,75	918,55	751,27	867,70	896,83	698,73
10-20	566,65	672,85	837,00	820,95	910,70	661,93	853,27	887,70	811,60
20-30	668,90	674,48	539,60	802,73	771,27	744,43	835,87	874,47	901,60
30-50	820,53	691,02	691,10	753,70	831,97	809,70	833,85	865,07	864,07
50-70	715,72	688,05					795,77	872,80	826,65
0-50			673,89	812,53	858,12	741,83			
0-70	689,92	683,13					837,29	879,37	820,53
Silte (g dm⁻³)									
0-10	147,20	172,58	184,47	72,25	19,95	185,07	62,65	45,85	20,72
10-20	235,18	180,15	45,00	139,55	10,30	264,73	85,75	56,30	74,42
20-30	151,93	55,85	207,73	143,93	174,07	200,90	124,15	60,87	23,42
30-50	101,81	66,65	50,90	98,80	118,70	149,30	117,33	76,27	73,95
50-70	115,28	77,28					174,58	65,53	100,20
0-50			122,02	113,63	80,75	200,00			
0-70	150,28	110,50					112,89	60,96	58,54

VN: vegetação nativa; A: área agrícola; Ba: Batalha – AL; SL: Santa Luzia – PB.

Tabela 10. Caracterização granulométrica do Argissolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-70 cm para os sistemas CR₂VN e CR₂A50, e 0-90 cm para CR₁VN, CR₁A12, CR₁A15, CR₃VN e CR₃A40.

Camadas (cm)	CR₁VN	CR₁A12	CR₁A15	CR₂VN	CR₂A50	CR₃VN	CR₃A40
Argila (g dm⁻³)							
0-10	152,83	313,33	227,98	211,48	334,67	282,65	219,32
10-20	127,33	171,33	121,98	132,98	217,18	290,65	203,65
20-30	117,33	139,83	105,98	148,48	165,32	248,65	175,98
30-50	105,33	155,56	92,98	143,98	195,98	200,65	179,32
50-70	86,83	146,33	112,32	171,98	129,32	161,32	146,98
70-90	95,58	135,33	143,98			156,65	134,32
0-70				161,78	208,49		
0-90	114,21	176,95	134,20			223,43	176,59
Areia (g dm⁻³)							
0-10	726,90	612,60	712,70	655,60	559,13	643,33	713,25
10-20	735,15	767,70	740,10	775,45	451,85	631,67	760,07
20-30	793,00	793,00	673,40	770,55	514,00	718,57	761,80
30-50	635,10	605,40	834,08	521,50	485,40	730,87	753,15

50-70	579,05	660,43	841,07	539,90	714,17	776,97	778,33
70-90	750,90	570,25	772,37			786,37	831,10
0-70				652,60	544,91		
0-90	703,35	668,23	762,28			714,63	766,28
Silte (g dm⁻³)							
0-10	120,27	74,07	59,32	132,92	106,20	74,02	67,43
10-20	137,52	60,97	137,92	91,57	330,97	77,68	36,28
20-30	89,67	67,17	220,62	80,97	320,68	32,78	62,22
30-50	259,57	239,04	72,94	334,52	318,62	68,48	67,53
50-70	334,12	193,23	46,62	288,12	156,52	61,72	74,68
70-90	153,52	294,42	83,65			56,98	34,58
0-70				185,62	246,60		
0-90	182,44	154,82	103,51			61,95	57,12

VN: vegetação nativa; A: área agrícola; CR: Catolé do Rocha – PB.

Tabela 11. Caracterização granulométrica do Cambissolo em áreas de vegetação nativa e agricultura nas camadas de 0-30 cm para os sistemas AD₂VN, AD₂A33 e AD₂A46, e 0-100 cm para AD₁VN, AD₁A5, AD₁A15, AD₁A20, AD₁A30, AD₁A35 e AD₁A40.

Camadas (cm)	AD₁VN	AD₁A5	AD₁A15	AD₁A20	AD₁A30	AD₁A35	AD₁A40	AD₂VN	AD₂A33	AD₂A46
Argila (g dm⁻³)										
0-10	265,33	165,17	131,33	197,33	184,67	225,50	230,00	356,48	167,98	144,65
10-20	275,67	236,17	182,33	191,83	189,83	140,00	214,67	332,32	524,32	157,65
20-30	311,00	305,17	268,83	217,33	283,33	219,00	114,33	370,32	205,32	362,32
30-50	336,67	273,33	194,67	219,33	218,33	249,33	199,33			
50-80	263,00	235,00	335,67	186,33	275,33	309,67	193,00			
80-100	325,00	484,67	297,00	261,33	157,67	267,00	131,50			
0-30								353,04	299,21	221,54
0-100	296,11	283,25	234,97	212,25	218,19	235,08	180,47			
Areia (g dm⁻³)										
0-10	198,53	304,95	355,65	361,40	347,83	377,20	330,90	235,25	366,75	308,60
10-20	146,20	332,55	335,60	272,75	367,30	271,25	308,43	232,93	338,10	287,20
20-30	147,55	434,00	393,45	324,80	297,90	293,60	321,57	213,87	346,90	298,80
30-50	147,28	340,23	320,20	301,70	364,37	294,70	311,17			
50-80	156,48	289,57	424,57	325,20	428,35	367,27	347,17			
80-100	143,60	372,90	266,57	299,25	355,40	298,95	374,15			
0-30								227,35	350,58	298,20
0-100	156,61	345,70	349,34	314,18	360,19	317,16	332,23			
Silte (g dm⁻³)										
0-10	536,13	529,88	513,02	441,27	467,50	397,30	439,10	408,27	465,27	546,75
10-20	578,13	431,28	482,07	535,42	442,87	588,75	476,90	434,75	137,58	555,15
20-30	541,45	260,83	337,72	457,87	418,77	487,40	564,10	415,82	447,78	338,88

30-50	516,05	386,43	485,13	478,97	417,30	455,97	489,50
50-80	580,52	475,43	239,77	488,47	296,32	323,07	459,83
80-100	531,40	142,43	436,43	439,42	486,93	434,05	494,35
0-30						419,61	350,21
0-100	547,28	371,05	415,69	473,57	421,61	447,76	487,30

VN: vegetação nativa; A: área agrícola; AD: América Dourada – BA.

2.6 Determinação do carbono e nitrogênio total

Foram pesados aproximadamente 10 mg das sub-amostras de TFSA, as quais foram homogêneas, macerados em almofariz de ágata e passados em peneira de 0,149 mm (100 mesh). O teor de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram determinados por combustão seca (SATO et al., 2014), em analisador automático modelo Flash 2000 – Organic Elemental Analyzer, CNHS Analyzer. Os estoques de COT e NT foram calculados por meio da multiplicação entre o teor do C, densidade do solo e espessura da camada de solo.

Com a finalidade foi minimizar as discrepâncias causadas pela diferença na densidade do solo induzida pelas práticas de manejo, os estoques de COT e NT calculados foram corrigidos com base em massa equivalente do solo seguindo o método proposto por Sisti et al. (2004), conforme a equação 1:

$$Cs = \sum_{i=1}^{n-1} CTi + [MTn - (\sum_{i=1}^n MTi - \sum_{i=1}^n MSi)] CTn \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

Cs = estoque de C e/ou N corrigido (Mg ha^{-1});

$\sum_{i=1}^{n-1} CTi$ = soma do conteúdo total de C e/ou N (Mg ha^{-1}) nas camadas 1 (superfície) até a camada n – 1 (penúltima) do sistema de cultivo;

MTn = massa de solo da última camada do sistema de cultivo;

$\sum_{i=1}^n MTi$ = soma da massa de solo (Mg ha^{-1}) nas camadas 1 (superfície) até n (última camada) do sistema de cultivo;

$\sum_{i=1}^n MSi$ = soma da massa de solo (Mg ha^{-1}) nas camadas 1 (superfície) até n (última camada) no perfil de referência do solo (vegetação nativa);

CTn = concentração de C e/ou N ($\text{Mg C e/ou N por Mg de solo}$) na última camada do sistema de cultivo.

A taxa de alteração dos estoques calculada corresponde a quantidade de COT e NT em Mg ha⁻¹ ano⁻¹ que o solo emitiu ou estocou. O cálculo dessa taxa foi realizado para cada camada de solo amostrada conforme a equação 2:

$$T = (S - A) / U \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que,

T = taxa de alteração para área sob agricultura;

S = estoque de COT e/ou NT (Mg ha⁻¹) da área sob agricultura;

A = estoque de COT e/ou NT (Mg ha⁻¹) da área sob vegetação nativa;

U = tempo de uso do solo sob agricultura.

2.7 Análise dos dados

Os resultados obtidos foram analisados separadamente para cada tipo de solo, com base nos dados médios em estoque (Mg ha⁻¹), desvio padrão e taxa de alteração dos estoques (Mg ha⁻¹ ano⁻¹).

3 RESULTADOS

A conversão de áreas sob vegetação nativa para sistemas agrícolas, com preparo convencional do solo, proporcionou perdas nos estoques de COT e NT (Tabela 12). As perdas mais significativas ocorreram na camada superficial do solo (0-10 cm), com reduções nos estoques de COT variando de 13 a 52, 25 a 45, 22 a 66, 33 a 57 e 4 a 9%, enquanto que as perdas no NT variaram de 15 a 64, 24 a 42, 9 a 64, 20 a 46 e 5 a 10% para as áreas no Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo e Cambissolo, respectivamente.

Para os sistemas sob Cambissolo nota-se perdas mínimas nos estoques de COT e NT em apenas três das oito áreas de cultivo, enquanto que foram observados ganhos significativos nos estoques de COT e NT para a maioria dos sistemas agrícolas, com destaque para AD₁A5 que apresentou aumentos, respectivamente, de 81 e 48% em relação a AD₁VN.

Tabela 12. Carbono orgânico total, nitrogênio total e relação C/N e desvio padrão, entre parênteses, para os sistemas agrícolas e sob vegetação nativa em Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo e Cambissolo.

Camadas (cm)	Planossolo								Neossolo Litólico		
	SI ₁ VN	SI ₁ A47	SB ₁ VN	SB ₁ A10	SB ₁ A15	SB ₂ VN	SB ₂ A8	SB ₂ A18	SI ₂ VN	SI ₂ A2	SI ₂ A38
	COT (Mg ha ⁻¹)										
0-10	27,61(1,39)	13,34(0,96)	29,11(0,98)	20,31(1,11)	22,12(0,00)	34,84(1,20)	27,91(2,87)	30,22(1,49)	40,20(0,48)	22,01(3,75)	30,22(0,71)
10-20	34,31(0,84)	13,13(0,52)	17,67(0,89)	9,01(0,47)	13,91(0,74)	21,40(1,69)	20,65(1,33)	21,12(0,56)	22,35(0,53)	25,66(3,76)	34,22(0,87)
20-30	14,54(0,16)	10,61(0,77)	12,60(0,28)	6,81(0,18)	6,97(0,78)	12,25(0,34)	20,49(1,46)	16,73(0,05)	13,71(0,22)	18,64(0,08)	10,27(0,07)
30-50	27,78(0,07)	11,23(0,32)	18,37(0,59)	13,17(0,49)	12,60(0,49)	16,31(2,22)	25,29(2,71)	21,35(1,28)	20,73(0,17)	21,96(0,32)	15,44(0,28)
50-70						22,32(0,30)	15,65(0,37)				
0-50	104,24(1,87)	48,30(1,35)	77,75(2,14)	49,29(0,74)	55,60(0,29)			89,42(3,06)	96,99(0,34)	88,27(5,57)	90,16(1,50)
0-70						107,12(4,70)	109,99(4,31)				
	NT (Mg ha ⁻¹)										
0-10	2,12(0,06)	1,37(0,00)	2,07(0,03)	1,54(0,12)	1,75(0,07)	4,68(0,31)	1,68(0,05)	1,85(0,03)	3,59(0,14)	2,09(0,15)	2,73(0,06)
10-20	2,72(0,09)	1,31(0,05)	1,48(0,03)	1,03(0,08)	1,16(0,00)	1,81(0,39)	1,32(0,13)	1,42(0,08)	2,18(0,01)	1,71(0,18)	2,91(0,02)
20-30	1,60(0,02)	1,34(0,05)	1,49(0,15)	0,81(0,04)	0,96(0,09)	0,85(0,06)	1,25(0,04)	1,34(0,03)	1,70(0,03)	2,01(0,01)	1,45(0,13)
30-50	3,17(0,12)	2,03(0,16)	2,19(0,01)	1,67(0,11)	1,89(0,03)	2,44(0,56)	2,29(0,12)	2,31(0,03)	3,07(0,07)	3,44(0,04)	2,55(0,02)
50-70						2,25(0,09)	2,18(0,00)				
0-50	9,61(0,14)	6,05(0,14)	7,24(0,11)	5,05(0,06)	5,76(0,01)			6,92(0,21)	10,53(0,13)	9,25(0,14)	9,64(0,08)
0-70						12,03(0,85)	8,72(0,24)				
	C/N										
0-10	13,03(0,28)	9,74(0,68)	14,07(0,41)	13,22(0,58)	12,68(0,51)	7,47(0,68)	16,61(1,19)	16,34(0,72)	11,22(0,52)	10,47(1,05)	11,05(0,03)
10-20	12,62(0,75)	10,06(0,56)	11,89(0,37)	8,78(0,55)	11,96(0,66)	12,10(1,79)	15,73(1,48)	14,93(1,10)	10,27(0,29)	15,19(3,12)	11,75(0,27)
20-30	9,10(0,04)	7,90(0,29)	8,49(0,82)	8,42(0,36)	7,27(1,04)	14,42(1,31)	16,32(0,65)	12,47(0,23)	8,06(0,14)	9,28(0,06)	7,14(0,68)
30-50	8,77(0,35)	5,54(0,38)	8,38(0,31)	7,90(0,67)	6,67(0,32)	6,78(0,66)	11,04(0,59)	9,23(0,45)	6,76(0,19)	6,39(0,09)	6,06(0,16)
50-70						9,95(0,50)	7,17(0,15)				
0-50	10,88(0,16)	8,31(0,40)	10,71(0,45)	9,58(0,21)	9,64(0,05)			13,24(0,05)	9,08(0,08)	10,33(0,57)	9,00(0,21)
0-70						10,14(0,27)	13,37(0,27)				

Tabela 12. Continuação...

Luvissole									
Camadas (cm)	BaVN	BaA11	SL ₁ VN	SL ₁ A19	SL ₁ A38	SL ₁ A90	SL ₂ VN	SL ₂ A20	SL ₂ A30
COT (Mg ha ⁻¹)									
0-10	31,35(1,51)	31,92(0,34)	31,73(0,98)	10,82(0,85)	20,95(0,38)	14,61(0,07)	21,50(2,18)	8,93(1,00)	16,75(1,44)
10-20	14,87(0,50)	16,53(1,54)	23,44(0,92)	10,66(0,16)	17,95(1,27)	13,21(1,58)	10,03(0,33)	6,38(1,10)	8,65(1,04)
20-30	9,44(0,24)	9,45(0,18)	16,60(1,09)	10,35(0,67)	11,96(1,53)	11,03(0,82)	10,17(0,06)	6,02(0,16)	8,43(0,12)
30-50	27,03(0,70)	23,66(1,00)	32,23(0,24)	18,15(0,01)	18,99(0,92)	16,74(0,32)	19,48(0,52)	14,40(0,50)	17,05(0,48)
50-70	25,41(0,00)	14,19(0,45)					16,30(0,61)	12,07(0,58)	13,33(0,27)
0-50			104,01(0,97)	49,98(0,22)	69,85(3,32)	55,60(1,31)			
0-70	108,10(1,71)	95,76(0,28)					77,47(1,61)	47,80(3,07)	64,20(0,76)
NT (Mg ha ⁻¹)									
0-10	2,63(0,13)	2,84(0,05)	3,04(0,13)	1,09(0,09)	2,75(0,10)	1,09(0,13)	1,42(0,12)	0,85(0,06)	1,23(0,10)
10-20	1,67(0,01)	1,75(0,09)	2,11(0,08)	1,03(0,14)	2,36(0,01)	1,05(0,04)	0,80(0,06)	0,71(0,07)	0,77(0,08)
20-30	1,30(0,09)	1,55(0,02)	1,52(0,13)	0,74(0,09)	2,32(0,04)	0,92(0,07)	1,43(0,15)	0,80(0,07)	0,86(0,08)
30-50	3,13(0,10)	2,99(0,15)	2,62(0,25)	2,09(0,02)	7,63(0,14)	1,58(0,15)	1,84(0,07)	1,63(0,07)	1,73(0,05)
50-70	2,09(0,03)	2,40(0,03)					1,77(0,00)	1,50(0,04)	1,61(0,02)
0-50			9,29(0,20)	4,95(0,08)	15,06(0,03)	4,63(0,28)			
0-70	10,82(0,27)	11,54(0,15)					7,26(0,06)	5,49(0,24)	6,20(0,14)
C/N									
0-10	11,95(0,58)	11,25(0,06)	10,44(0,41)	9,90(0,41)	7,62(0,23)	13,57(1,56)	15,21(1,67)	10,52(0,48)	13,62(1,09)
10-20	8,88(0,25)	9,41(0,41)	11,13(0,01)	10,44(1,33)	7,61(0,55)	12,64(1,94)	12,58(0,96)	8,95(0,77)	11,20(0,23)
20-30	7,26(0,43)	6,08(0,11)	11,01(1,69)	14,24(2,24)	5,17(0,74)	11,97(0,59)	7,19(0,74)	7,56(0,62)	9,89(0,83)
30-50	8,63(0,26)	7,93(0,38)	12,39(1,32)	8,70(0,08)	2,49(0,15)	10,67(0,80)	10,57(0,29)	8,82(0,12)	9,83(0,02)
50-70	12,18(0,15)	5,91(0,12)					9,20(0,35)	8,08(0,64)	8,28(0,06)
0-50			11,24(0,28)	10,82(0,11)	5,72(0,24)	12,21(0,70)			
0-70	9,78(0,23)	8,12(0,12)					10,95(0,27)	8,79(0,20)	10,57(0,29)

Tabela 12. Continuação...

Argissolo							
Camadas (cm)	CR ₁ VN1	CR ₁ A12	CR ₁ A15	CR ₂ VN	CR ₂ A50	CR ₃ VN	CR ₃ A40
COT (Mg ha ⁻¹)							
0-10	20,68(0,13)	13,53(1,06)	13,89(0,74)	34,85(0,12)	20,36(1,69)	28,59(2,29)	12,42(0,16)
10-20	14,09(1,77)	15,44(1,69)	13,47(1,05)	26,32(1,61)	21,73(1,37)	22,33(0,80)	23,88(2,24)
20-30	15,10(0,47)	13,80(0,08)	10,49(0,12)	11,56(0,16)	14,46(0,94)	15,94(0,68)	15,04(0,27)
30-50	22,71(0,19)	24,66(0,70)	25,80(1,67)	14,67(0,35)	26,84(0,57)	25,51(0,11)	30,32(0,87)
50-70	15,91(0,22)	15,14(0,15)	13,39(0,51)	11,86(0,40)	17,52(0,57)	19,51(0,58)	34,46(0,10)
70-90	16,03(1,57)	20,20(1,18)	16,16(1,06)			18,26(0,67)	16,00(0,12)
0-70				99,26(1,65)	100,92(1,90)		
0 - 90	104,52(1,85)	102,76(3,16)	93,20(0,70)			130,15(3,94)	132,13(2,11)
NT (Mg ha ⁻¹)							
0-10	2,32(0,12)	1,36(0,10)	1,86(0,16)	2,63(0,10)	1,66(0,13)	2,29(0,17)	1,24(0,00)
10-20	1,94(0,09)	2,24(0,11)	1,84(0,10)	2,16(0,11)	1,65(0,19)	2,03(0,01)	2,05(0,12)
20-30	1,59(0,47)	2,02(0,02)	1,58(0,09)	1,28(0,01)	1,49(0,04)	1,47(0,05)	1,47(0,05)
30-50	3,39(0,14)	4,65(0,14)	1,64(0,16)	2,10(0,09)	2,64(0,11)	2,39(0,16)	2,73(0,02)
50-70	4,45(0,16)	3,63(0,19)	1,81(0,22)	2,16(0,04)	2,24(0,03)	2,36(0,11)	2,88(0,01)
70-90	2,21(0,18)	3,14(0,07)	4,19(0,07)			2,04(0,13)	1,70(0,06)
0-70				10,33(0,11)	9,67(0,05)		
0-90	15,90(0,43)	17,04(0,13)	12,92(0,27)			12,58(0,17)	12,07(0,05)
C/N							
0-10	8,93(0,42)	9,98(0,08)	7,54(0,96)	13,25(0,56)	12,30(0,00)	12,57(1,73)	10,03(0,10)
10-20	7,26(0,86)	6,92(1,09)	7,33(0,61)	12,17(0,10)	13,28(1,45)	10,99(0,32)	11,64(0,42)
20-30	10,14(3,24)	6,82(0,02)	6,67(0,47)	9,05(0,08)	9,73(0,55)	10,83(0,43)	10,21(0,17)
30-50	6,72(0,26)	5,31(0,00)	15,81(2,14)	7,00(0,28)	10,15(0,20)	10,72(0,70)	11,11(0,29)
50-70	3,58(0,18)	4,18(0,26)	7,47(0,80)	5,48(0,16)	7,84(0,24)	8,27(0,35)	11,95(0,09)
70-90	7,29(1,07)	6,44(0,47)	3,85(0,28)			8,96(0,55)	9,42(0,34)
0-70				9,39(0,11)	10,66(0,16)		
0-90	7,32(0,26)	6,61(0,22)	8,11(0,19)			10,39(0,44)	10,73(0,14)

Tabela 12. Continuação...

Camadas (cm)	Cambissolo									
	AD ₁ VN1	AD ₁ A5	AD ₁ A15	AD ₁ A20	AD ₁ A30	AD ₁ A35	AD ₁ A40	AD ₂ VN	AD ₂ A33	AD ₂ A46
	COT (Mg ha ⁻¹)									
0-10	27,42(2,01)	49,68(0,79)	29,04(0,96)	25,03(0,65)	26,39(1,44)	29,98(0,75)	26,32(0,35)	24,57(1,06)	26,03(0,77)	31,42(1,50)
10-20	25,78(1,32)	26,46(0,42)	30,01(1,25)	25,99(1,75)	24,05(1,57)	25,04(0,83)	22,67(0,55)	29,99(2,00)	24,14(0,49)	31,35(2,21)
20-30	20,14(0,47)	16,50(0,14)	20,18(0,38)	19,53(0,46)	17,97(0,77)	17,54(0,43)	16,50(0,09)	30,60(1,81)	28,67(1,36)	28,29(0,52)
30-50	31,09(0,80)	30,38(0,74)	41,11(0,27)	30,26(0,31)	32,47(0,29)	27,18(0,27)	24,09(0,66)			
50-80	25,22(0,00)	31,09(0,54)	44,06(1,25)	50,91(0,50)	30,61(0,94)	32,64(0,76)	34,09(0,32)			
80-100	19,10(0,52)	23,81(0,06)	70,40(0,91)	24,89(0,67)	25,06(0,39)	21,32(0,28)	20,89(0,25)			
0-30								85,15(0,98)	80,84(0,81)	91,06(0,67)
0-100	148,74(2,18)	177,91(1,76)	234,81(2,35)	176,60(2,51)	156,55(2,90)	153,70(0,88)	144,55(0,92)			
	NT (Mg ha ⁻¹)									
0-10	1,75(0,07)	2,59(0,10)	1,87(0,08)	1,66(0,08)	1,58(0,12)	2,82(0,05)	1,63(0,05)	1,47(0,03)	1,58(0,07)	1,64(0,01)
10-20	1,62(0,05)	1,70(0,14)	1,79(0,19)	1,66(0,13)	1,53(0,06)	1,60(0,16)	1,71(0,06)	1,25(0,01)	1,63(0,11)	1,48(0,16)
20-30	1,74(0,04)	1,25(0,11)	1,35(0,06)	1,30(0,06)	1,21(0,06)	1,07(0,14)	1,94(0,07)	1,52(0,11)	1,64(0,07)	1,71(0,12)
30-50	2,27(0,01)	2,25(0,15)	2,70(0,13)	2,27(0,05)	2,37(0,17)	1,98(0,11)	2,82(0,15)			
50-80	1,92(0,06)	2,67(0,12)	3,07(0,07)	3,01(0,10)	2,61(0,04)	2,50(0,02)	3,68(0,13)			
80-100	1,87(0,07)	1,72(0,05)	2,26(0,04)	2,10(0,14)	1,93(0,09)	1,72(0,07)	3,02(0,25)			
0-30								4,24(0,13)	4,84(0,20)	4,83(0,15)
0-100	11,17(0,05)	12,19(0,25)	13,04(0,29)	12,00(0,10)	11,23(0,42)	11,68(0,15)	14,81(0,29)			
	C/N									
0-10	15,63(0,49)	19,19(0,92)	15,52(0,65)	15,11(0,78)	16,76(1,33)	10,63(0,24)	16,16(0,64)	16,69(0,95)	16,51(0,69)	19,15(1,04)
10-20	15,96(0,87)	15,62(1,12)	16,89(1,43)	15,69(0,38)	15,72(0,37)	15,73(1,49)	13,24(0,42)	24,09(1,69)	16,13(1,35)	21,36(2,14)
20-30	11,57(0,46)	13,22(1,10)	14,93(0,81)	14,99(0,90)	14,83(0,66)	16,64(2,27)	8,50(0,24)	20,18(2,33)	17,50(0,05)	16,58(1,06)
30-50	13,69(0,27)	13,52(0,97)	15,27(0,63)	13,36(0,16)	13,76(0,95)	13,79(0,94)	8,57(0,63)			
50-80	13,14(0,39)	11,66(0,48)	14,35(0,79)	16,91(0,96)	11,74(0,40)	13,08(0,52)	9,27(0,51)			
80-100	10,22(0,35)	13,83(0,39)	31,12(0,88)	11,90(0,65)	12,98(0,74)	12,40(0,65)	6,95(0,55)			
0-30								20,32(0,83)	16,71(0,75)	19,03(0,54)
0-100	13,37(0,24)	14,51(0,20)	18,01(0,38)	14,66(0,10)	14,30(0,48)	13,71(0,09)	10,45(0,20)			

De acordo com os valores observados na taxa de alteração dos estoques, as maiores perdas de COT ocorreram na seguinte ordem: Neossolo Litólico > Planossolo > Luvissoilo > Argissolo até a camada 0-30 cm, enquanto que para a camada 0-50 cm a ordem foi de Luvissoilo > Neossolo Litólico > Planossolo > Argissolo. Em Cambissolo, os sistemas agrícolas apresentaram perdas mínimas nos estoques de C, sendo que as áreas com menor tempo de uso da terra apresentaram taxa de alteração positiva nas camadas 0-30 e 0-50 cm (Figura 3).

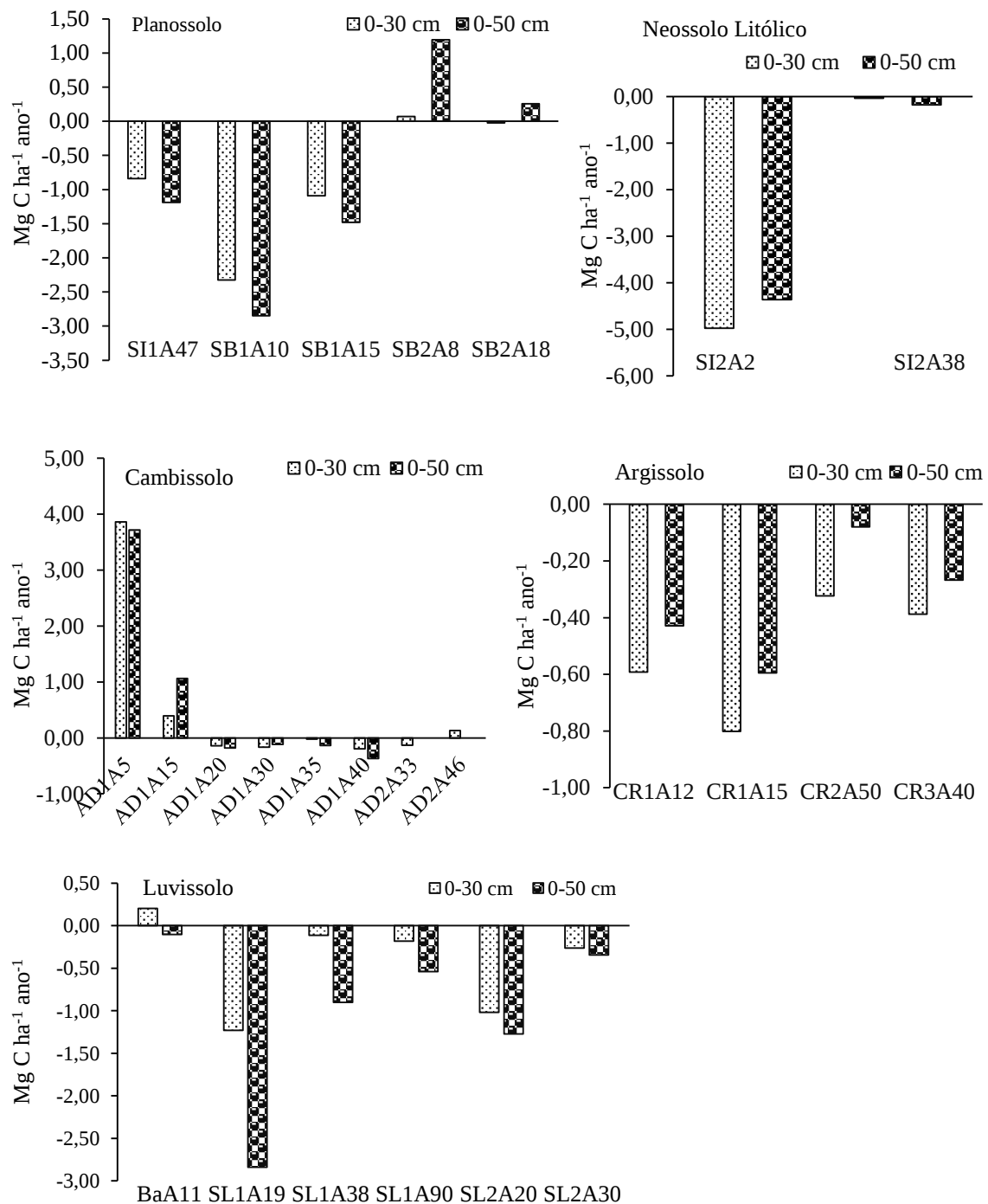


Figura 3. Taxa de alteração dos estoques de carbono para os sistemas agrícolas. VN: área sob vegetação nativa; A: área agrícola; SI: Santana do Ipanema-AL, Ba: Batalha-AL SB: Senhor do Bonfim-BA, AD: América Dourada-BA, SL: Santa Luzia-PB, CR: Catolé do Rocha-PB.

De modo geral, para a camada 0-50 cm, os sistemas com menor tempo de uso do solo apresentaram as maiores perdas, com destaque para SB₁A10 com perdas de 2,85 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no Planossolo, SI₂A2 de 4,36 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no Neossolo Litólico, SL₁A19 de 2,84 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no Luvisolo e CR₁A15 de 0,60 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em Argissolo.

Os sistemas agrícolas no Cambissolo apresentaram valores positivos para as taxas de alteração dos estoques de carbono. A área com menor tempo de uso do solo (AD₁A5) apresentou as maiores ganhos de COT nas camadas 0-30 e 0-50 cm avaliadas.

DISCUSSÃO

O processo de conversão da vegetação nativa (Caatinga) para sistemas agrícolas, com desmatamento, queima, revolvimento do solo e menor aporte de resíduos vegetais, proporciona perdas acentuadas nos estoques de COT e NT, principalmente na camada superficial do solo (0-10 cm). Estes resultados corroboram os de Barros et al. (2015) e Oliveira et al. (2015), que também observaram maior impacto da conversão da VN para diferentes sistemas de cultivo nos estoques de COT e NT no semiárido brasileiro, na camada superficial (0-10 cm). Para estes autores o aumento da densidade do solo abaixo dessa camada, a rápida decomposição dos resíduos de feijão e a retirada da biomassa do milho para silagem, comprometem os estoques de C e N na camada superficial.

De acordo com Bayer e Mielniczuk (2008), sob vegetação nativa, a MOS permanece estável, mas, quando essa área é submetida ao uso agrícola, pode ocorrer uma redução acentuada no conteúdo da mesma, especialmente quando são adotados métodos de preparo do solo com intensa movimentação do solo e sistemas de cultivo com baixa adição de resíduos vegetais. A redução da MOS tem um efeito negativo na qualidade do solo, causando baixa ciclagem de nutrientes e menor estabilidade dos agregados (DANTAS et al., 2012).

A redução da estabilidade dos agregados nas áreas agrícolas também pode acontecer devido a ação de implementos que promovem a desagregação física do solo, expondo a MOS ao ataque dos microorganismos (MEDEIROS et al., 2020). Esse processo ocorre mais facilmente em solos arenosos (EMBRAPA, 2013), como é o caso das áreas no Planossolo, Neossolo

Litólico e Luvisolo, em que o baixo teor de argila (Tabelas 7, 8 e 9), fornece baixa proteção física e química ao COS e NT devido à ausência de formação de complexos orgânicos minerais (SILVA; MENDONÇA, 2007; OLIVEIRA et al., 2016), facilitando a ação microbiana e, conseqüentemente, acelerando a oxidação da MOS (FERREIRA et al., 2014). Neste sentido, o tipo de cultura, distribuição e densidade de raízes, histórico de uso da terra, quantidade e qualidade do aporte de resíduos orgânicos influenciam a dinâmica do COS e NT nos sistemas de manejo (SILVA; MENDONÇA, 2007; FERREIRA et al., 2014; SANTOS et al., 2019).

No Cambissolo, os sistemas agrícolas apresentaram ganhos nos estoques de COT e NT. O teor de argila mais elevado neste solo (Tabela 11) pode ter contribuído para maior proteção física da MOS (FERREIRA et al., 2014). Estes resultados corroboram com os achados de Oliveira et al. (2015), que avaliando o impacto de uma área com cultivo de milho e feijão no semiárido brasileiro, observaram que o sistema agrícola apresentou 5,23 Mg ha⁻¹ de C a mais que à vegetação nativa, na camada 0-50 cm.

Em condições semelhantes de clima, vegetação e manejo, solos argilosos apresentam tendência de maiores estoques de matéria orgânica que quando comparados a solos arenosos. Isso decorre das maiores áreas de superfície específica e quantidade de cargas nos solos argilosos, o que possibilita maiores interações organominerais e menores taxas de mineralização (ALTHOFF et al., 2016).

A incorporação física da MOS dentro dos agregados de argila resulta na proteção dos polímeros orgânicos ao ataque enzimático (SILVA; MENDONÇA, 2007). Além da estabilização física, as argilas também promovem estabilização química da matéria orgânica coloidal à porção mineral do solo. Como ambas possuem carga, cátions com mais de uma valência, como Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e Fe³⁺, podem promover ligações eletrostáticas relativamente estáveis entre a matéria orgânica e a porção mineral do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007; CANELLAS et al., 2008).

A proteção física da MOS e a interação organomineral são processos associados, uma vez que o maior teor de COS promove maior estabilidade dos agregados do solo, que por sua vez, proporciona maior proteção física a MOS (FERREIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016; SILVA et al., 2017). Desta forma, o maior teor de argila presente no Cambissolo, atua como importante determinante na estabilização da MOS, que por sua vez, está correlacionada ao maior conteúdo de COT encontrado nos sistemas agrícolas.

5 CONCLUSÕES

A conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas promoveu expressivas perdas nos estoques de COT e NT, principalmente na camada 0-10 cm. As maiores perdas ocorreram nos sistemas agrícolas com menor tempo de uso da terra, seguindo a ordem: Neossolo Litólico > Planossolo > Luvisolo e Argissolo na camada 0-30 cm e Luvisolo > Neossolo Litólico > Planossolo > Argissolo na camada 0-50 cm. As significativas perdas de COT e NT nestes solos, se devem ao aumento da densidade e reduções nos teores de argila observados nas áreas de cultivo, comparativamente às áreas de vegetação nativa. Todavia, sob Cambissolo os sistemas agrícolas apresentaram densidade do solo e teores de argila semelhantes à vegetação nativa, proporcionando a estas áreas as menores perdas nos estoques de COT e NT a até mesmo ganhos, principalmente nos sistemas com menor tempo de uso da terra, com ganhos de 3,86 e 3,72 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ nas camadas 0-30 e 0-50 cm, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; PINTO, A. S.; PAREYN, F. G. C.; CARVALHO, A. L.; MARTINS, J. C. R.; CARVALHO, E. X.; SILVA, A. S. A.; DUTRA, E. D.; SAMPAIO, E. V. S. B. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. *Agric. Ecosyst. Environ.* v. 254, p. 26–34, 2018.
- ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; CARVALHO, A. L.; PINTO, A. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; OMETTO, J. P. H. B.; VON RANDOW, C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Climate change impacts on the sustainability of firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresina municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 367-375, 2016.
- ARAÚJO NETO, R. A. **Uso do modelo century na dinâmica do carbono de solos do semiárido de Alagoas: cenários climáticos futuros em ambiente irrigado e de sequeiro.** 2019. 113f. Tese de Doutorado em Agronomia. Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2019.

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 Amazonica**. v.41, p.103-114, 2011.

BARROS, J. D. S.; CHAVES, L. H. G.; PEREIRA, W. E. Carbon and nitrogen stocks under diferente management systems in the Paraiban “Sertão”. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, p.130-136, 2015.

BAYER, C; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-16.

CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S; DOBBSS, L. B.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 45-61.

CARDOSO, J. A. F.; LIMA, A. M. N.; CUNHA, T. J. F.; RODRIGUES, M. S.; HERNANI, L. C.; AMARAL, A. J.; OLIVEIRA NETO, M. B. Organic Matter Fractions in a Quartzipsamment under Cultivation of Irrigated Mango in the Lower São Francisco Valley Region, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.39, p.1068-1078, 2015.

COELHO, W. C. C.; MOURA FILHO, G.; CALHEIROS, L. C. S.; MOURA, A. B.; NASCIMENTO, D. C. **Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos representativos do estado de Alagoas**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2018.

CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; SANTOSI, D. C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v. 44, p.794-800, 2014.

CONCEIÇÃO, M. C. G.; MATOS, E. S.; BIDONE, E. D.; RODRIGUES, R. A. R.; CORDEIRO, R. C. Changes in soil carbono stocks under integrated crop-livestock-forest system in the brazilian Amazon region. *Agricultural Sciences*, v.8, p.904-913, 2017.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L.; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, p.49-87, 2010.

DANTAS, J. D. N.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ASSIS, C. P. Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 18-26, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2013, 353p.

FERRAZ, J. S. F.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, M. V. F. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de caatinga, no município de floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**. v.38, p.1055-1064, 2014.

FERREIRA, A. C. C.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; EISENHAUER, N. Land-use type effects on soil organic carbono and microbial properties ina semi-arid region of Northeast Brazil. **Land Degradation & Development**, Published oline in Wiley Library, DOI: 10.1002/ldr.2282, 2014.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A. C.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Ministério do Meio Ambiente, 2. ed – Serviço Florestal Brasileiro. Brasília. 2010, 368p.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; SILVA, T. O.; SILVA, T. L.; DIAS, N. S.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil & Tillage Research**, v.126, p.177–182, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**, 2019. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

INSA - Instituto Nacional do Semiárido. **Agricultura temporária: Semiárido brasileiro 2017, 2018**. Disponível em: <https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Tabela%20Agricultura_RESUMO%203.pdf>. Acesso em 18 de setembro de 2019.

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

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**. v.30, n.5, p.837 – 848, 2006.

MARINHO, A. C. C. S.; PORTELA, J. C.; SILVA, E. F.; DIAS, N. S.; SOUSA JUNIOR, F. S.; SILVA, A. C.; SILVA, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 32-41, 2016.

MARINHO, J. O.; CAMPOS, J. O.; LIMA, V. R. P. A importância das cisternas de placas na zona rural de serra redonda - pb: uma análise da comunidade Torre. **GEOTemas**, v. 09, p.7-27, 2019.

MEDEIROS, A. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. D.; GOMES, T. C. A. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.287, 2020.

OLIVEIRA, S. P.; LACERDA, N. B.; BLUM, S. C.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Organic carbono and nitrogen stocks in soils of northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. **Land Degradation & Development**, v.26, p.9–21. 2015.

OLIVEIRA, S. P.; CÂNDIDO, M. J. D.; WEBER, O. B.; XAVIER, F. A. S.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, v.137, p.508-516, 2016.

PEGORARO, R. F; MOREIRA, C. G; DIAS, D. G; SILVEIRA, T. C. Carbon and nitrogen stocks in the soil and humic substances of agricultural crops in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 574-583, 2018.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. 2008. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. P.419-441. In: In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008.

SANTOS, U, J.; DUDA, G. P.; MARQUES, M. C.; MEDEIROS, E. V.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; BROSSARD, M.; HAMMECKER, C: Soil organic carbon fractions and humic substances are affected by land uses of Caatinga forest in Brazil, **Arid Land Research and Management**, DOI:10.1080/15324982.2018.1555871, 2019.

SATO, J. H; FIGUEIREDO, C. C de; MARCHÃO, R. L; MADARI, B. E; BENEDITO, L. E. C; BUSATO, J. G; SOUZA, D. M de. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 4, p. 302 – 308, 2014.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; FERNANDES, J. C. F.; FONSECA JÚNIOR, A. M.; GAIA-GOMES, J. H.; MENEZES, C. E. G. Soil organic matter fractions, chemical attributes and aggregation under forestry and agricultural systems. **Comunicata Scientiae**, v.8, p.459-468, 2017.

SILVA, I. R da; MENDONÇA, E de. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ V, V. H; BARROS, N. F de; FONTES, R. L. F; CANTARUTI, R. B; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 276-374.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, M. B. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**. v.76, p.39–58. 2004.

SOUSA, A. B.; COSTA, C. T.; FIRMINO, P. R. A.; BATISTA, V. S. Tecnologias sociais de convivência com o semiárido na região do Cariri cearense. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.34, p.197-220, 2017.

SOUSA NETO, O. N.; DIAS, N. D.; SILVA, E. F.; VASCONCELOS, C. B. L.; FERREIRA, A. L. L.; FERNANDES, C. S. Inceptisol Physicochemical Attributes in the Caatinga Biome Agroforestry Systems. **Floresta e Ambiente**, v.25 DOI:10.1590/2179-8087.059517, 2018.

CAPÍTULO III

ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATIVA E PASTAGEM NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

Pastagens bem manejadas podem apresentar estoques de matéria orgânica próximos ou até mesmo superiores aos da área sob vegetação nativa, no entanto, quando mal manejadas podem resultar em perdas da qualidade do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto da conversão de vegetação nativa para pastagem nos estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) em função da profundidade e tempo de uso da terra em diferentes solos do semiárido brasileiro. As amostras foram coletadas em áreas de vegetação nativa e pastagem nos municípios de Traipu e Catolé do Rocha, localizados na região semiárida dos estados de Alagoas e Paraíba, respectivamente. Os solos foram classificados como Argissolo, Neossolo Litólico e Planossolo. A profundidade de coleta variou de acordo com o tipo de solo, sendo no máximo até 90 cm. Os teores de COT e NT foram quantificados por combustão via seca. Os dados foram analisados com base nos dados médios, desvio padrão e taxa de alteração em estoque. Os sistemas de pastagem apresentaram perdas nos estoques de COT e NT, principalmente nas camadas 0-10 e 10-20 cm no Argissolo e Planossolo. As maiores perdas ocorreram nas pastagem sob Planossolo, seguidas do Argissolo e Neossolo Litólico na camada 0-30 cm. A área de pastagem com menor tempo de uso do solo (4 anos) no Neossolo Litólico, apresentou ganhos nos estoques de COT nas camadas 0-10 e 10-20 cm, no entanto, continuou apresentando perdas em profundidade.

Palavras chave: Matéria orgânica do solo, carbono orgânico total e manejo do solo.

ABSTRACT

Well-managed pastures can present stocks of organic matter close to or even higher than those in the area under native vegetation, however, when poorly managed they can result in losses of soil quality. Thus, the objective with this study was to evaluate the impact of the conversion of native vegetation to pasture on the stocks of total organic carbon and total nitrogen depending on the depth and time of land use in different soils in the Brazilian semiarid. The samples were collected in areas of native vegetation and pasture in the municipalities of Traipu and Catolé do Rocha, located in the semiarid region of the states of Alagoas and Paraíba, respectively. The soils were classified as Planossolo, Neossolo Litólico and Argisol. The collection depth varied according to the type of soil, up to a maximum of 90 cm. The levels of total organic carbon and total nitrogen were quantified by dry combustion. The data were analyzed based on the average data, standard deviation and rate of change in stock. The pasture systems showed losses in the stocks of total organic carbon and total nitrogen, mainly in the layers 0-10 and 10-20 cm in the Argisol and Planossol. The greatest losses occurred in pastures under Planossolo, followed by Argisol and Neossolo Litólico in the 0-30 cm layer. The pasture area with the shortest time of use of the soil (4 years) in the Neossolo Litólico, presented gains in the stocks of total organic carbon in layers 0-10 and 10-20 cm, however, it continued to show losses in depth.

Keywords: Soil organic matter, total organic carbon and soil management.

1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é a maior região semiárida do mundo (SOUSA et al., 2017), ocupando uma área total de 1.127.953 km² (IBGE, 2019), ocorrendo em todos os estados da região Nordeste e norte de Minas Gerais (INSA, 2018). Nas regiões semiáridas, o uso indiscriminado dos recursos naturais associados às características inerentes da região (altas temperaturas, baixa precipitação pluvial, solos pouco intemperizados e baixa produção de biomassa), acelera os processos de degradação da terra (MAIA et al., 2006; MARINHO et al., 2019), causando redução da biodiversidade e da qualidade do solo (CARDOSO et al., 2015; SANTOS et al., 2019). A vegetação nativa tropical seca do semiárido brasileiro, conhecida como “Caatinga”, está sob crescente pressão antrópica, principalmente, devido à remoção de lenha e estabelecimento de pastagens e cultivos agrícolas (ALTHOFF et al., 2018).

A produção agrícola no semiárido brasileiro é limitada pelas condições climáticas (ALTHOFF et al., 2016). Com uma área de aproximadamente 27 milhões de ha (32,92% do bioma) a principal atividade econômica da região é a pecuária, com um rebanho bovino de 0,31 UA ha⁻¹ e potencial de intensificação de 2,01 UA ha⁻¹, no entanto, a maior parte (21 milhões de ha) corresponde a pastagens degradadas (LAPIG, 2018).

A pecuária explora principalmente a pastagem nativa, sendo que a atividade é marcada pela baixa produtividade e, por ser extrativista, torna-se insustentável ao longo do tempo. Dessa forma, esta atividade deve ser submetida ao uso racional, levando em consideração vários fatores de produção, visando a preservação da qualidade do solo (MARINHO et al., 2016). Portanto, análises físico-químicas e avaliações periódicas da matéria orgânica do solo (MOS) são fundamentais para verificar a sustentabilidade do sistema de produção, visto que, a MOS é considerada como um dos principais elementos envolvidos na produtividade dos solos (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Esse efeito ocorre devido a contribuição significativa da MOS nos processos de infiltração e retenção de água, agregação, estabilidade da estrutura, aeração, redução da vulnerabilidade do solo à compactação, à erosão e à desertificação, retenção de cátions, complexação de metais, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions (CTC), acidez do solo, e atividade da biomassa microbiana (VEZZANI et al., 2008).

Devido a maior exploração das áreas de vegetação nativa pelos sistemas de pastagens, torna-se necessário explorar como essas mudanças afetam a dinâmica da MOS e as propriedades do solo (FERREIRA et al., 2014). Por exemplo, Pegoraro et al. (2018), observaram redução nos estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), principalmente na camada de 0-20 cm, nas áreas de pastagem em relação à vegetação nativa,

no semiárido brasileiro. Essa redução pode ocorrer devido a rápida mineralização do C biodegradável proveniente da vegetação nativa e de fatores que influenciam a taxa de mineralização do COT, além dos relacionados à atividade biológica do solo, às propriedades do ecossistema, aos mecanismos físicos de proteção de agregados do solo, à recalcitrância bioquímica e à duração da exposição da MOS aos microrganismos (SILVA; MENDONÇA, 2007; BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Da mesma forma que pastagens consideradas degradadas apresentam estoques de C comparativamente menores quando comparados com os da vegetação nativa (SANTANA et al., 2011; GUARESCHI et al., 2013), as pastagens bem manejadas estão associadas à melhoria na qualidade do solo. Por exemplo, Araújo et al. (2014), Ferreira et al. (2014) e Oliveira et al. (2015) avaliando o comportamento de diferentes sistemas de manejo no semiárido brasileiro, observaram que as áreas sob pastagem apresentaram estoques de COT e NT próximos, ou mesmo superiores às vegetações nativas. Para estes autores, isso pode ser explicado devido às características intrínsecas das gramíneas, como denso sistema radicular, alto rendimento e ciclo curto, promovendo a entrada de resíduos orgânicos através de exsudatos radiculares, associados a contribuição dos animais no retorno de nutrientes e MOS por meio de excrementos. Desta forma, as pastagens bem manejadas contribuem para o aumento das taxas de infiltração de água no solo, redução da erosão do solo e densidade do solo (PEI et al., 2008; ARAÚJO et al., 2014), promovendo aumentos nos estoques de MOS e melhorias na qualidade do solo.

Além disso, o maior aporte dos resíduos orgânicos e ausência de manejo ou manejo menos intensivo do solo nas áreas sob pastagem, podem contribuir para a manutenção da umidade do solo, temperaturas mais baixas na superfície e maior proteção física da MOS intra-agregados (FERREIRA et al., 2014), contribuindo para a redução da taxa de decomposição da MOS (GUIMARÃES et al., 2013), favorecendo o aumento dos estoques de COT (STOCKMANN et al., 2013) e NT (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da conversão da vegetação nativa para sistemas de pastagens nos estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total em função da profundidade e tempo de uso da terra em solos do semiárido brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em dois municípios inseridos no semiárido dos estados de Alagoas e Paraíba (Figura 1). Em Traipu-AL, o clima é classificado como Aw (tropical chuvoso com verão seco), de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média de 25,9 °C e precipitação pluvial média anual de 645 mm (SEMARH-AL, 2019). Apesar de representar um pequeno espaço do território nordestino, o estado de Alagoas, possui 45,42% de sua área localizada em ambiente semiárido, abrangendo 38 municípios (IBGE, 2019). Dentre as principais lavouras temporárias, destacam-se o milho e o feijão verde com produtividades de 859 e 404 kg ha⁻¹, respectivamente (INSA, 2018).

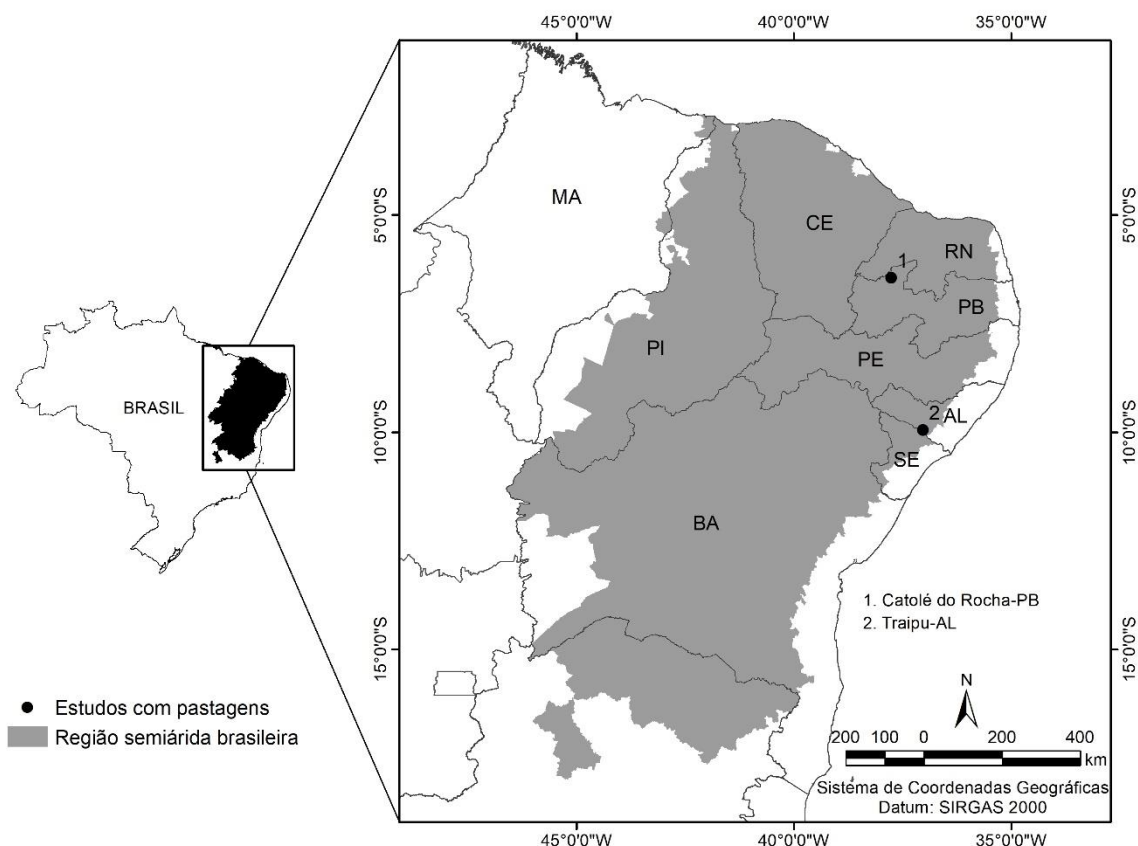


Figura 1. Localização das áreas de estudo utilizadas para avaliação dos atributos físicos e químicos do solo.

O município de Catolé do Rocha-PB apresenta segundo a classificação de Köppen clima As (tropical quente e úmido com estação seca no inverno), temperatura média de 24,2 °C e precipitação pluvial média anual de 854 mm (FRANCISCO; SANTOS, 2017). O estado da

Paraíba possui 90,91% de seu território localizado no semiárido brasileiro, englobando 194 municípios (IBGE, 2019). Dentre as principais lavouras temporárias, destacam-se o milho e o feijão verde com produtividade de 522 e 311 kg ha⁻¹, respectivamente (INSA, 2018). A descrição das áreas de estudo encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das áreas avaliadas neste estudo.

Localização	Coordenadas	Uso do solo	Tempo de uso (anos) ^a	Siglas	Histórico das áreas	Tipo de solo	Culturas
Traipu-AL	09° 58' 14" S e 37° 00' 12" W	Caatinga	Preservada	Tr ₁ VN	Porte alto e adensada. Usada como pastagem durante o período seco.	Planossolo	Capim Pangola
		Pastagem	10	Tr ₁ P10	Mata desmatada, resíduos queimados.		
		Pastagem	20	Tr ₁ P20	Preparo do solo com gradagem pesada.	Neossolo Litólico	Capim Pangola
		Caatinga	Preservada	Tr ₂ VN	Porte alto e adensada. Usada como pastagem durante o período seco.		
		Pastagem	4	Tr ₂ P4	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com gradagem pesada.		
Catolé do Rocha-PB	06° 20' 28" S e 37° 44' 59" W	Caatinga	Preservada há 40 anos	CR ₁ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.	Argissolo	Pastagem nativa
		Pastagem	6	CR ₂ P6	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada.		
		Caatinga	Preservada	CR ₃ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.		Pastagem nativa
		Pastagem	30	CR ₃ P30	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada.		

^a Tempo desde a conversão da vegetação nativa ao sistema de cultivo convencional e/ou pastagem.

2.2 Amostragem de solo

As amostras de solo foram coletadas em três trincheiras de solo, em cada uma das situações (vegetação nativa e pastagens). A profundidade de coleta variou de acordo com o tipo de solo, sendo no máximo até 90 cm. Desta forma, foi coletado um total de 144 amostras de solo, as quais foram secas ao ar, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm para remover os fragmentos de raízes e cascalho.

2.3 Análise química do solo

Foram realizadas análises químicas por camada de solo para cada sistema de uso do solo, conforme os resultados podem ser observados na Tabela 2. Na caracterização química do solo, foram determinados $H^+ + Al^{3+}$ (extrator de acetato de cálcio e solução tampão de SMP) (COELHO et al., 2018), pH em água, P disponível, K^+ e Na^+ extraídos por Mehlich-1, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis usando extrator de KCl 1 mol L⁻¹. Com os valores obtidos nas análises do solo, calculou-se: a soma de bases ($SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$), a capacidade de troca de cátions (CTC pH 7,0, que corresponde ao somatório da $SB + H^+ + Al^{3+}$), o índice de saturação por bases ($V\% = (SB / CTC) \times 100$) e o índice de saturação por alumínio trocável ($m\% = (Al^{3+} \times 100) / (SB + Al^{3+})$), realizados conforme EMBRAPA (1997). A análise química do solo foi realizada no Laboratório de Solo, Água e Planta (LabSAP), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (CECA-UFAL).

Tabela 2. Dados médios da caracterização química do Planossolo na camada 0-90 cm, Neossolo Litólico na camada 0-40 cm e do Argissolo na camada 0-70 cm nas áreas de vegetação nativa e pastagem no semiárido brasileiro.

Variáveis	Planossolo			Neossolo Litólico		Argissolo			
	Tr ₁ VN	Tr ₁ P10	Tr ₁ P20	Tr ₂ VN	Tr ₂ P4	CR ₂ VN	CR ₂ P6	CR ₃ VN	CR ₃ P30
pH em H ₂ O	6,64	6,82	6,02	6,1	6,5	6,03	7,52	6,97	6,73
P (mg dm ⁻³)	14,69	18,03	12,25	3,58	3,29	7,21	18,38	162,33	36
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,25	0,41	0,3	0,31	0,29	0,16	0,3	0,61	0,19
Na ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,24	0,42	0,42	0,07	0,06	0,13	0,42	0,09	0,1
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,07	0,04	0,12	0,08	0,03	0,04	0	0	0,01
H ⁺ +Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	3,45	2,78	3,9	3,58	3,29	3,71	2,25	1,95	2,65
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	8,23	8,38	4,24	4,09	5,86	7,01	9,53	5,28	5,65
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	8,35	8,49	8,39	3,31	3,66	2,08	2,15	1,92	1,66
SB (cmolc dm ⁻³)	17,07	17,7	13,36	7,77	9,86	9,39	12,39	7,91	7,6

CTC (cmolc dm ⁻³)	20,52	20,48	17,26	11,36	13,15	13,1	14,65	9,86	10,25
V (%)	83,04	85,19	74,92	66,01	74,91	70,95	84,38	79,05	74,18
m (%)	0,35	0,23	0,92	1,21	0,32	0,43	0	0	0,11

VN: vegetação nativa; P: área de pastagem; Tr: Traipu-AL; CR: Catolé do Rocha-PB.

2.4 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), por camada de solo dentro de cada sistema de uso do solo. Os resultados da densidade para cada sistema de manejo, em função da profundidade, podem ser observados na Figura de 2.

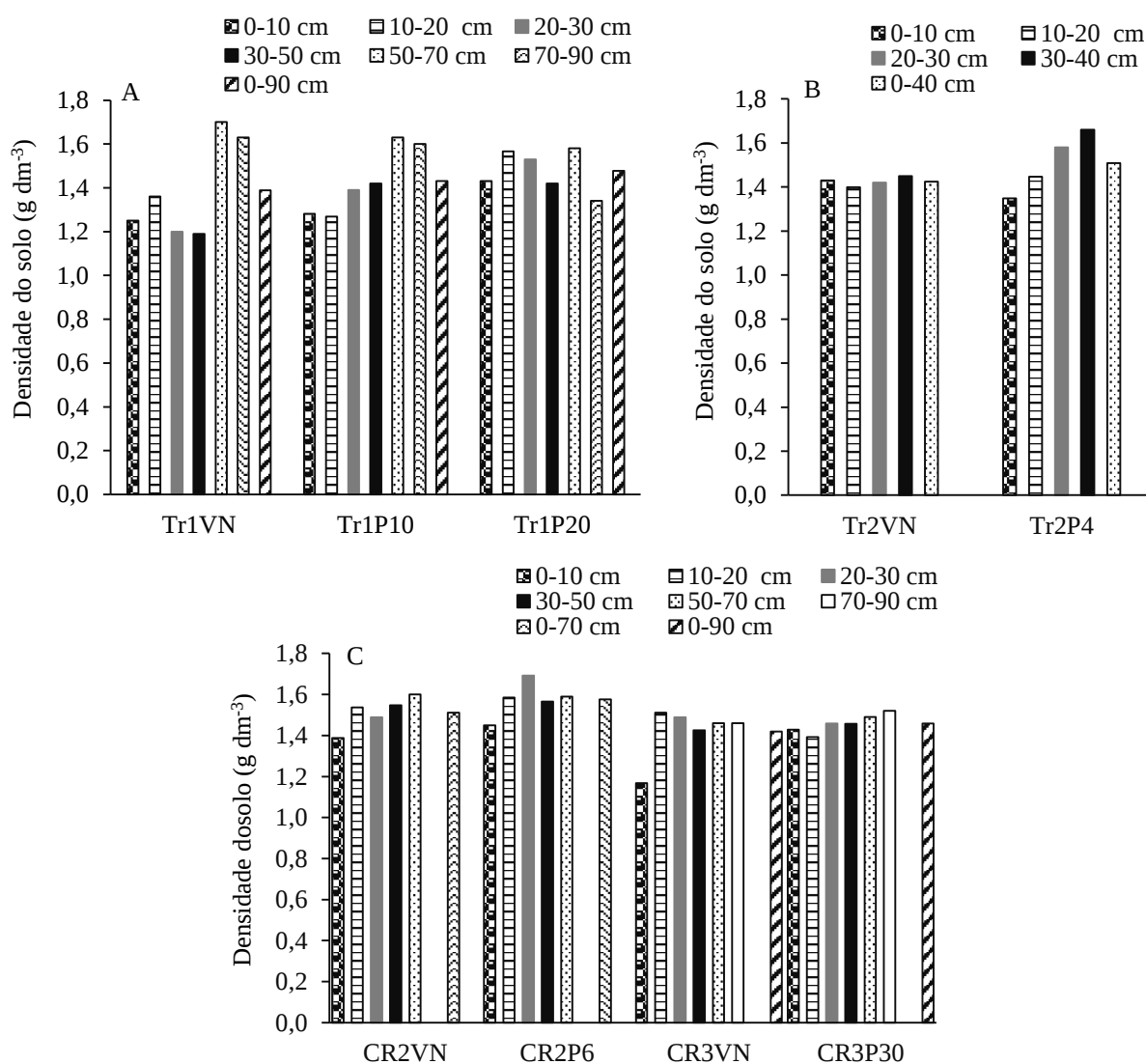


Figura 2. Densidade do solo (g dm⁻³) dos sistemas de uso da terra sob Planossolo (A), Neossolo Litólico (B) e Argissolo (C) no semiárido brasileiro. VN: área sob vegetação nativa; P: pastagem; Tr: Traipu-AL, CR: Catolé do Rocha-PB.

2.5 Análise granulométrica

Os dados de granulometria foram determinados a partir dos teores de argila, areia e silte para camada de solo nas áreas sob vegetação nativa e pastagem, conforme método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Os resultados podem ser observados nas Tabelas de 3 a 5. Os teores de argila, areia e silte foram determinados nos laboratórios de Gestão Ambiental e Química Ambiental, pertencentes ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Campus de Marechal Deodoro – AL.

Tabela 3. Caracterização granulométrica do Planossolo em áreas de vegetação nativa e pastagem nas camadas de 0-90 cm para os sistemas Tr₁VN, Tr₁P10, Tr₁P20.

Camadas (cm)	Tr ₁ VN	Tr ₁ P10	Tr ₁ P20
	Argila (g dm ⁻³)		
0-10	168,00	246,00	90,67
10-20	259,33	177,33	157,50
20-30	355,67	227,33	218,00
30-50	250,00	279,67	313,33
50-70	244,67	141,83	433,00
70-90	113,67	252,00	284,00
0-90	231,89	220,69	249,42
	Areia (g dm ⁻³)		
	Tr ₁ VN	Tr ₁ P10	Tr ₁ P20
0-10	556,98	319,15	754,67
10-20	521,25	311,65	779,05
20-30	471,65	272,88	615,70
30-50	446,75	254,00	620,97
50-70	589,80	224,80	394,17
70-90	790,80	365,02	642,55
0-90	562,87	291,25	634,52
	Silte (g dm ⁻³)		
	Tr ₁ VN	Tr ₁ P10	Tr ₁ P20
0-10	275,02	434,85	154,67
10-20	219,42	511,02	63,45
20-30	172,68	499,78	166,30
30-50	303,25	466,33	65,70
50-70	165,53	633,37	172,83
70-90	95,53	382,98	73,45
0-90	205,24	488,06	116,07

VN: vegetação nativa; P: área de pastagem, Tr: Traipu-AL.

Tabela 4. Caracterização granulométrica do Neossolo Litólico em áreas de vegetação nativa e pastagem na camada de 0-40 cm para os sistemas Tr₂VN e Tr₂P4.

Camadas (cm)	Tr ₂ VN	Tr ₂ P4
	Argila (g dm ⁻³)	
0-10	137,67	176,00
10-20	191,67	212,67
20-30	189,33	255,33
30-40	219,17	326,00
0-40	184,46	242,50
	Areia (g dm ⁻³)	
	Tr ₂ VN	Tr ₂ P4
0-10	713,67	668,00
10-20	668,25	644,67
20-30	678,50	591,82
30-40	662,28	543,27
0-40	680,67	611,94
	Silte (g dm ⁻³)	
	Tr ₂ VN	Tr ₂ P4
0-10	148,67	156,00
10-20	140,08	142,67
20-30	132,17	152,85
30-40	118,56	130,73
0-40	134,87	145,56

VN: vegetação nativa; P: área de pastagem, Tr: Traipu-AL.

Tabela 5. Caracterização granulométrica do Argissolo em áreas de vegetação nativa e pastagem nas camadas de 0-70 cm para os sistemas CR₂VN e CR₂P6, e 0-90 cm para CR₃VN e CR₃P30.

Camadas (cm)	CR ₂ VN	CR ₂ P6	CR ₃ VN	CR ₃ P30
	Argila (g dm ⁻³)			
0-10	211,48	127,67	282,65	207,50
10-20	132,98	101,50	290,65	159,50
20-30	148,48	135,33	248,65	253,99
30-50	143,98	206,33	200,65	101,32
50-70	171,98	118,30	161,32	147,82
70-90			156,65	414,17
0-70	161,78	137,83		
0-90			223,43	214,05
	Areia (g dm ⁻³)			
	CR ₂ VN	CR ₂ P6	CR ₃ VN	CR ₃ P30
0-10	655,60	663,10	643,33	773,30
10-20	775,45	559,25	631,67	825,55
20-30	770,55	527,30	718,57	733,30
30-50	521,50	480,33	730,87	746,10

50-70	539,90	550,73	776,97	767,65
70-90			786,37	570,55
0-70	652,60	556,14		
0-90			714,63	736,08
Silte (g dm⁻³)				
0-10	132,92	209,23	74,02	19,20
10-20	91,57	339,25	77,68	14,95
20-30	80,97	337,37	32,78	12,71
30-50	334,52	313,33	68,48	152,58
50-70	288,12	330,97	61,72	84,53
70-90			56,98	15,28
0-70	185,62	306,03		
0-90			61,95	49,88

VN: vegetação nativa; P: área de pastagem, CR: Catolé do Rocha-PB.

2.6 Determinação do carbono e nitrogênio total

Foram pesados aproximadamente 10 mg de TFSA das sub-amostras de solo, as quais foram homogeneizadas, macerados em almofariz de ágata e passados em peneira de 0,149 mm (100 mesh). O teor de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram determinados por combustão seca (SATO et al., 2014) em analisador automático modelo Flash 2000 – Organic Elemental Analyzer, CNHS Analyzer. Os estoques de COT e NT foram calculados por meio da multiplicação entre o teor do C, densidade do solo e espessura da camada de solo.

Com a finalidade foi minimizar as discrepâncias causadas pela diferença na densidade do solo induzida pelas práticas de manejo, os estoques de COT e NT calculados foram corrigidos com base em massa equivalente do solo seguindo o método proposto por Sisti et al. (2004), conforme a equação 1:

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} CT_i + [MT_n - (\sum_{i=1}^n MT_i - \sum_{i=1}^n MS_i)] CT_n \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

C_s = estoque de C e/ou N corrigido (Mg ha⁻¹);

$\sum_{i=1}^{n-1} CT_i$ = soma do conteúdo total de C e/ou N (Mg ha⁻¹) nas camadas 1 (superfície) até a camada n – 1 (penúltima) do sistema de pastagem;

MT_n = massa de solo da última camada do sistema de pastagem;

$\sum_{i=1}^n MT_i$ = soma da massa de solo (Mg ha⁻¹) nas camadas 1 (superfície) até n (última camada) do sistema de pastagem;

$\sum_{i=1}^n MSi$ = soma da massa de solo (Mg ha^{-1}) nas camadas 1 (superfície) até n (última camada) no perfil de referência do solo (vegetação nativa);

CTn = concentração de C e/ou N (Mg por Mg de solo) na última camada do sistema de pastagem.

A taxa de alteração dos estoques calculada corresponde a quantidade de COT NT em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ que o solo emitiu ou estocou. O cálculo dessa taxa foi realizado para cada camada de solo amostrada conforme a equação (2):

$$T = (S - A) / U \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

T = taxa de alteração dos estoques para área sob pastagem;

S = estoque de COT e NT (Mg ha^{-1}) da área sob pastagem;

A = estoque de COT e NT (Mg ha^{-1}) da área de vegetação nativa;

U = tempo de uso do solo sob pastagem.

2.7 Análise dos dados

Os resultados encontrados foram analisados separadamente para cada tipo de solo, com base nos dados médios em estoque (Mg ha^{-1}), desvio padrão e taxa de alteração dos estoques ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

3 RESULTADOS

A substituição da vegetação nativa pelos sistemas de pastagens, proporcionaram perdas significativas nos estoques de COT e NT (Tabela 6). As maiores perdas ocorreram nas camadas 0-10 e 10-20 cm, principalmente no Planossolo e Argissolo, com reduções médias de 44 e 28% para o COT e de 28 e 24% para o NT, respectivamente. Entretanto, foram observados ganhos em profundidade no Argissolo e na última camada do Planossolo. No Argissolo ocorreram ganhos médios de 38 e 15% no COT e NT, respectivamente, enquanto que no Planossolo o ganho médio de COT foi de 68% e o de NT de 29% na camada 70-90 cm. A exceção ocorreu no Neossolo Litólico, onde observou-se um leve aumento no estoque de COT nas camadas 0-10 e 10-20 cm, com ganho médio de 1,5%, que corresponde a $0,52 \text{ Mg ha}^{-1}$.

As relações C/N oscilaram bastante entre os sistemas. Para o Planossolo essa relação variou de 2,71 a 12,87 nas pastagens e 3,89 a 13,59 sob vegetação nativa. No Neossolo Litólico a oscilação foi de 7,51 a 13,68 e 9,33 a 12,88 sob pastagem e vegetação nativa, respectivamente. Já em Argissolo, essa variação foi de 8,40 a 14,09 nas pastagens e 5,48 a 13,25 nas vegetações nativas.

Tabela 6. Carbono orgânico total, nitrogênio total, relação C/N e desvio padrão, entre parênteses, para os sistemas de pastagem e vegetação nativa em Planossolo, Neossolo Litólico e Argissolo.

Camadas (cm)	Planossolo			Neossolo Litólico		Argissolo			
	Tr ₁ VN	Tr ₁ P10	Tr ₁ P20	Tr ₂ VN	Tr ₂ P4	CR ₂ VN	CR ₂ P6	CR ₃ VN	CR ₃ P30
	COT (Mg ha ⁻¹)								
0-10	38,64(0,79)	22,25(1,68)	23,87(1,14)	39,42(0,26)	40,18(2,68)	34,85(0,12)	27,10(2,37)	28,59(2,29)	22,35(0,07)
10-20	16,77(1,87)	13,17(1,47)	18,92(1,98)	28,59(2,69)	28,88(1,43)	26,32(1,61)	17,19(0,91)	22,33(0,80)	15,03(1,02)
20-30	12,84(0,29)	12,43(0,36)	12,83(0,37)	15,53(0,17)	11,76(0,87)	11,56(0,16)	17,65(0,97)	15,94(0,68)	15,75(0,16)
30-40				26,48(0,81)	20,83(1,52)				
30-50	18,20(0,37)	16,05(1,15)	15,35(0,21)			14,67(0,35)	25,57(0,86)	25,51(0,11)	25,93(1,17)
50-70	31,83(1,60)	12,23(0,74)	16,53(0,31)			11,86(0,40)	19,39(0,53)	19,51(0,58)	26,16(0,49)
70-90	6,53(0,11)	6,72(0,28)	15,31(0,41)					18,26(0,67)	18,56(0,33)
0-40				110,03(3,48)	101,66(1,34)				
0-70						99,26(1,65)	106,89(3,53)		
0-90	124,81(1,72)	82,86(1,58)	102,82(3,23)					130,15(3,94)	123,78(1,01)
	NT (Mg ha ⁻¹)								
0-10	2,84(0,10)	1,73(0,02)	2,11(0,12)	3,06(0,03)	2,99(0,52)	2,63(0,10)	1,94(0,21)	2,29(0,17)	1,88(0,04)
10-20	1,60(0,16)	1,32(0,01)	2,01(0,12)	2,49(0,29)	2,44(0,24)	2,16(0,11)	1,67(0,13)	2,03(0,01)	1,44(0,09)
20-30	1,27(0,21)	1,23(0,13)	1,67(0,06)	1,66(0,15)	1,57(0,04)	1,28(0,01)	1,55(0,08)	1,47(0,05)	1,50(0,03)
30-40				2,84(0,11)	2,71(0,21)				
30-50	2,24(0,01)	2,71(0,11)	2,40(0,09)			2,10(0,09)	2,98(0,11)	2,39(0,16)	2,55(0,15)
50-70	3,20(0,01)	2,11(0,03)	6,11(0,01)			2,16(0,04)	2,31(0,02)	2,36(0,11)	2,57(0,05)
70-90	1,68(0,05)	1,67(0,11)	2,69(0,20)					2,04(0,13)	2,11(0,09)
0-40				10,05(0,50)	9,71(0,39)				
0-70						10,33(0,11)	10,46(0,24)		
0-90	12,84(0,26)	10,78(0,27)	16,99(0,08)					12,58(0,17)	12,04(0,22)

Tabela 6. Final...

Camadas (cm)	Planossolo			Neossolo Litólico		Argissolo			
	Tr ₁ VN	Tr ₁ P10	Tr ₁ P20	Tr ₂ VN	Tr ₂ P4	CR ₂ VN	CR ₂ P6	CR ₃ VN	CR ₃ P30
				C/N					
0-10	13,59(0,18)	12,87(0,92)	11,29(0,08)	12,88(0,19)	13,68(2,25)	13,25(0,56)	14,09(2,28)	12,57(1,73)	11,90(0,23)
10-20	10,45(0,13)	9,95(1,02)	9,40(0,41)	11,51(0,26)	11,88(0,58)	12,17(0,10)	10,36(1,19)	10,99(0,32)	10,48(1,04)
20-30	10,27(1,58)	10,16(0,94)	7,71(0,24)	9,43(0,94)	7,51(0,50)	9,05(0,08)	11,38(0,77)	10,83(0,43)	10,49(0,34)
30-40				9,33(0,54)	7,70(0,67)				
30-50	8,11(0,12)	5,93(0,59)	6,39(0,14)			7,00(0,28)	8,58(0,51)	10,72(0,70)	10,18(0,52)
50-70	9,96(0,48)	5,79(0,43)	2,71(0,06)			5,48(0,16)	8,40(0,27)	8,27(0,35)	10,20(0,19)
70-90	3,89(0,17)	4,03(0,18)	5,72(0,43)					8,96(0,55)	8,83(0,53)
0-40				10,79(0,38)	10,19(0,48)				
0-70						9,39(0,11)	10,56(0,54)		
0-90	9,38(0,07)	8,12(0,31)	7,20(0,21)					10,39(0,44)	10,34(0,16)

Conforme observado para os valores das taxas de alteração dos estoques (Figura 3), as maiores perdas de COT ocorreram no Planossolo com 1,34 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, seguida por perdas de 1,13 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no Argissolo e 0,68 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no Neossolo Litólico, na camada 0-30 cm. Nas demais camadas observa-se que as pastagens sob Planossolo continuam apresentando as maiores perdas de C em Mg ha⁻¹ ano⁻¹, em relação aos demais solos.

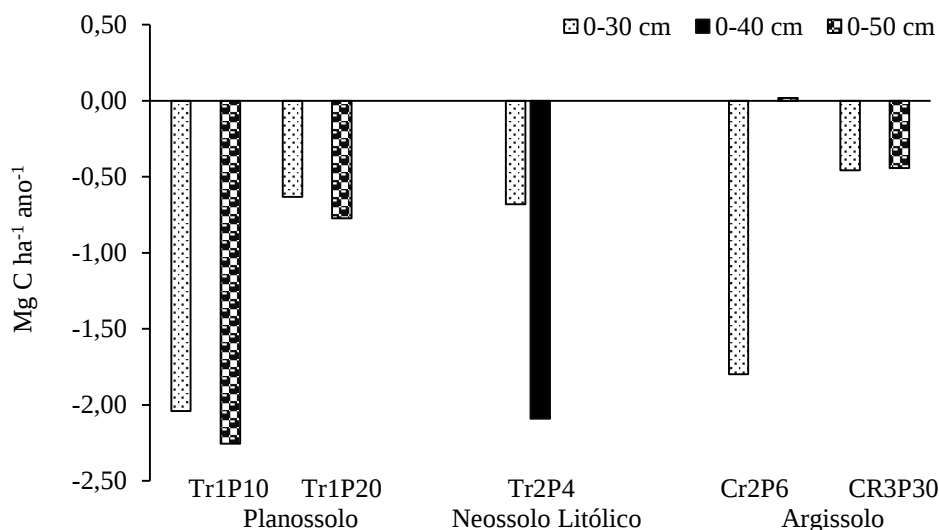


Figura 3. Taxa de alteração nos estoques para os sistemas de pastagem sob Planossolo, Neossolo Litólico e Argissolo no semiárido brasileiro. VN: área sob vegetação nativa; P: pastagem; Tr: Traipu-AL, CR: Catolé do Rocha-PB.

4 DISCUSSÃO

De modo geral, houve perdas nos estoques de COT e NT após a adoção das pastagens a partir da vegetação nativa no semiárido brasileiro, com destaque para as primeiras camadas no Planossolo e Argissolo, os quais também apresentaram ganhos em profundidade. Estes resultados são convergentes com Pegoraro et al. (2018), que também relataram reduções de 13,03% e 11,46%, respectivamente, para os estoques de COT e NT, na camada superficial e ganhos de até 27,04% para COT e 24,54% para NT na camada 20-40 cm, quando a vegetação nativa foi substituída por pastagem com 3 anos de implantação no semiárido brasileiro. De acordo com vários autores, as maiores alterações, devido ao manejo, ocorrem na camada superficial do solo (FERREIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015; MARINHO et al., 2016; SANTOS et al., 2019).

Conforme Maia et al. (2008), na pecuária o superpastoreio pode contribuir para a degradação do solo, principalmente, nas camadas superficiais, devido a redução da cobertura

vegetal do solo, fundamental para a proteção contra a erosão e compactação do solo por meio do pisoteio dos animais. Nos solos compactados ocorre uma menor porosidade total e maior densidade do solo, o que conseqüentemente, causa a redução da infiltração de água (PEI et al., 2008). Outras propriedades e funções físicas, químicas e biológicas do solo também são afetadas pelo manejo inadequado, entre elas a ciclagem do COT e NT (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

O aumento de COT e NT em profundidade nas áreas com gramíneas é função do tempo de implantação, visto que a decomposição de seu abundante sistema radicular pelos microrganismos contribui para a entrada de nutrientes e resíduos orgânicos que estruturam o solo em profundidade (SOUZA et al., 2012; CAMPOS et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016). Além disso, o sistema radicular das gramíneas agrega as partículas nos solos, tanto pelo tipo de raiz (fasciculada) como pela liberação de exsudados que entrelaçam pequenos torrões, formando os macro e microagregados (FERREIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016), melhorando a qualidade da matéria orgânica em camadas mais profundas (ELIZIARIO, 2018).

O sistema radicular fasciculado das gramíneas pode contribuir para o armazenamento do COT e NT (OLIVEIRA et al., 2015), entretanto, este efeito está relacionado a adoção de técnicas de conservação do solo, como por exemplo, uso da irrigação, adubação, consorciação com leguminosas e forragens melhoradas, que aportem mais biomassa vegetal, favorecendo a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (PEGORARO et al., 2018).

No Neossolo Litólico, o sistema de pastagem com quatro anos de uso do solo (Tr₂P4) apresentou leve aumento nos estoques de COT nas primeiras camadas. O curto tempo de implantação sugere que nesta área a presença dos resíduos remanescentes da vegetação nativa, associados a adição de esterco e a ausência ou preparo mínimo do solo, contribuam para a manutenção da umidade do solo, temperaturas mais baixas da superfície, aumento das taxas de infiltração de água, redução da erosão do solo e densidade do solo, o que contribui para o maior aporte de resíduo orgânico, favorecendo o aumento dos estoques de COT e NT na camada superficial (PEI et al., 2008; ARAÚJO et al., 2014).

5 CONCLUSÕES

A conversão de vegetação nativa para sistemas de pastagens proporcionou perdas de até 44 e 28% nos estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total, respectivamente. Essas perdas foram mais significativas nas camadas superficiais de Planossolo e Argissolo, devido ao maior tempo de uso da terra e redução dos teores de argila nas áreas de pastagem. As menores

perdas observadas sob Neossolo Litólico provavelmente se deve ao menor tempo de uso do solo e aumento nos teores de argila no sistema pastagem em detrimento à vegetação nativa.

Foram observados ganhos nos estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total em profundidade para as pastagens com mais de seis anos de uso da terra sob Planossolo e Argissolo, provavelmente devido às características intrínsecas das gramíneas que liberam exsudados radiculares favorecendo a formação de agregados, que contribuem para a proteção da MOS.

REFERÊNCIAS

ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; CARVALHO, A. L.; PINTO, A. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; OMETTO, J. P. H. B.; VON RANDOW, C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Climate change impacts on the sustainability of firewood harvest and vegetation and soil carbono stocks in a tropical dry forest in Santa Teresina municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.360, p.367-375, 2016.

ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; PINTO, A. S.; PAREYN, F. G. C.; CARVALHO, A. L.; MARTINS, J. C. R.; CARVALHO, E. X.; SILVA, A. S. A.; DUTRA, E. D.; SAMPAIO, E. V. S. B. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. *Agric. Ecosyst. Environ.* v.254, p.26-34, 2018.

ARAÚJO, J. K. S.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA JÚNIOR, V. S. S. Humic haplustox under different land uses in a High altitude environment in the agreste region Of pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.38, p.1337-1349, 2014.

BAYER, C; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-16.

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**, doi:10.4136/ambi-agua.1819, 2016.

CARDOSO, J. A. F.; LIMA, A. M. N.; CUNHA, T. J. F.; RODRIGUES, M. S.; HERNANI, L. C.; AMARAL, A. J.; OLIVEIRA NETO, M. B. Organic Matter Fractions in a Quartzipsamment under Cultivation of Irrigated Mango in the Lower São Francisco Valley Region, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.39, p.1068-1078, 2015.

COELHO, W. C. C.; MOURA FILHO, G.; CALHEIROS, L. C. S.; MOURA, A. B.; NASCIMENTO, D. C. **Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos representativos do estado de Alagoas**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2018.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L.; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, p.49-87, 2010.

ELIZIARIO, D. F. L. **Estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo sob pastagem e ecossistemas natural**. 2018. 74f. Dissertação (Mestrado) em Ciências do Solo: Ciclos Biogeoquímicos. Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia-PB, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

FERREIRA, A. C. C.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; EISENHAUER, N. Land-use type effects on soil organic carbono and microbial properties in a semi-arid region of Northeast Brazil. **Land Degradation & Development**, Published online in Wiley Library, DOI: 10.1002/ldr.2282, 2014.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. **Climatologia do estado da Paraíba**. Campina Grande: EDUEFCG, 2017. 75p.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2615-2628, 2013.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; SILVA, T. O.; SILVA, T. L.; DIAS, N. S.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil & Tillage Research**, v.126, p.177–182, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**, 2019. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html> >. Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

INSA - Instituto Nacional do Semiárido. **Agricultura temporária: Semiárido brasileiro 2017, 2018**. Disponível em: <https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Tabela%20Agricultura_RESUMO%203.pdf>. Acesso em 18 de setembro de 2019.

LAPIG – Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. **Atlas das Pastagens Brasileiras**, 2018. Disponível em < <https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/> >. Acesso em: 18 de março de 2020.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**. v.30, n.5, p.837 – 848, 2006.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.381-392, 2008.

MARINHO, A. C. C. S.; PORTELA, J. C.; SILVA, E. F.; DIAS, N. S.; SOUSA JUNIOR, F. S.; SILVA, A. C.; SILVA, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p.32-41, 2016.

MARINHO, J. O.; CAMPOS, J. O.; LIMA, V. R. P. A importância das cisternas de placas na zona rural de serra redonda - pb: uma análise da comunidade Torre. **GEOTemas**, v. 09, p.7-27, 2019.

OLIVEIRA, S. P.; LACERDA, N. B.; BLUM, S. C.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Organic carbono and nitrogen stocks in soils of northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. **Land Degradation & Development**, v.26, p.9-21. 2015.

OLIVEIRA, S. P.; CÂNDIDO, M. J. D.; WEBER, O. B.; XAVIER, F. A. S.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, v.137, p.508-516, 2016.

PEGORARO, R. F; MOREIRA, C. G; DIAS, D. G; SILVEIRA, T. C. Carbon and nitrogen stocks in the soil and humic substances of agricultural crops in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 574-583, 2018.

PEI, S.; FU, H.; WAN, C. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.124, p.33-39, 2008.

SANTANA, G. S.; DICK, D. P.; JACQUES, A. V. A.; CHITARRA, G. S. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.461-472, 2011.

SANTOS, U, J.; DUDA, G. P.; MARQUES, M. C.; MEDEIROS, E. V.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; BROSSARD, M.; HAMMECKER, C. Soil organic carbon fractions and humic substances are affected by land uses of Caatinga forest in Brazil, **Arid Land Research and Management**, DOI:10.1080/15324982.2018.1555871, 2019.

SATO, J. H; FIGUEIREDO, C. C de; MARCHÃO, R. L; MADARI, B. E; BENEDITO, L. E. C; BUSATO, J. G; SOUZA, D. M de. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 4, p. 302 – 308, 2014.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH. Referência da Web: < <http://www.semarh.al.gov.br/> > (acessado em 23 de setembro de 2019 as 14h35min).

SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. de. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ V, V. H; BARROS, N. F de; FONTES, R. L. F; CANTARUTI, R. B; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 276-374.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, M. B. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**. v.76, p.39–58. 2004.

SOUZA, H. A.; MARCELO, A. V.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.658-663, 2012.

SOUZA, A. B.; COSTA, C. T.; FIRMINO, P. R. A.; BATISTA, V. S. Tecnologias sociais de convivência com o semiárido na região do Cariri cearense. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.34, p.197-220, 2017.

STOCKMANN, U; ADAMS, M. A; CRAWFORD, J. W; FIELD, D. J; HENAKAARCHCHI, N; JENKINS, M; MINASNY, B; McBRATNEY, A. B; COURCELLES, V. R; SINGH, K; WHEELER, I; ABBOTT, L; ANGERS, D. A; BALDOCK, J; BIRD, M; BROOKES, P. C; CHENU, C; JASTROW, J. D; LAL, R; LEHMANN, M. J; O'DONNELL, A. G; PARTON, W. J; WHITEHEAD, D; ZIMMERMANN, M. The known and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 164, p. 80–99. 2013.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: In: SANTOS, G de A; SILVA, L. S da; CANELLAS, L. P; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 483 – 493.

CAPÍTULO IV

IMPACTO DA CONVERSÃO DA CAATINGA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E PASTAGEM NA QUALIDADE DOS SOLOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

Em ambientes semiáridos, a adoção de sistemas agropecuários permite verificar a fragilidade dos solos em termos de decomposição da matéria orgânica e alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da conversão da vegetação nativa para pastagens e agricultura na qualidade de solos do semiárido do Nordeste brasileiro, bem como identificar quais os atributos do solo possuem maior potencial como indicador da qualidade do solo. A análise de componentes principais foi utilizada para simplificar o número original de variáveis, enquanto que, o emprego da análise de agrupamentos objetivou agrupar os sistemas de manejo. Foram coletadas amostras de solos nas camadas 0-10 e 10-20 cm em sete municípios, de três estados, localizados na região semiárida do Nordeste brasileiro. Foram determinados os estoques de carbono orgânico total, nitrogênio total, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, carbono das frações oxidáveis, carbono das frações de substâncias húmicas, granulometria, densidade do solo, pH em água e atributos químicos (bases trocáveis, acidez potencial, acidez trocável e fósforo disponível). Os solos foram classificados em Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo e Cambissolo. Os sistemas utilizados foram: pastagem e agricultura com diferentes tempos de implantação e vegetação nativa (Caatinga). A adoção de sistemas agrícolas com preparo convencional do solo, contribui para perdas significativas na qualidade do solo, principalmente em áreas com mais de 19 anos de uso do solo. No entanto, as pastagens podem promover recuperação da qualidade dos solos, devido a ganhos de carbono nas frações mais lábeis da matéria orgânica do solo. Os atributos da matéria orgânica do solo, principalmente aqueles associados às frações lábeis e recalcitrantes, apresentam potencial como indicadores da qualidade do solo.

Palavras chave: Carbono orgânico total, compartimentos da matéria orgânica do solo, análise de componentes principais, análise de agrupamentos

ABSTRACT

In semi-arid environments, the adoption of agricultural systems allows to verify the fragility of soils in terms of decomposition of organic matter and changes in physical, chemical and biological attributes. The objective of this work was to evaluate the impact of converting native vegetation to pasture and agriculture on the quality of soils in the semi-arid region of Northeast Brazil, as well as to identify which soil attributes have the greatest potential as an indicator of soil quality. The principal component analysis was used to simplify the original number of variables, while the use of cluster analysis aimed to group the management systems. Soil samples were collected in layers 0-10 and 10-20 cm in the semiarid region of seven municipalities in three states in the Northeast region. The stocks of total organic carbon, total nitrogen, carbon and nitrogen from microbial biomass, carbon from oxidable fractions, carbon from humic substances fractions, granulometry, soil density, pH and chemical attributes (exchangeable bases, potential acidity, exchangeable acidity) were determined and available phosphorus). The soils were classified into Alfisol, Entisol Lithic, Aridisols, Ultisols and Inceptisols. The systems used were: pasture and agriculture with different implantation times and native vegetation (Caatinga). The adoption of agricultural systems with conventional tillage, contributes to significant losses in soil quality, especially in areas with more than 19 years of land use. However, pastures can promote recovery of soil quality, due to carbon gains in the more labile fractions of soil organic matter, from grass root exudates. The attributes of soil organic matter, especially those associated with labile and recalcitrant fractions, have potential as indicators of soil quality.

Keywords: Total organic carbon, compartments of soil organic matter, principal component analysis, cluster analysis

1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro ocupa uma área de aproximadamente 1 milhão de km² (ALTHOFF et al., 2018), e sofre grande pressão por áreas cultivadas, devido à alta densidade demográfica dessa região, que é habitada por mais de 27 milhões de pessoas (IBGE, 2019). Além disso, essa região possui como principais características altas temperaturas, reduzida precipitação pluvial, em geral, pequena produção de biomassa vegetal e significativa presença de solos pouco intemperizados (MAIA et al., 2006; MARINHO et al., 2019). Trate-se, portanto, de um ecossistema frágil no que se refere a manutenção da qualidade dos seus solos, susceptível a alterações significativas na matéria orgânica do solo (MOS), e outros atributos físicos, químicos e biológicos. Portanto, existe a necessidade da elaboração de técnicas de manejo que contribuam para a manutenção da sustentabilidade do meio edáfico (CARDOSO et al., 2015; MARINHO et al., 2016).

Estima-se que 40, 30, 15 e 15% desse território estejam ocupados com Caatinga nativa e secundária em regeneração, pastagem nativa, pastagem plantada e lavouras, com estoques de biomassa de 47, 15, 2 e 1 Mg ha⁻¹, respectivamente (SAMPAIO; COSTA, 2011). A principal atividade econômica da região é a pecuária (MARINHO et al., 2016), seguida da produção agrícola, onde se destaca a de subsistência, com características de agricultura convencional pouco tecnificada e cultivos agrícolas de sequeiro (ALTHOFF et al., 2018).

Práticas inadequadas de manejo do solo aceleraram a degradação de áreas no semiárido, causando problemas ecológicos e socioeconômicos (SAMPAIO, 2003). O desmatamento indiscriminado seguido pela queima dos resíduos florestais para o estabelecimento de sistemas agrícolas, com preparo convencional do solo e períodos de pousio inadequados, juntamente com a intensa extração de lenha e madeira para atender a demanda familiar e industrial (ALTHOFF et al., 2016), contribuem enormemente para a redução do aporte de material orgânico ao solo nos sistemas manejados comparativamente à vegetação nativa (ARAÚJO et al., 2011; CARDOSO et al., 2015; SANTOS et al., 2019).

Vários estudos evidenciam que a substituição da vegetação nativa por sistemas agrícolas altera a entrada de resíduos orgânicos e a sua taxa de decomposição (TRINDADE et al., 2011; GUIMARÃES et al., 2013; ALTHOFF et al., 2016). De modo geral, o uso de manejos inadequados promove mudanças significativas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (FERREIRA et al., 2014), comprometendo desta forma, a dinâmica da MOS (CARDOSO et al., 2015). Isso porque, em sistemas de preparo convencional ocorre intenso revolvimento do solo o que pode provocar a redução da sua estabilidade estrutural (ALTHOFF

et al., 2016), favorecendo a quebra dos agregados e deixando a MOS desprotegida (GUIMARÃES et al., 2013).

No caso das pastagens, quando bem manejadas, contribuem para o aumento das taxas de infiltração de água, redução da erosão do solo e densidade do solo (PEI et al., 2008; ARAÚJO et al., 2014), promovendo melhorias na qualidade do solo, devido apresentarem estoques de MOS próximos, ou mesmo superiores às áreas sob vegetações nativa (ARAÚJO et al., 2014; FERREIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015). Para estes autores, isso pode ser explicado devido às características intrínsecas das gramíneas, como denso sistema radicular, alto rendimento e ciclo curto, promovendo a entrada de resíduos orgânicos através de exsudatos radiculares, associados a contribuição dos animais no retorno de nutrientes e MO por excrementos. No entanto, da mesma forma que pastagens bem manejadas estão associadas a maiores estoques de C no solo, as pastagens consideradas degradadas apresentam estoques de C comparativamente menores à vegetação nativa (SANTANA et al., 2011; GUARESCHI et al., 2013; PEGORARO et al., 2018). Isso porque na área sob vegetação nativa a ausência de manejo do solo associada a cobertura da terra pela deposição de serrapilheira e maior aporte dos resíduos orgânicos, contribuem para a manutenção da umidade do solo, temperaturas mais baixas na superfície e maior proteção física da MOS intra-agregados (FERREIRA et al., 2014).

Apesar de considerar o estoque de C no solo um indicador chave da qualidade do solo, Lal (2015) considerou que além de sua quantidade deve-se determinar outros parâmetros de C orgânico do solo (COS), como sua distribuição em profundidade, qualidade e atributos (físicos, químicos, biológicos). Porém, em muitos casos, dados simples de COT podem não detectar adequadamente pequenas alterações na dinâmica do COS, tornando-se necessário selecionar frações específicas da MOS, que melhor detectem as variações no COT provocadas pelas mudanças no uso e manejo da terra (FERREIRA et al., 2014).

Desta forma, com a finalidade de se criar estratégias de manejo do solo que reduzam o impacto da agricultura sobre o ambiente, estudos visando uma melhor compreensão da dinâmica da MOS em áreas de cultivo e vegetação nativa não devem ficar restritos apenas a avaliação dos teores de COT (ALTHOFF et al., 2016), mas também à análise dos compartimentos ativo (FERREIRA et al., 2014), lábil (CONCEIÇÃO et al., 2014), físico (KUNDE et al., 2016) e recalcitrante (SANTOS et al., 2019) da MOS, que diferem em tempo de residência, função do solo e fatores de controle (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da conversão da vegetação nativa em sistemas agropecuários na qualidade de solos do semiárido nordestino, bem como identificar quais atributos do solo apresentam maior potencial como indicadores da qualidade do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em sete municípios de três estados no semiárido nordestino (Figura 1), em que a descrição das áreas de estudo encontra-se na Tabela 1. A região semiárida apresenta segundo a classificação de Köppen clima BSh (semiárido quente e seco), com precipitação média anual de 800 mm, sendo que 54% da região se encontra na faixa de 500-750 mm, 29% entre 750-1000 mm e 17% da região têm médias anuais entre 250-500 mm (SALCEDO; SAMPAIO, 2008). Apresenta uma insolação de aproximadamente 2800 h ano⁻¹, temperatura média anual oscilando entre 23 e 27 °C, evapotranspiração potencial de 2000 mm ano⁻¹ e umidade relativa do ar de 50% (ALTHOFF et al., 2018; MEDEIROS et al., 2020), a variabilidade temporal e espacial das chuvas ficam limitadas entre 2 e 4 meses por ano, proporcionando a região semiárida um balanço hídrico negativo durante 8 a 10 meses por ano (SALCEDO; SAMPAIO, 2008).

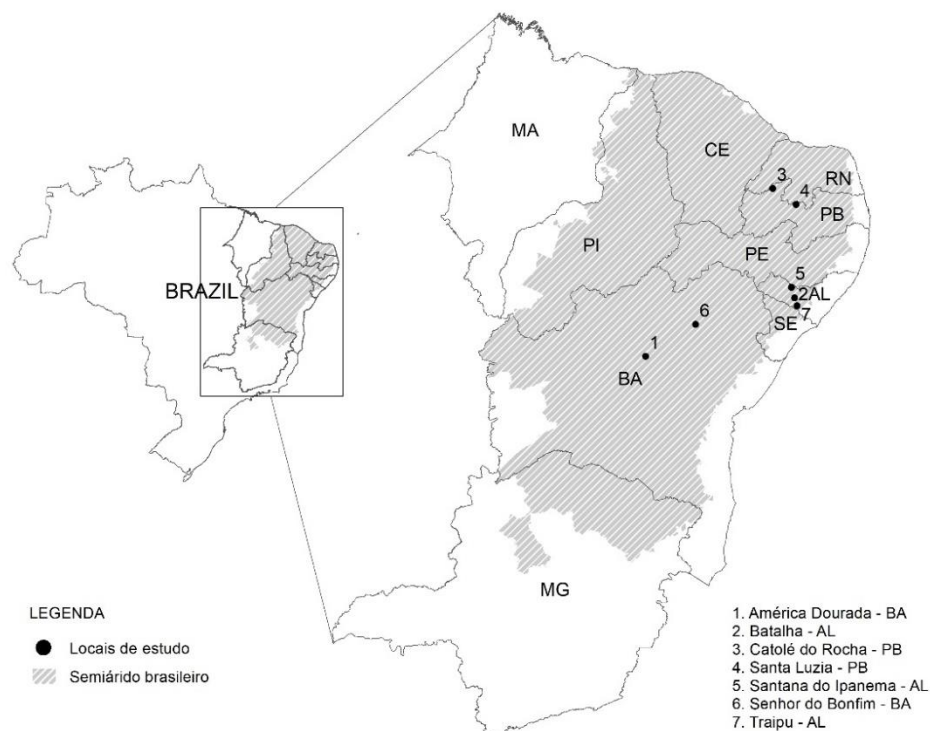


Figura 1. Distribuição das áreas de estudo na região semiárida do Brasil utilizadas para avaliar o comportamento dos diferentes sistemas de manejo (agricultura, pastagem e vegetação nativa).

Tabela 1. Dados da amostragem de solo e descrição das áreas de estudo.

Localização	Coordenadas	Uso do solo	Tempo de uso (anos) ^a	Siglas	Histórico das áreas	Tipo de solo	Culturas
Santana do Ipanema-AL	09° 21' 14" S e 37° 16' 31" W	Caatinga	Preservada	SI ₁ VN	Porte alto e adensada. Usada como pastagem durante o período seco.	Planossolo	Milho/feijão
		Agricultura	47	SI ₁ A47	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada		
		Caatinga	Preservada há 30 anos	SI ₂ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.	Neossolo Litólico	Milho/feijão
		Agricultura	2	SI ₂ A2	Mata desmatada, resíduos queimados.		
		Agricultura	38	SI ₂ A38	Preparo do solo com aração mecanizada.		
Batalha-AL	09° 40' 40" S e 37° 07' 29" W	Caatinga	Preservada	BaVN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.	Luvissolo	Milho/feijão
		Agricultura	11	BaA11	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com gradagem pesada.		
Traipu-AL	09° 58' 14" S e 37° 00' 12" W	Caatinga	Preservada	Tr ₁ VN	Porte alto e adensada. Usada como pastagem durante o período seco.	Planossolo	Capim Pangola
		Pastagem	10	Tr ₁ P10	Mata desmatada, resíduos queimados.		
		Pastagem	20	Tr ₁ P20	Preparo do solo com gradagem pesada.	Neossolo Litólico	Capim Pangola
		Caatinga	Preservada	Tr ₂ VN	Porte alto e adensada. Usada como pastagem durante o período seco.		
		Pastagem	4	Tr ₂ P4	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com gradagem pesada.		

Tabela 1. Continuação...

Localização	Coordenadas	Uso do solo	Tempo de uso (anos) ^a	Siglas	Histórico das áreas	Tipo de solo	Culturas
Catolé do Rocha-PB	06° 20' 28" S e 37° 44' 59" W	Caatinga	Preservada há 40 anos	CR ₁ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.	Argissolo	Milho/feijão
		Agricultura	12	CR ₁ A12	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada.		
		Agricultura	15	CR ₁ A15			
		Caatinga	Preservada há 50 anos	CR ₂ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.		
		Pastagem	6	CR ₂ P6	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada.		Pastagem nativa
		Agricultura	50	CR ₂ A50	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.		Milho/feijão
		Caatinga	Preservada	CR ₃ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.		
		Pastagem	30	CR ₃ P30	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada.		Pastagem nativa
Santa Luzia-PB	06° 52' 2" S e 36° 55' 16" W	Agricultura	40	CR ₃ A40	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.	Luvissolo	Milho/feijão
		Caatinga	Preservada há 40 anos	SL ₁ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.		
		Agricultura	19	SL ₁ A19	Mata desmatada, resíduos queimados.		
		Agricultura	38	SL ₁ A19	Preparo do solo com aração mecanizada.		Milho/feijão
		Agricultura	90	SL ₁ A90	Usada como pastagem após as colheitas.		
		Caatinga	Preservada há 50 anos	SL ₂ VN	Porte médio/baixo. Usada como pastagem durante o período seco.		

Tabela 1. Final...

Localização	Coordenadas	Uso do solo	Tempo de uso (anos) ^a	Siglas	Histórico das áreas	Tipo de solo	Culturas		
América Dourado-BA	11° 26' 7" S e 41° 25' 54" W	Agricultura	20	SL ₂ A20	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.	Cambisolo	Milho/feijão		
		Agricultura	30	SL ₂ A30					
		Caatinga	Preservada	AD ₁ VN	Porte alto e adensada. Usada como pastejo durante o período seco.		Milho		
		Agricultura	5	AD ₁ A5					
		Agricultura	15	AD ₁ A15	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.		Milho/feijão/mamona		
		Agricultura	20	AD ₁ A20					
		Agricultura	30	AD ₁ A30					
		Agricultura	35	AD ₁ A35					
		Agricultura	40	AD ₁ A40	Porte médio/alto. Usada como pastagem durante o período seco.		Milho/feijão/mamona		
		Caatinga	Preservada	AD ₂ VN					
		Agricultura	33	AD ₂ A33	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.				
		Agricultura	46	AD ₂ A46					
		Senhor do Bonfim-BA	10° 27' 41" S e 40° 11' 22" W	Caatinga	Preservada	SB ₁ VN	Porte médio/alto e adensada. Ausência de animais pastejando	Planossolo	Milho/feijão
				Agricultura	10	SB ₁ A10			
				Agricultura	15	SB ₁ A15	Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.		
Caatinga	Preservada			SB ₂ VN	Porte médio/alto. Usada como pastejo durante o período seco.				
Agricultura	8			SB ₂ A8		Mata desmatada, resíduos queimados. Preparo do solo com aração mecanizada. Usada como pastagem após as colheitas.	Milho/feijão		
Agricultura	18			SB ₂ A18					

^a Tempo desde a conversão da vegetação nativa ao sistema de cultivo convencional e/ou pastagem.

2.2 Amostragem do solo e análises

As amostras de solo foram coletadas em três trincheiras de solo, em cada uma das situações (vegetação nativa, cultivos agrícolas e pastagem). As profundidades de coleta foram nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Desta forma, foi coletado um total de 264 amostras de solo, as quais foram secas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm para remover os fragmentos de raízes e cascalho. A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico e a análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

Na caracterização química do solo, foram determinados acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) (extrator de acetato de cálcio e solução tampão de SMP) (COELHO et al., 2018), pH em água, P disponível, K^+ e Na^+ extraídos por Mehlich 1, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis usando extrator de KCl 1 mol L^{-1} . Com os valores obtidos nas análises, calculou-se: a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0, o índice de saturação por bases (V%) e o índice de saturação por alumínio trocável (m%) (EMBRAPA, 1997).

O teor de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram determinados por combustão seca (SATO et al., 2014) em analisador automático modelo Flash 2000 (Organic Elemental Analyzer, CNHS Analyzer). O fracionamento das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica da solubilidade diferencial, em meio ácido ou alcalino das frações correspondentes, separando-se as frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM), de acordo com os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS). A determinação do C nas frações húmicas foi realizada segundo a metodologia proposta por Yeomans & Bremner (1988). A partir dos estoques de COT e C das frações húmicas, foram calculados os seguintes índices: grau de humificação $(AH + AF + HUM)/COT$ (GUIMARÃES et al., 2013); indicador de estabilidade estrutural da matéria orgânica do solo, representada pela razão $HUM/(AF + AH)$ (CANELLAS et al., 2005); e índice de condensação da matéria orgânica solúvel no solo (AH/AF) (BENITES et al., 2003).

As frações de carbono oxidável foram obtidas utilizando-se diferentes concentrações de H_2SO_4 , separando-se o COT em três frações com diferentes graus de labilidade: carbono muito lábil (fração 1 – F1), lábil (fração 2 – F2) e não lábil (fração 3 + fração 4 – F3+F4) segundo metodologia adaptada de Chan et al. (2001). O teor de carbono foi quantificado pela

oxidação da matéria orgânica via úmida, sem aquecimento externo utilizando $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol/L em meio sulfúrico (YEOMANS; BREMNER, 1988).

Considerando a fração 1 como a representante do carbono orgânico lábil (C_L), foi determinado por diferença o carbono não lábil ($C_{NL} = COT - C_L$). Com base nas mudanças no COT, entre os sistemas avaliados foi calculado o Índice de Compartimento de Carbono (ICC), calculado como: $ICC = COT_{\text{explorado}} / COT_{\text{referência}}$. Fundamentando-se nas alterações na proporção de C_L (i.e. $L = C_L / C_{NL}$) no solo, um Índice de Labilidade (IL) foi determinado como: $IL = L_{\text{explorado}} / L_{\text{referência}}$. Estes dois índices foram usados para calcular o Índice de Manejo de Carbono (IMC) obtido pela seguinte expressão: $IMC = ICC \times IL \times 100$ (BLAIR et al., 1995).

Os teores de carbono microbiano (C_{mic}) e nitrogênio microbiano (N_{mic}) foram determinados pelo método da irradiação-extração (ISLAM; WEIL, 1998; FERREIRA et al., 1999). O carbono contido na biomassa microbiana foi quantificado por meio de oxidação via úmida (YEOMANS; BREMNER, 1988). O nitrogênio foi quantificado por meio de digestão sulfúrica seguida de destilação Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Foi calculado o quociente microbiano, através da relação: ($q_{Mic} = (C_{mic} / COT) \times 100$).

Os estoques de COT, NT, C_{mic} , N_{mic} , C das frações oxidáveis e das substâncias húmicas foram calculados por meio da multiplicação entre o teor do C e N, densidade do solo e espessura da camada de solo.

Para minimizar as discrepâncias na densidade do solo induzida pelas práticas de manejo, os estoques de COT, NT, C_{mic} , N_{mic} , C das frações oxidáveis e das substâncias húmicas calculados foram corrigidos com base em massa equivalente do solo (MES), seguindo o método proposto por Sisti et al. (2004), conforme a equação 1:

$$Cs = \sum_{i=1}^{n-1} CTi + [MTn - (\sum_{i=1}^n MTi - \sum_{i=1}^n MSi)] CTn \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

Cs = estoque de C corrigido ($Mg \text{ ha}^{-1}$);

$\sum_{i=1}^{n-1} CTi$ = soma do conteúdo total de carbono ($Mg \text{ ha}^{-1}$) nas camadas 1 (superfície) até a camada $n - 1$ (penúltima) do sistema de cultivo;

MTn = massa de solo da última camada do sistema de cultivo;

$\sum_{i=1}^n MTi$ = soma da massa de solo ($Mg \text{ ha}^{-1}$) nas camadas 1 (superfície) até n (última camada) do sistema de cultivo;

$\sum_{i=1}^n MSi$ = soma da massa de solo ($Mg\ ha^{-1}$) nas camadas 1 (superfície) até n (última camada) no perfil de referência do solo (vegetação nativa);

CTn = concentração de carbono ($Mg\ C$ por Mg de solo) na última camada do sistema de cultivo.

2.3 Análise estatística

Os dados foram padronizados ($\bar{X} = 0,0$ e $s^2 = 1,0$) e submetidos à análise de componentes principais (ACP), considerando apenas as variáveis que apresentaram valor da carga fatorial acima de 0,60 (ARAÚJO et al., 2013). Variáveis não associadas aos componentes principais (CPs) ($|r| < 0,60$) foram removidas do banco de dados e uma nova análise foi realizada.

Por meio dos princípios adotados por Kaiser (1958), onde as componentes principais (CPs) devem assumir autovalores maiores que a unidade ($\lambda > 1,0$) e que as porcentagens da variância total para cada CP deve ser maior que 10% (GOVAERTS et al., 2007) e da variância acumulada pelas CPs $\geq 70\%$ (RENCHE, 2002), as variáveis analisadas foram agrupadas em dois componentes, nas duas camadas e em todas as classes de solos estudadas.

Em seguida, os dados foram submetidos à análise de agrupamento (*cluster analysis*), adotando-se o método do encadeamento único (*Single Linkage*), a partir da distância euclidiana, para descrever a similaridade entre os sistemas de manejo e uso do solo. As análises foram realizadas no software R versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018).

3 RESULTADOS

3.1 Impacto do uso da terra na qualidade dos solos

Os valores médios das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos para os diferentes sistemas de uso da terra, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, estão apresentados na Tabela 2. Os resultados indicam que, de modo geral, houve perda da qualidade do solo após a conversão de vegetação nativa para os sistemas agropecuários. Sendo que as maiores perdas nos compartimentos da MOS ocorreram na camada 0-10 cm para os sistemas agrícolas com mais tempo de uso do solo.

Sob Planossolo, a área SI₁A47 quando comparada a SI₁VN, apresentou reduções nos estoques de COT (52%), Cmic (93%), C_L (55%), C_{NL} (51%), AF (57%), AH (72%) e HUM (79%). Em Luvisolo, os sistemas agrícolas com mais de 19 anos de uso do solo, apresentaram

perdas para o COT (22-66%), C_{NL} (29-67%), AF (28-94%), AH (38-95%) e HUM (38-91%). Sob Argissolo, as áreas CR₂A50 e CR₃A40, quando comparadas as suas respectivas referências (áreas sob vegetação nativa), tiveram perdas médias de 179 e 41% para o Cmic e HUM, respectivamente. Já os sistemas AD₁A20, AD₁A30, AD₁A35, AD₁A40 e AD₂A33 e AD₂A46, quando comparados à AD₁VN e AD₂VN, respectivamente, apresentaram perdas de até 86% de Cmic, 41% de C_L , 66% de AF e 72% de AH.

Algumas exceções, foram observadas, por exemplo sob Neossolo Litólico as maiores perdas não ocorreram para o sistema agrícola com mais tempo de uso do solo (SI₂A38), como era esperado, e sim para o sistema com menor tempo de uso da terra (SI₂A2). Para esta área, os estoques de COT, Cmic, C_L , C_{NL} , AH e HUM sofreram reduções de 45, 71, 35, 48, 30 e 30%, respectivamente. Outras exceções foram observadas em áreas de pastagem e nos sistemas agrícolas com menor tempo de uso do solo. A área Tr₂P4 sob Neossolo Litólico, apresentou ganhos de C_L (33%), e AH (54%); Tr₁P10 sob Planossolo teve ganho de 25% de Cmic; CR₁A12, CR₁A15 e CR₃P30 sob Argissolo apresentaram ganhos de até 100% para o Cmic e AH; BaA11 sob Luvisolo teve ganhos de AF (20%) e AH (86%); e, AD₁A5 e AD₁A15 sob Cambissolo apresentaram ganhos de até 81 e 98% para o COT e C_{NL} , respectivamente.

Tabela 2. Carbono orgânico total, nitrogênio total, frações da matéria orgânica, granulometria, densidade do solo, pH, fósforo, acidez potencial e capacidade de troca de cátions em Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo e Cambissolo nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

Classes de solos	Planossolo										
	SI ₁ VN	SI ₁ A47	SB ₁ VN	SB ₁ A10	SB ₁ A15	SB ₂ VN	SB ₂ A8	SB ₂ A18	Tr ₁ VN	Tr ₁ P10	Tr ₁ P20
	0 - 10 cm										
COT¹	27,61	13,34	29,11	20,31	22,12	34,84	27,91	30,22	38,64	22,25	23,87
NT	2,12	1,37	2,07	1,54	1,75	4,68	1,68	1,85	2,84	1,73	2,11
Cmic	0,58	0,04	0,05	0,14	0,06	0,08	0,08	0,08	0,69	0,86	0,30
Nmic	0,11	0,03	0,12	0,05	0,05	0,08	0,09	0,05	0,21	0,11	0,16
AF	2,63	1,14	1,13	0,64	0,90	1,19	1,59	1,11	3,27	1,48	1,80
AH	2,98	0,84	2,31	0,88	1,74	2,67	1,43	2,02	3,87	2,87	3,26
HUM	17,23	3,62	2,40	5,36	5,15	9,15	6,05	9,62	20,93	16,13	12,03
C_L	6,27	2,83	2,89	2,53	1,31	3,41	3,41	2,68	9,35	6,77	5,34
C_{NL}	21,34	10,51	26,22	17,78	20,81	31,43	24,50	27,54	29,28	15,48	18,53
Argila	149	120	77	120	52	373	65	67	168	246	90
Areia	667	776	849	858	870	561	867	803	556	319	754
Silte	183	103	73	20	77	65	67	129	275	434	154
Ds	1,05	1,27	1,48	1,57	1,50	1,41	1,53	1,49	1,25	1,28	1,43
pH	6,50	5,65	5,85	6,10	6,15	5,55	5,55	5,70	6,45	6,55	5,65

P	1,14	0,16	0,25	0,31	0,19	0,30	0,09	0,13	0,33	0,40	0,34
CTC	17,37	7,69	10,50	6,03	7,25	11,47	9,17	9,43	19,11	14,41	13,05
10 - 20 cm											
COT	34,31	13,13	17,67	9,01	13,91	21,40	20,65	21,12	16,77	13,17	18,92
NT	2,72	1,31	1,48	1,03	1,16	1,81	1,32	1,42	1,60	1,32	2,01
Cmic	0,23	0,07	0,07	0,08	0,05	0,07	0,08	0,06	0,76	0,12	0,33
Nmic	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,11	0,03	0,06	0,14	0,13	0,10
AF	1,12	0,97	0,50	0,21	0,39	1,25	0,92	1,01	2,11	0,53	1,44
AH	2,30	1,03	1,43	0,91	1,46	1,65	1,19	0,99	2,67	0,81	1,85
HUM	18,25	5,39	5,42	1,37	2,92	6,51	7,18	4,55	10,72	9,16	9,34
CL	5,65	2,92	2,67	1,25	1,04	2,81	2,21	2,43	4,81	2,39	3,54
CNL	28,66	10,21	15,00	7,76	12,87	18,59	18,44	18,69	11,96	10,78	15,38
Argila	222	124	75	91	59	144	54	45	259	177	157
Areia	530	743	845	842	885	747	783	729	521	311	779
Silte	246	131	79	65	54	108	162	225	219	511	63
Ds	1,24	1,52	1,49	1,52	1,47	1,38	1,45	1,45	1,36	1,27	1,57
pH	6,70	5,55	5,55	6,30	5,65	5,27	5,23	5,27	6,87	6,90	5,50
P	1,03	0,26	0,15	0,16	0,12	0,11	0,04	0,04	0,11	0,13	0,15
CTC	15,76	8,83	9,42	5,54	6,58	9,88	7,67	8,87	17,78	13,38	11,34

Tabela 2. Continuação...

Classes de solos	Neossolo Litólico				
	SI ₂ VN	SI ₂ A2	SI ₂ A38	Tr ₂ VN	Tr ₂ P4
Variáveis	0 – 10 cm				
COT¹	40,20	22,01	30,22	39,42	40,18
NT	3,59	2,09	2,73	3,06	2,99
Cmic	0,31	0,09	0,19	0,05	0,28
Nmic	0,04	0,02	0,01	0,02	0,06
AF	1,50	1,50	0,41	1,94	2,22
AH	3,45	2,42	1,69	3,11	4,80
HUM	14,00	9,78	4,32	19,62	15,87
CL	7,69	5,00	6,39	4,29	5,74
CNL	32,51	17,01	23,83	35,13	34,45
Argila	234	90	116	137	176
Areia	730	741	801	713	668
Silte	34	167	82	148	156
Ds	1,56	1,25	1,54	1,43	1,35
pH	6,20	6,20	5,97	6,35	6,85
CTC	10,11	8,92	6,59	12,08	13,60
10 – 20 cm					
COT	22,35	25,66	34,22	28,59	28,88
NT	2,18	1,71	2,91	2,49	2,44
Cmic	0,29	0,05	0,17	0,03	0,15
Nmic	0,03	0,02	0,04	0,06	0,06
AF	0,84	1,17	0,72	0,92	1,05

AH	1,98	2,12	1,76	1,87	2,28
HUM	6,99	8,36	2,08	8,47	6,78
CL	3,92	4,09	5,18	2,57	3,31
C_{NL}	18,43	21,57	29,04	26,02	25,57
Argila	119	55	129	191	212
Areia	731	708	777	668	644
Silte	149	236	93	140	142
Ds	1,55	1,52	1,63	1,4	1,45
pH	5,83	6,05	6,00	6,37	6,70
CTC	8,62	9,31	6,44	7,91	11,90

Tabela 2. Continuação...

Classes de solos	Luvissole								
Variáveis	BaVN	BaA11	SL ₁ VN	SL ₁ A19	SL ₁ A38	SL ₁ A90	SL ₂ VN	SL ₂ A20	SL ₂ A30
0 – 10 cm									
COT¹	31,35	31,92	31,73	10,82	20,95	14,61	21,50	8,93	16,75
NT	2,63	2,84	3,04	1,09	2,75	1,09	1,42	0,85	1,23
Cmic	0,29	0,29	0,33	0,03	0,17	0,12	0,05	0,10	0,05
Nmic	0,08	0,13	0,07	0,02	0,04	0,06	0,08	0,03	0,02
AF	1,47	1,77	4,52	0,25	1,21	1,43	1,33	0,63	0,96
AH	1,86	3,46	4,35	0,34	1,55	0,20	1,24	0,60	1,30
HUM	11,95	12,08	17,47	1,58	5,49	5,38	5,82	2,30	3,59
CL	6,38	5,63	5,98	1,63	2,61	2,55	0,90	2,15	3,63
C_{NL}	24,97	26,29	25,75	9,19	18,34	12,05	20,59	6,78	13,11
Argila	175	138	187	55	61	63	69	57	280
Areia	677	689	627	872	918	751	867	896	698
Silte	147	172	184	72	19	185	62	45	20
Ds	1,46	1,54	1,39	1,42	1,47	1,28	1,35	1,43	1,42
pH	6,21	5,50	6,35	6,30	5,47	6,05	6,90	7,20	7,35
P	0,23	0,15	0,48	0,22	0,13	0,46	0,45	0,29	0,61
H+Al	3,42	4,37	3,88	2,44	3,82	3,02	2,49	1,45	1,06
CTC	18,73	15,75	25,09	4,92	5,87	12,19	8,63	4,85	6,07
10 – 20 cm									
COT	14,87	16,53	23,44	10,66	17,95	13,21	10,03	6,38	8,65
NT	1,67	1,75	2,11	1,03	2,36	1,05	0,80	0,71	0,77
Cmic	0,27	0,21	0,23	0,05	0,07	0,47	0,05	0,07	0,02
Nmic	0,06	0,13	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03
AF	0,80	0,93	2,14	0,15	1,04	1,46	0,49	0,15	0,83
AH	0,90	1,00	2,60	0,41	1,21	0,29	0,18	0,26	0,69
HUM	11,01	7,89	12,47	2,35	2,77	4,82	1,96	1,79	1,94
CL	3,73	4,32	3,97	2,23	1,64	3,61	2,39	1,19	1,52
C_{NL}	11,14	12,21	19,47	8,43	16,32	9,60	7,64	5,19	7,13
Argila	198	147	118	39	79	73	60	56	113
Areia	566	672	837	820	910	661	853	887	811
Silte	235	180	45	139	10	264	85	56	74

Ds	1,42	1,22	1,52	1,65	1,55	1,41	1,28	1,62	1,52
pH	6,61	6,03	6,85	6,33	5,50	6,25	6,90	7,40	7,60
P	0,04	0,06	0,20	0,11	0,08	0,18	0,17	0,07	0,10
H+Al	3,63	3,98	3,57	2,24	4,29	3,27	1,82	1,51	1,40
CTC	18,44	16,47	30,05	4,76	5,90	15,36	5,65	5,20	5,40

Tabela 2. Continuação...

Classes de solos	Argissolo								
Variáveis	CR ₁ VN	CR ₁ A12	CR ₁ A15	CR ₂ VN	CR ₂ P6	CR ₂ A50	CR ₃ VN	CR ₃ P30	CR ₃ A40
0 – 10 cm									
COT¹	20,68	13,53	13,89	34,85	27,10	20,36	28,59	22,35	12,42
NT	2,32	1,36	1,86	2,63	1,94	1,66	2,29	1,88	1,24
Cmic	0,24	0,46	0,48	0,81	0,77	0,16	0,32	0,38	0,04
Nmic	0,07	0,08	0,06	0,06	0,07	0,03	0,53	0,10	0,01
AF	0,88	1,15	0,66	3,51	1,03	1,35	2,00	1,95	1,29
AH	0,76	0,82	1,52	5,18	2,35	3,38	3,14	3,36	1,00
HUM	5,26	4,90	3,75	9,83	10,07	11,6	19,42	7,77	4,37
CL	2,82	1,86	1,80	4,47	4,42	3,60	8,31	2,61	2,24
CNL	17,85	11,66	12,10	30,38	22,68	16,77	20,28	19,74	10,18
Areia	726	612	712	655	663	559	643	773	713
Silte	120	74	59	132	209	106	74	19	67
Ds	1,56	1,41	1,47	1,39	1,45	1,43	1,17	1,43	1,31
pH	5,90	6,17	6,00	5,35	6,75	6,67	6,97	6,55	6,15
P	0,17	0,17	0,25	0,19	0,38	0,34	4,52	0,48	2,22
H+Al	4,00	3,30	2,27	4,80	2,10	2,76	1,92	2,54	1,94
CTC	7,80	10,62	6,22	12,47	12,86	17,70	14,68	10,24	7,17
10 – 20 cm									
COT	14,09	15,44	13,47	26,32	17,19	21,73	22,33	15,03	23,88
NT	1,94	2,24	1,84	2,16	1,67	1,65	2,03	1,44	2,05
Cmic	0,10	0,59	0,12	0,32	0,26	0,27	0,56	0,12	0,04
Nmic	0,09	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,12	0,04	0,04
AF	0,70	1,00	1,02	1,84	1,29	1,03	1,39	1,94	1,73
AH	0,39	1,10	1,39	1,55	2,11	1,34	3,70	2,96	2,13
HUM	4,17	5,16	4,15	4,72	6,98	12,05	8,20	6,61	4,07
CL	2,81	2,46	1,71	2,54	3,88	3,91	4,28	1,27	1,28
CNL	11,28	12,99	11,76	23,77	13,31	17,82	18,05	13,76	22,60
Areia	735	767	740	775	559	451	631	825	760
Silte	137	60	137	91	339	330	77	14	36
Ds	1,6	1,34	1,51	1,54	1,59	1,46	1,51	1,39	1,53
pH	5,83	6,47	6,13	5,9	6,80	6,67	6,73	6,23	6,60
P	0,02	0,09	0,22	0,11	0,38	0,22	2,73	0,60	2,09
H+Al	3,40	2,60	2,74	3,41	2,68	2,95	2,41	3,29	1,84
CTC	6,87	12,14	7,30	9,77	12,71	18,66	12,59	10,4	6,16

Tabela 2. Final...

Classes de solos		Cambissolo								
Variáveis	AD ₁ VN	AD ₁ A5	AD ₁ A15	AD ₁ A20	AD ₁ A30	AD ₁ A35	AD ₁ A40	AD ₂ VN	AD ₂ A33	AD ₂ A46
0 – 10 cm										
COT ¹	27,42	49,68	29,04	25,03	26,39	29,98	26,32	24,57	26,03	31,42
NT	1,75	2,59	1,87	1,66	1,58	2,82	1,63	1,47	1,58	1,64
Cmic	0,89	0,60	0,46	0,33	0,42	0,40	0,23	2,57	0,36	0,36
Nmic	0,08	0,11	0,13	0,03	0,30	0,14	0,26	0,15	0,06	0,07
AF	2,52	3,15	2,31	2,45	1,24	1,42	0,85	0,50	0,52	0,37
AH	3,53	2,51	0,74	1,59	0,97	2,12	0,98	0,14	0,32	0,96
C _L	4,41	3,99	4,56	4,07	3,28	3,17	4,88	3,81	2,26	2,72
C _{NL}	23,00	45,69	24,48	20,96	23,11	26,81	21,44	20,75	23,77	28,71
pH	6,95	7,60	7,75	7,80	7,45	7,27	7,13	7,73	8,13	8,13
P	0,06	0,20	0,08	0,17	0,13	0,56	0,65	0,82	0,25	0,18
H+Al	2,76	1,72	1,57	1,84	2,15	2,63	2,61	1,48	1,17	1,09
CTC	26,14	22,1	27,1	24,62	29,3	16,63	17,61	52,55	36,01	30,97
10 – 20 cm										
COT	25,78	26,46	30,01	25,99	24,05	25,04	22,67	29,99	26,14	31,35
NT	1,62	1,70	1,79	1,66	1,53	1,60	1,71	1,25	1,63	1,48
Cmic	0,42	0,28	0,33	0,31	0,36	0,37	0,26	2,00	0,34	0,28
Nmic	0,06	0,13	0,05	0,07	0,13	0,05	0,07	0,16	0,06	0,07
AF	1,55	1,45	2,19	1,46	1,25	1,43	1,31	0,57	0,14	0,32
AH	1,32	1,37	0,43	1,20	1,34	2,74	1,32	0,19	0,16	0,31
C _L	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
C _{NL}	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
pH	7,30	7,23	7,90	7,83	7,80	7,80	7,23	7,93	8,17	8,20
P	0,02	0,05	0,04	0,09	0,10	0,24	0,41	0,58	0,17	0,11
H+Al	2,66	2,39	1,49	1,64	1,36	2,23	2,32	1,37	1,15	1,09
CTC	22,27	17,18	26,65	23,04	20,44	16,77	16,92	53,3	35,73	31,47

¹ As unidades das variáveis são: Mg ha⁻¹ para: COT, NT, Cmic, Nmic, AF, AH, HUM, C_L e C_{NL}; g dm⁻³ para: argila, areia e silte; g cm⁻³ para Ds; e, cmol_c dm⁻³ para P, H+Al e CTC.

3.2 Impactos da mudança de uso da terra sobre os atributos indicadores da qualidade do solo

Planossolo

Com base na análise de agrupamentos, foi possível separar os sistemas de uso do solo (Tr₁P10, Tr₁P20, SI₁A47, SB₁A10, SB₁A15, SB₂A8 e SB₂A18) das suas respectivas referências (vegetação nativa) (Figuras 2A e 2B), visto que, ocorreram significativas perdas nos estoques de COT, C_L, C_{NL}, AF, AH e HUM (Tabela 2), desta forma, estes sistemas fazem parte de agrupamentos distintos.

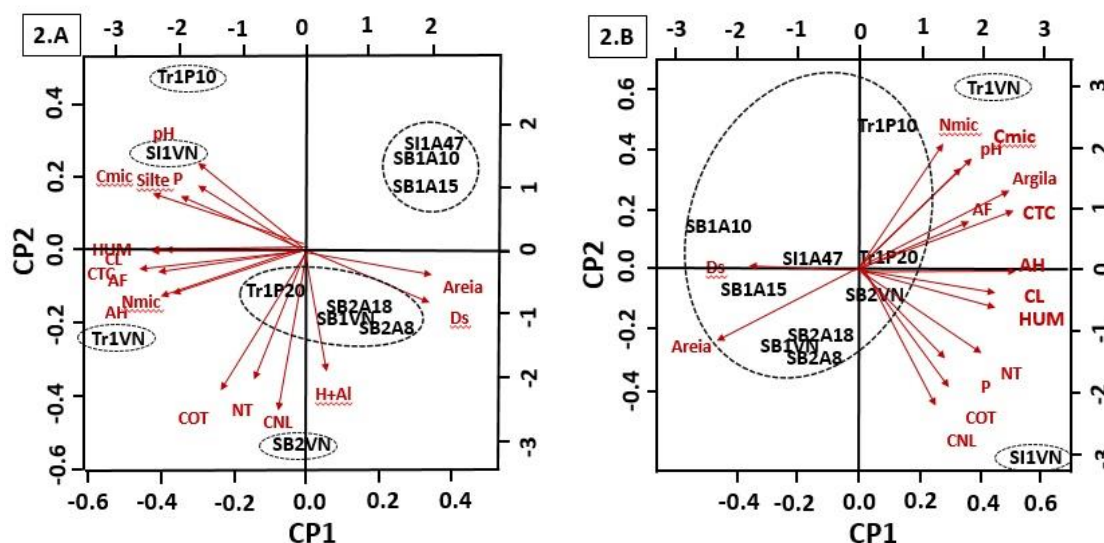


Figura 2. Biplot dos componentes principais CP₁ e CP₂ com os sistemas de manejo (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem) e localidades (Santana do Ipanema-SI, Traipu-Tr e Senhor do Bonfim-SB) sob Planossolo. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de agrupamento, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 2A (0-10 cm) e 2B (10-20 cm).

Os resultados para os autovalores e porcentagem da variância total e acumulada para Planossolo encontram-se na Tabela 3. A partir dos biplots (Figuras 2A e 2B), nota-se que na camada 0-10 cm a CP₁, formada por parâmetros biológicos (Cmic e Nmic), fração lábil da MOS (C_L), substâncias húmicas (AH, HUM), granulometria (areia e silte), atributos químicos do solo (pH, P e CTC) e Ds, discriminou as áreas de vegetação nativa SI₁VN, Tr₁VN e SB₁VN dos seus respectivos sistemas agrícolas e pastagens, enquanto que na CP₂, representada pelo COT, NT, fração mais recalcitrante da MOS (C_{NL}) e acidez potencial houve maior discriminação de SB₂VN. Na camada 10-20 cm, a CP₁, representada por variáveis associadas a matéria orgânica (NT, Cmic, C_L, AF, AH, HUM), atributos físicos (Ds, teor de argila e areia) e químicos do solo (pH, P e CTC), discriminaram SI₁VN e Tr₁VN, já a CP₂, composta apenas por atributos da MOS (Nmic, C_{NL}), não foi capaz de distinguir os sistemas de manejo.

Tabela 3. Resultados da análise de componentes principais para Planossolo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

Classe de solos		Componentes Principais - CP			
		CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
		0-10 cm		10-20 cm	
Planossolo	Autovalor	8,77	3,40	8,57	2,95
	Variância Total	54,83	21,25	57,16	19,67
	Variância Acumulada	54,83	76,08	57,16	76,83

Na CP₁, as variáveis Cmic, P e pH correlacionaram-se fortemente com o sistema SI₁VN (Figura 2A), apresentando solo menos ácido, maior disponibilidade de P e 0,54 Mg ha⁻¹ de Cmic a mais que na área agrícola SI₁A47 (Tabela 2). Já as variáveis físicas (areia e Ds) da CP₁ correlacionaram-se positivamente com os sistemas SB₂A8 e SB₂A18, que por sua vez apresentaram correlação negativa com COT, NT e C_{NL} da MOS. Enquanto que, as variáveis da CP₂ (COT, NT, C_{NL} e H+Al) apresentaram forte correlação com SB₂VN e correlação negativa com seus sistemas agrícolas SB₂A8 e SB₂A18.

As CP₁ e CP₂ mostraram baixa correlação entre as variáveis estudadas e os sistemas Tr₁P10, SI₁A47, SB₁A10 e SB₁A15, evidenciado pelo posicionamento de seus autovalores próximo ao eixo e maior distanciamento na angulação dos autovetores. De fato, nenhuma das variáveis foi capaz de explicar o posicionamento destes sistemas. Já as variáveis físicas (areia e Ds) da CP₁, por apresentarem comportamento semelhante (Tabela 2), conseguiram discriminar os sistemas SB₁VN, SB₂A8 e SB₂A18 das demais áreas estudadas na camada 0-10 cm.

Neossolo Litólico

De acordo com a análise de agrupamentos, para a camada 0-10 cm, foi possível separar SI₂A2 e SI₂A38 de SI₂VN (Figura 3A), isso porque as áreas agrícolas, quando comparadas à vegetação nativa, apresentaram perda na qualidade do solo, com reduções de até 71% nos estoques de C (Tabela 2). A área de pastagem Tr₂P4 permaneceu no mesmo agrupamento de Tr₂VN (Figura 3A), devido apresentar atributos físicos, químicos e biológicos semelhantes a área de vegetação nativa (Tabela 2). Na camada 10-20 cm SI₂A2 pertence ao mesmo agrupamento que SI₂VN, devido os atributos do solo para estes sistemas apresentarem comportamento semelhante nessa camada.

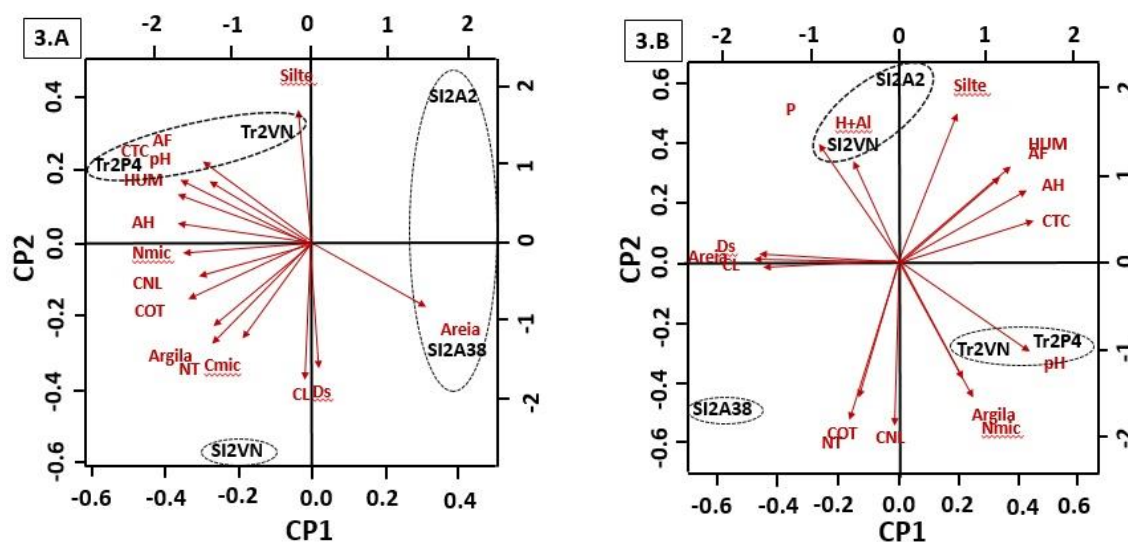


Figura 3. Biplot dos componentes principais CP₁ e CP₂ com os sistemas de manejo (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem) e localidades (Santana do Ipanema-SI e Traipu-Tr) sob Neossolo Litólico. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de agrupamento, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 3A (0-10 cm) e 3B (10-20 cm).

Os resultados para os autovalores e porcentagem da variância total e acumulada para Neossolo Litólico encontram-se na Tabela 4. Conforme os resultados da ACP para Neossolo Litólico, na camada de 0-10 cm, a CP₁ foi formada por variáveis associadas a matéria orgânica (COT, Nmic, CNL, AF, AH, HUM), atributos físicos (areia) e químicos do solo (pH e CTC), enquanto que, a CP₂ foi representada pelo compartimento ativo (Cmic), fração lábil da MOS (C_L) e atributos físicos (Ds e silte) (Figura 3A). Já na camada 10-20cm a CP₁ foi representada pelo compartimento passivo (AF, AH e HUM), fração lábil (C_L), atributos físicos (areia e Ds) e químicos do solo (pH e CTC), a medida que, a CP₂ foi composta por atributos da MOS (COT, NT, Nmic, CNL), físicos (argila e silte) e químicos (P e H+Al) (Figura 3B).

Tabela 4. Resultados da análise de componentes principais para Neossolo Litólico, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

Classe de solos		Componentes Principais - CP			
		CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
Neossolo Litólico	Autovalor	8,07	5,03	6,80	6,40
	Variância Total	53,84	33,57	42,49	40,02
	Variância Acumulada	53,84	87,41	42,49	82,51

Como observado nos biplots, foi possível separar os sistemas de manejo e relacioná-los aos atributos do solo (Figuras 3A e 3B). Variáveis da CP₁ (AF, AH, HUM, CTC, pH e areia) discriminaram os sistemas Tr₂P4 e SI₂A38, enquanto que variáveis da CP₂ (silte, Ds, C_L e C_{mic}) discriminaram as áreas de vegetação SI₂VN e Tr₂VN (Figura 3A).

Na camada 0-10 cm, variáveis da CP₁ correlacionaram-se de forma positiva com a área Tr₂P4 (Figura 3A), apresentando pH próximo a neutralidade, maiores estoques de AF e AH e maior concentração de CTC (Tabela 2), enquanto que a areia se correlacionou positivamente com o sistema SI₂A38, o qual apresenta um solo mais arenoso, em comparação com SI₂VN. Variáveis da CP₂ apresentaram correlação positiva com o sistema SI₂VN e correlação negativa com Tr₂VN. Na camada 10-20 cm, as variáveis das CP₁ e CP₂ apresentaram baixas correlações com os sistemas de manejo.

Luvissole

Com base na análise de agrupamentos, foi possível a separação apenas da SL₁VN dos sistemas de manejo SL₁A19, SL₁A38 e SL₁A90 em ambas as camadas de solo (Figuras 4A e 4B). Isso porque estes sistemas agrícolas apresentaram significativas perdas na qualidade do solo, quando comparados a área sob vegetação nativa (Tabela 2). As demais áreas sob vegetação nativa (BaVN e SL₂VN) ficaram agrupadas aos sistemas agrícolas por apresentarem similaridade entre as variáveis estudadas. A exceção ocorreu para SL₁A38 que permaneceu isolada nas duas camadas, devido apresentar comportamento diferente dos demais sistemas, com destaque para os atributos químicos da fertilidade do solo (pH, P, H+Al e CTC) (Tabela 2).

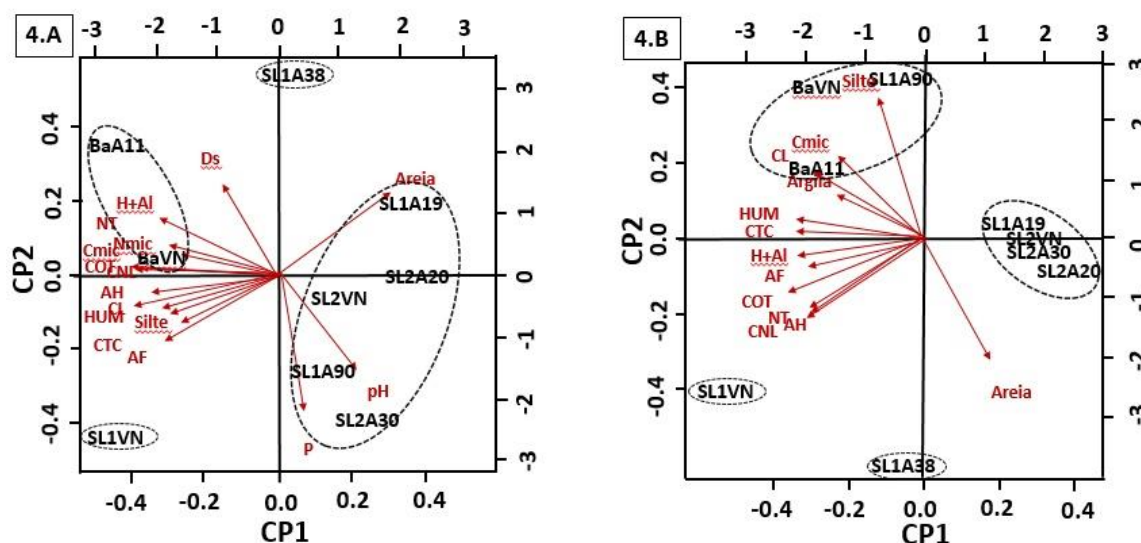


Figura 4. Biplot dos componentes principais CP₁ e CP₂ com os sistemas de manejo (VN - vegetação nativa e A - agricultura) e localidades (Batalha-Ba e Santa Luzia-SL) sob Luvissole. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de agrupamento, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 4A (0-10 cm) e 4B (10-20 cm).

Os resultados para os autovalores e porcentagem da variância total e acumulada para Luvissole encontram-se na Tabela 5. Conforme os resultados da ACP (Figuras 4A e 4B), a CP₁, nas duas camadas avaliadas, foi formada por variáveis associadas a matéria orgânica (COT, NT, Cmic, Nmic, CL, C_{NL}, AF, AH e HUM), atributos físicos (areia, argila e silte) e químicos (H+Al e CTC), enquanto que a CP₂ foi composta por atributos químicos (pH e P) e físicos (Ds, areia e silte).

Tabela 5. Resultados da análise de componentes principais para Luvissole, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

Classe de solos		Componentes Principais - CP			
		CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
Luvissole	Autovalor	10,23	2,68	7,75	3,13
	Variância Total	63,96	16,79	59,63	24,08
	Variância Acumulada	63,96	80,75	59,63	83,71

De acordo com o observado para os gráficos em biplots as variáveis estudadas foram eficientes na separação dos ambientes. Variáveis da CP₁ discriminaram os sistemas BaVN, BaA11 e SL₁VN na camada 0-10 cm, enquanto que a CP₂ discriminou SL₁A90 e SL₂A30 na camada 0-10 cm e BaVN e SL₁A90 na camada 10-20 cm (Figuras 4A e 4B).

Na camada 0-10 cm a CP1 se correlacionou positivamente com os sistemas BaVN, BaA11 e SL₁VN (Figura 4A), os quais apresentam os maiores estoques de COT, NT, Cmic, Nmic, CL, C_{NL}, AF, AH e HUM, e correlação negativa com SL₂VN, SL₂A20 e SL₁A19, as quais apresentam os menores valores destes atributos, e consequentemente as maiores perdas da qualidade do solo (Tabela 2). A CP₂ (pH e P) apresentou correlação positiva com SL₂A30 e SL₁A90 e negativa com SL₁A38, a qual apresentou pH mais ácido e menor disponibilidade de P. O sistema agrícola com 38 anos de uso da terra (SL₁A38) foi o que menos se correlacionou com os atributos do solo, apresentando forte correlação negativa com atributos da CP₂ (P e pH), evidenciado pelo posicionamento de seus autovalores próximo ao eixo e maior distanciamento na angulação dos autovetores.

Argissolo

De acordo com a análise de agrupamentos foi possível separar os sistemas de manejo do solo sob agricultura e pastagem (CR₂P6, CR₂A50, CR₃P30 e CR₃A40) das suas respectivas referências (CR₂VN e CR₃VN) (Figuras 5A e 5B). Isso porque estes sistemas agropecuários apresentaram significativas perdas da qualidade do solo quando comparados às áreas sob vegetação nativa, visto que foram observadas reduções de até 57% do COT e 85% de C nos compartimentos da MOS (Tabela 2). A exceção ocorreu entre os sistemas agrícolas CR₁A12 e CR₁A15, que permaneceram no mesmo agrupamento que CR₁VN, devido as baixas perdas de qualidade do solo, com até possíveis ganhos nos estoques de Cmic e AH (Tabela 2).

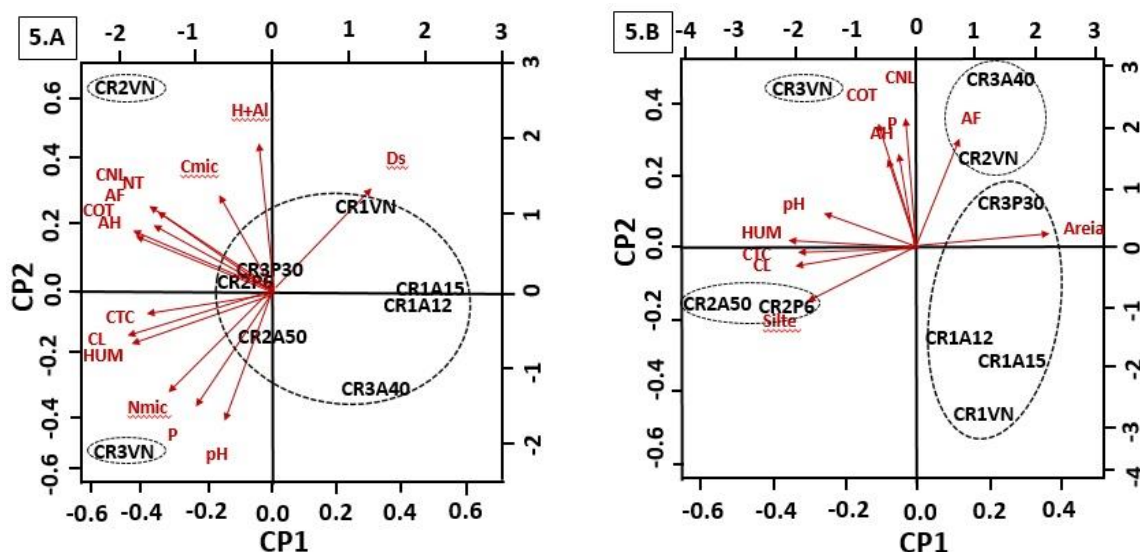


Figura 5. Biplot dos componentes principais CP₁ e CP₂ com os sistemas de manejo (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem) e localidades (Catolé do Rocha-CR) sob Argissolo. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de cluster, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 5A (0-10 cm) e 5B (10-20 cm).

Os resultados para os autovalores e porcentagem da variância total e acumulada para Argissolo encontram-se na Tabela 6. Com base nos resultados da ACP, na camada 0-10 cm a CP₁ foi formada por variáveis associadas a matéria orgânica (COT, NT, Nmic, C_L, C_{NL}, AF, AH e HUM) e atributos químicos do solo (CTC), enquanto que a CP₂ foi representada pelo compartimento ativo da MOS (Cmic), atributo físico (Ds) e químico do solo (pH, P e H+Al). Na camada 10-20 cm a CP₁ foi representada pela fração lábil da MOS (C_L), a fração mais recalcitrante das SH (HUM), atributos físicos (areia e silte) e químicos (pH e CTC), já a CP₂ foi composta por variáveis associadas a MOS (COT, C_{NL}, AF, AH) e teor de P (Figuras 5A e 5B).

Tabela 6. Resultados da análise de componentes principais para Argissolo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

Classe de solos		Componentes Principais - CP			
		CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
Argissolo	Autovalor	6,44	4,27	4,55	3,42
	Variância Total	45,99	30,53	41,36	31,07
	Variância Acumulada	45,99	76,72	41,36	72,43

Na camada 0-10 cm (Figura 5A), variáveis da CP₂ (Cmic e H+AL) foram as que melhor distinguiram a área de vegetação nativa CR₂VN dos seus respectivos sistemas agropecuários (CR₂P6 e CR₂A50), já as variáveis da CP₁ (Nmic) e CP₂ (P), em conjunto, foram capazes de discriminar CR₃VN. Na camada 10-20 cm, variáveis da CP₁ distinguiram as áreas CR₂A50, CR₂P6 e CR₃P30, enquanto que a CP₂ foi capaz de discriminar CR₃VN, CR₂VN e CR₃A40 (Figura 5B).

De um modo geral, as variáveis da CP₁ e CP₂ correlacionaram-se fortemente com os sistemas agropecuários (CR₂P6, CR₃P30 e CR₂A50) e vegetação nativa (CR₃VN e CR₂VN), respectivamente (Figuras 5A e 5B). Por outro lado, as CP₁ e CP₂ apresentaram baixa correlação entre as variáveis estudadas e os demais sistemas (CR₁VN, CR₁A12, CR₁A15 e CR₃A40).

Cambissolo

Conforme observado na análise de agrupamento (Figuras 6A e 6B), as áreas AD₂VN, AD₂A33 e AD₂A46 fazem parte do mesmo agrupamento, por apresentarem comportamento semelhante nas variáveis COT, NT, AH e C_{NL} (Tabela 2). Por outro lado, a área de vegetação nativa AD₁VN encontra-se em um agrupamento à parte, por apresentar características físicas, químicas e biológicas do solo diferentes dos sistemas agrícolas a ela relacionada. Por exemplo, foram observadas perdas de até 74% de C_{mic} e 66% de AF, e ganhos de até 81% de COT e 98% de C_{NL} nas áreas agrícolas quando comparadas à AD₁VN (Tabela 2).

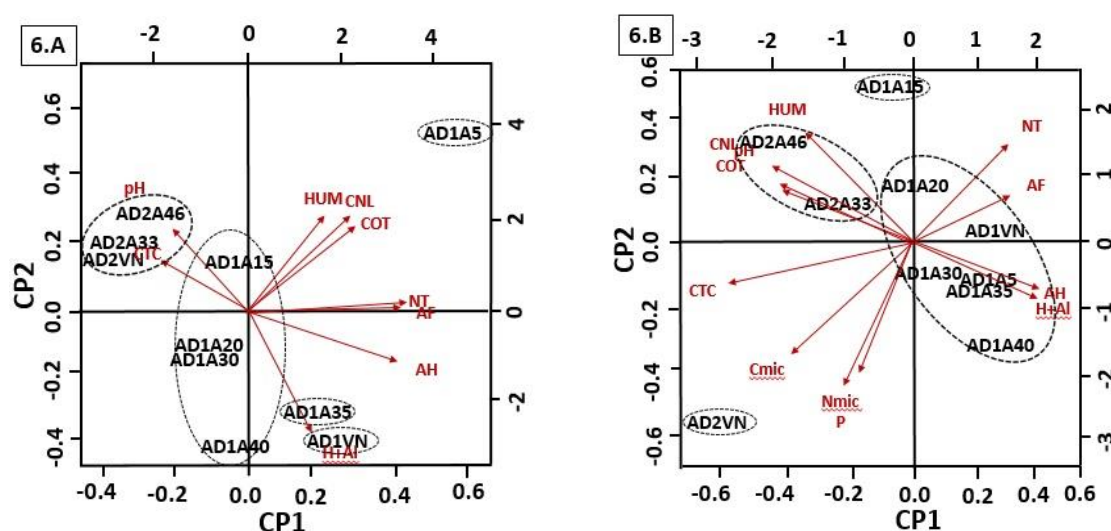


Figura 6. Biplot dos componentes principais CP₁ e CP₂ com os sistemas de manejo (VN - vegetação nativa e A - agricultura) e localidades (América Dourada-AD) sob Cambissolo. As elipses tracejadas referem-se a análise estatística de cluster, e são usadas para circundar as áreas que pertencem ao mesmo agrupamento. 6A (0-10 cm) e 6B (10-20 cm).

Os resultados para os autovalores e porcentagem da variância total e acumulada para Cambissolo encontram-se na Tabela 7. De acordo com os resultados da ACP, na camada 0-10 cm a CP₁ foi formada por atributos associados a MOS (COT, NT, AF e AH) e atributos químicos do solo (CTC), enquanto que a CP₂ foi representada pela fração mais recalcitrante das SH (HUM) e atributos químicos (pH e H+Al). Na camada 10-20 cm a CP₁ foi composta pelas variáveis associadas a matéria orgânica (COT, NT, C_{NL}, AF e AH) e atributos químicos do solo (pH, H+Al e CTC), já a CP₂ foi formada pelo compartimento ativo (N_{mic}), fração HUM e teor de P (Figuras 6A e 6B).

Tabela 7. Resultados da análise de componentes principais para Cambissolo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

Classe de solos		Componentes Principais - CP			
		CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
Cambissolo	Autovalor	4,35	2,67	5,81	2,97
	Variância Total	48,33	29,68	48,46	24,72
	Variância Acumulada	48,33	78,01	48,46	73,18

A partir da representação na forma de biplots, pode-se observar a separação dos sistemas de manejo e sua relação com os atributos do solo (Figuras 6A e 6B). Nota-se que, na camada de 0-10 cm, a CP₂, representada por H+Al, foi capaz de distinguir AD₁VN das áreas agrícolas, enquanto que, variáveis da CP₁ não foram capazes de distinguir as áreas agrícolas AD₂A33 e AD₂A46 de AD₂VN. Na camada 10-20 cm a CP₂ (Cmic, Nmic e P) conseguiu discriminar a área sob vegetação nativa (AD₂VN), enquanto que, a CP₁ agrupou os demais sistemas de manejo.

Na CP₁, as variáveis associadas à MOS (COT, NT, CNL, AF e AH) correlacionaram-se negativamente com os sistemas AD₁A40, AD₁A35, AD₁A30, AD₁A20 e AD₁A15, enquanto que a fração HUM se correlacionou de forma positiva com AD₁A5 (Figura 6A). Na Figura 6B as variáveis da CP₂ (Cmic, Nmic, P e HUM) tiveram forte correlação com a área sob vegetação nativa (AD₂VN) e agrícola (AD₁A15), enquanto que, as variáveis da CP₁ se correlacionaram com os demais sistemas.

4 DISCUSSÃO

4.1 Impacto do uso da terra na qualidade dos solos

O estabelecimento de sistemas agrícolas por meio do sistema de cultivo convencional (CC), o qual no semiárido do Brasil se caracteriza principalmente, pelo revolvimento frequente do solo, monocultivo e o pastejo dos resíduos das culturas pelos rebanhos, contribui para perdas significativas dos estoques da MOS e na qualidade do solo quando comparado as áreas de vegetação nativa (ARAÚJO et al., 2011; CARDOSO et al., 2015; SANTOS et al., 2019). Essas perdas são ainda mais pronunciadas em sistemas agrícolas com maior tempo de uso do solo.

Como visto nos resultados, as áreas agrícolas com mais de 19 anos de CC apresentaram as maiores perdas de COT e C dos compartimentos da MOS. Além disso, o CC coopera para

aumento dos riscos de erosão do solo, que por sua vez resulta em perdas de nutrientes, maior exposição do solo, retirada da serrapilheira e o aumento da mineralização da MOS (TRINDADE et al., 2011).

A ação de implementos agrícolas e/ou constante revolvimento do solo ao longo dos anos além de contribuírem para o aumento da densidade do solo, por meio da compactação do solo pelo trânsito do maquinário (PEI et al., 2008), podem comprometer até mesmo os estoques de C das frações mais recalcitrantes da MOS (CARDOSO et al., 2015), devido à maior decomposição dessas frações diante da dificuldade das partículas minerais do solo em formar agregados estáveis, responsáveis pela proteção física da MOS (OLIVEIRA et al., 2016).

Os resultados aqui relatados corroboram com os dados de Santos et al. (2019), que avaliando as frações de C oxidável, estoques de COT e SH em Luvisolo com diferentes usos da terra no semiárido de Pernambuco, observaram que o sistema de cultivo com milho apresentou valores inferiores de C nas frações oxidáveis (principalmente F2, F3 e F4), C não lábil (C_{NL}), COT e C das frações de SH, quando comparado a área com vegetação nativa na camada 0-5 cm. Para estes autores, frações mais instáveis de C podem se transformar rapidamente em moléculas mais complexas de alto peso molecular, no entanto, a conversão do sistema natural para o cultivo agrícola convencional contribuiu para a não estabilização do C do solo e manutenção da MOS, pois ao promover a degradação física do solo, principalmente pela ação de implementos, facilita a aeração do solo e a ação microbiana, acelerando a oxidação da MOS. Desta forma, a perda de material orgânico mais recalcitrante, implica negativamente a qualidade do solo, uma vez que a MO com maior resistência à oxidação contribui para melhorar as propriedades físicas do solo, como a estrutura e a estabilidade dos agregados (FULTZ et al., 2013).

Com relação as maiores perdas da qualidade do solo na área SI₂A₂, em Neossolo Litólico, pode ter ocorrido devido a redução da quantidade de insumos vegetais no solo, do aumento das taxas de erosão e da aceleração da decomposição da MOS devido ao revolvimento do solo e consequentemente quebra do agregados, ou ainda, devido à remoção regular da biomassa das plantas acima da superfície (FERREIRA et al., 2014).

Quanto a recuperação da qualidade do solo, nas áreas de pastagem, principalmente na camada 0-10 cm em Tr₁P₁₀, Tr₂P₄ e CR₃P₃₀ sob Planossolo, Neossolo Litólico e Argissolo, respectivamente, tenha sido resultado do manejo do solo menos intensivo, associado a adição de esterco e às características intrínsecas das gramíneas, como a presença de um abundante sistema radicular fasciculado que promove a entrada de resíduos orgânicos através de exsudatos radiculares (OLIVEIRA et al., 2015; 2016), que contribuem para a constante porém lenta

decomposição da matéria orgânica por meio da manutenção da umidade do solo, temperaturas mais baixas da superfície, aumento das taxas de infiltração de água, redução da erosão do solo e densidade do solo (PEI et al., 2008; ARAÚJO et al., 2014), favorecendo desta forma a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (PEGORARO et al., 2018).

As menores perdas e até mesmo recuperação da qualidade do solo, observadas nas áreas agrícolas com menor tempo de uso do solo, provavelmente tenha ocorrido devido a presença dos resíduos remanescentes da vegetação nativa desmatada (MAIA et al., 2007), ou mesmo pela incorporação dos resíduos das culturas durante o preparo do solo.

4.2 Multivariada e indicadores da qualidade do solo

De acordo com a análise de agrupamentos as áreas foram agrupadas com base no seu grau de similaridade quanto ao conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos do solo avaliados, com o objetivo de classificá-las em grupos mais ou menos homogêneos (FREITAS et al., 2014). Sendo que, as características dos atributos de um mesmo grupo são semelhantes e diferentes do comportamento de outros agrupamentos (VALLADARES et al., 2008).

Com base no exposto, esta análise foi eficiente em separar as áreas sob vegetação nativa (SI₁VN, Tr₁VN, SB₂VN, SI₂VN, SL₁VN, CR₂VN, CR₃VN e AD₁VN) das áreas manejadas, principalmente na camada 0-10 cm. A distinção mais clara entre os ambientes na camada superficial se deve ao fato que as maiores alterações, devido ao manejo, ocorrem na superfície (FERREIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015; MARINHO et al., 2016; SANTOS et al., 2019). Para Oliveira Júnior et al. (2019) as áreas sob vegetação nativa encontraram-se em grupos distintos das áreas antropizadas devido as mesmas apresentarem maior aporte de matéria orgânica e conseqüentemente maior retenção de água no solo, favorecendo a infiltração e reduzindo o risco de erosão do solo. Desta forma, o conteúdo de MOS pode ser considerado como um dos principais atributos para separação dos ambientes.

Com relação aos resultados da análise de componentes principais foi possível identificar a relação entre as propriedades do solo e os sistemas de manejo, principalmente na camada 0-10 cm. Os atributos do solo serviram como indicadores de separação entre ambientes, no entanto, aqueles associados à MOS, principalmente às frações lábeis e recalcitrantes, são mais eficientes em agrupar sistemas e portanto podem ser utilizados em estudos sobre a avaliação da qualidade do solo. Alguns estudos confirmam que os compartimentos da MOS servem como bons indicadores da qualidade do solo (MAIA et al., 2007; SOUSA et al., 2012; GUIMARÃES et al., 2013; SANTOS et al., 2019).

Os resultados da ACP mostraram uma menor associação das variáveis com os sistemas agrícolas. Isso está relacionado ao menor aporte de resíduos vegetais e incorporação ao solo, resultando em um efeito negativo no estoque de C e frações da MOS (OLIVEIRA et al., 2015; SANTOS et al., 2019). A maior correlação das variáveis com as áreas sob pastagem sugere uma situação particular favorecida pela presença do sistema radicular das gramíneas que possuem alto rendimento (com elevada produção de biomassa nas camadas superficiais) e ciclo curto, combinados com a contribuição dos excrementos dos animais no retorno de nutrientes (ARAÚJO et al., 2014), e pela ausência do revolvimento do solo (ou manejo menos intensivo), resultando em condições favoráveis para o acúmulo de matéria orgânica ao solo (FERREIRA et al., 2014).

As áreas sob vegetação nativa também se correlacionaram mais fortemente com variáveis associadas à MOS, especialmente com as substâncias húmicas, biomassa microbiana e frações oxidáveis. Este comportamento está relacionado com o aporte de material orgânico ao solo (CARDOSO et al., 2015) e a plena realização dos processos de mineralização e humificação devido a não alteração do solo em função do uso e manejo quando comparado a áreas cultivadas (ARAÚJO et al., 2011). Estes resultados corroboram com outros estudos na literatura, que mostram maiores estoques de C orgânico no solo em área de mata em relação às áreas cultivadas. Por exemplo, Maia et al. (2007) encontraram estoques de C_{mic} na ordem de 0,9 e 0,4 $Mg\ ha^{-1}$ para as áreas de vegetação nativa e agricultura, respectivamente; enquanto que Santos et al. (2019) e Marinho et al. (2016) observaram que os sistemas com vegetação nativa apresentaram maiores estoques de C oxidável ($61,33\ Mg\ ha^{-1}$) e substâncias húmicas ($19,31\ Mg\ ha^{-1}$) quando comparados aos sistemas agrícolas com cultivos de milho ($21,58\ Mg\ ha^{-1}$) e milho/feijão em consórcio ($11,30\ Mg\ ha^{-1}$), respectivamente.

5 CONCLUSÕES

O estabelecimento de sistemas agrícolas com preparo convencional do solo, contribui para perdas nos estoques de matéria orgânica e qualidade do solo. Sendo que as perdas mais significativas ocorreram na camada 0-10 cm e em áreas agrícolas com mais de 19 anos de uso da terra no semiárido brasileiro. No entanto, áreas sob pastagem tendem a apresentar recuperação da qualidade do solo, diante de ganhos nos estoques C_{mic} e C das frações mais lábeis (C_L e AF) da MOS, provenientes dos exsudatos radiculares das gramíneas.

Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo funcionam como indicadores de separação entre ambientes, no entanto, os compartimentos lábeis (C_{mic} e C_L) e recalcitrantes

(C_{NL}, AH, AF e HUM) da matéria orgânica do solo apresentaram maior potencial como indicadores das mudanças de uso da terra, sendo considerados como os principais indicadores na avaliação da qualidade do solo.

REFERÊNCIAS

ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; PINTO, A. S.; PAREYN, F. G. C.; CARVALHO, A. L.; MARTINS, J. C. R.; CARVALHO, E. X.; SILVA, A. S. A.; DUTRA, E. D.; SAMPAIO, E. V. S. B. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. *Agric. Ecosyst. Environ.* v. 254, p. 26–34, 2018.

ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; CARVALHO, A. L.; PINTO, A. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; OMETTO, J. P. H. B.; VON RANDOW, C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Climate change impacts on the sustainability of firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresina municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 367-375, 2016.

ARAÚJO, J. K. S.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA JÚNIOR, V. S. S. Humic haplustox under different land uses in a High altitude environment in the agreste region Of pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1337-1349, 2014.

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. S.; FEITOSA, J. V.; SILVA, F. J. A.; NESS, R. L. L.; FRISCHKORN, H.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; KERNTOPF, M. R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 754–762, 2013.

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 Amazonica**. v.41, p.103-114, 2011.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADA, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. **Comunicado Técnico 16**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2003.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. Aust. **Journal Agricultural Research**. v.46, p.1459 – 1466, 1995.

CANELLAS, L. P.; BUSATO, J. G.; CAUME, D. J. O uso e manejo da matéria orgânica humificada sob a perspectiva da agroecologia. In: CANELLAS. L. P; SANTOS, G. A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, 2005. p. 244-267.

CARDOSO, J. A. F.; LIMA, A. M. N.; CUNHA, T. J. F.; RODRIGUES, M. S.; HERNANI, L. C.; AMARAL, A. J.; OLIVEIRA NETO, M. B. Organic Matter Fractions in a Quartzipsamment under Cultivation of Irrigated Mango in the Lower São Francisco Valley Region, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.39, p.1068-1078, 2015.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**. v.166, p.61 – 67, 2001.

COELHO, W. C. C.; MOURA FILHO, G.; CALHEIROS, L. C. S.; MOURA, A. B.; NASCIMENTO, D. C. **Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos representativos do estado de Alagoas**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2018.

CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; SANTOSI, D. C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v. 44, p.794-800, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.23, p.991 – 996, 1999.

FERREIRA, A. C. C.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; EISENHAUER, N. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semi-arid region of Northeast Brazil. **Land Degradation & Development**, Published online in Wiley Library, DOI: 10.1002/ldr.2282, 2014.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; SOUZA JÚNIOR, P. R.; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, p. 155-164, 2014.

FULTZ, L. M.; MOORE-KUCERA, J.; ZOBECK, T. M.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; WESTER, D. B.; ALLEN, V. G. Organic carbon dynamics and soil stability in five semiarid agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.181, p.231-240, 2013.

GOVAERTS, B.; SAYRE, K. D.; LICHTER, K.; DENDOOVEN, L.; DECKERS, J. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. **Plant and Soil**, v.291, p.39-54, 2007.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2615-2628, 2013.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; SILVA, T. O.; SILVA, T. L.; DIAS, N. S.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil & Tillage Research**, v.126, p.177–182, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**, 2019. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**. v.27, p.408-416, 1998.

KAISER, H. F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23, 187-200.

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

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, Basel, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**. v.30, n.5, p.837 – 848, 2006.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. 2007. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v.71, p.127-138, 2007.

MARINHO, A. C. C. S.; PORTELA, J. C.; SILVA, E. F.; DIAS, N. S.; SOUSA JUNIOR, F. S.; SILVA, A. C.; SILVA, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 32-41, 2016.

MARINHO, J. O.; CAMPOS, J. O.; LIMA, V. R. P. A importância das cisternas de placas na zona rural de Serra Redonda - PB: uma análise da comunidade Torre. **GEOTemas**, v. 09, p.7-27, 2019.

MEDEIROS, A. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. D.; GOMES, T. C. A. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.287, 2020.

OLIVEIRA, S. P.; LACERDA, N. B.; BLUM, S. C.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Organic carbon and nitrogen stocks in soils of northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. **Land Degradation & Development**, v.26, p.9–21. 2015.

OLIVEIRA, S. P.; CÂNDIDO, M. J. D.; WEBER, O. B.; XAVIER, F. A. S.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, v.137, p.508-516, 2016.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. I.; MENDONÇA, L. A. R.; FONTENELE, S. B.; ARAÚJO, A. O.; BRITO, M. G. S. L. Statistical multivariate analysis applied to environmental characterization of soil in semiarid region. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 200 – 210, 2019.

PEGORARO, R. F; MOREIRA, C. G; DIAS, D. G; SILVEIRA, T. C. Carbon and nitrogen stocks in the soil and humic substances of agricultural crops in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 574-583, 2018.

PEI, S.; FU, H.; WAN, C. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment** , v. 124, p. 33-39, 2008.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. URL <<https://www.R-project.org/>>.

RENCHE, A. C. 2002. *Methods of Multivariate Analysis*. 2 ed. A John Wiley and Sons, Inc. Publication, p.727.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. 2008. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008, p.419-441.

SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1275-1291, 2011.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora. 2003, p. 129–142.

SANTANA, G. S.; DICK, D. P.; JACQUES, A. V. A.; CHITARRA, G. S. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.461-472, 2011.

SANTOS, U. J.; DUDA, G. P.; MARQUES, M. C.; MEDEIROS, E. V.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; BROSSARD, M.; HAMMECKER, C: Soil organic carbon fractions and humic substances are affected by land uses of Caatinga forest in Brazil, **Arid Land Research and Management**, DOI:10.1080/15324982.2018.1555871, 2019.

SILVA, I. R da; MENDONÇA, E de. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ V, V. H; BARROS, N. F de; FONTES, R. L. F; CANTARUTI, R. B; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 276-374.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, M. B. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**. v.76, p.39–58. 2004.

SOUSA F. P.; FERREIRA, T. O.; MENDONÇA, E. S.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 148, p. 11–21, 2012.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, G.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEIS, S. I. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TRINDADE, E. F. S.; KATO, O. R.; CARVALHO, E. J. M.; SERAFIM, E. C. S. Disponibilidade de fósforo em solos manejados com e sem queima no nordeste paraense. **Amazônia: Ciência &Desenvolvimento**, v.6, p.7-19, 2011.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.285-296, 2008.

YEOMANS, J. C & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.19, p.1467 – 1476, 1988.

APÊNDICE

Apêndice A – Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Planossolo na camada 0-10 cm.

Variáveis	COT	NT	Cmic	Nmic	C _L	C _{NL}	AF	AH	HUM	Ds	Areia	Silte	pH	P	H+Al	CTC
COT	1,00															
NT	0,69*	1,00														
Cmic	0,21	0,02	1,00													
Nmic	0,60*	0,28	0,62*	1,00												
C_L	0,48	0,21	0,89*	0,84*	1,00											
C_{NL}	0,94*	0,69*	-0,10	0,35	0,12	1,00										
AF	0,54	0,22	0,69*	0,83*	0,91*	0,59	1,00									
AH	0,67*	0,49	0,69*	0,85*	0,77*	0,63*	0,76*	1,00								
HUM	0,49	0,26	0,89*	0,70*	0,92*	0,49	0,84*	0,82*	1,00							
Ds	-0,07	-0,11	-0,68*	-0,36	-0,78*	-0,23	-0,71*	-0,50	-0,68*	1,00						
Areia	-0,26	-0,39	-0,81*	-0,39	-0,69*	-0,19	-0,42	-0,62*	-0,72*	0,57	1,00					
Silte	0,11	-0,05	0,92*	0,48	0,76*	0,03	0,52	0,62*	0,77*	-0,57	-0,85*	1,00				
pH	0,07	-0,16	0,82*	0,35	0,63*	0,05	0,48	0,42	0,65*	-0,57	-0,52	0,67*	1,00			
P	0,10	0,09	0,55	0,28	0,57	0,26	0,53	0,43	0,56	-0,77*	-0,32	0,29	0,60*	1,00		
H+Al	0,32	0,44	-0,35	0,17	-0,03	0,36	0,07	0,16	-0,12	0,14	0,06	-0,20	-0,78*	-0,39	1,00	
CTC	0,58	0,35	0,82*	0,83*	0,94*	0,60*	0,92*	0,91*	0,91*	-0,75*	-0,67*	0,70*	0,57	0,62*	0,04	1,00

COT – carbono orgânico total; NT – nitrogênio total; Cmic – carbono microbiano; Nmic – nitrogênio microbiano; C_L – carbono lábil; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; Ds – densidade do solo; P – fósforo; H+Al – acidez potencial; CTC – capacidade de troca de cátions.

Apêndice B – Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Planossolo na camada 10-20 cm.

Variáveis	COT	NT	Cmic	Nmic	C _L	C _{NL}	AF	AH	HUM	Ds	Argila	Areia	pH	P	CTC
COT	1,00														
NT	0,88*	1,00													
Cmic	0,11	0,32	1,00												
Nmic	0,05	0,26	0,66*	1,00											
C_L	0,71*	0,85*	0,66*	0,40	1,00										
C_{NL}	0,99*	0,82*	-0,03	-0,05	0,58*	1,00									
AF	0,39	0,50	0,81*	0,65*	0,71*	0,30	1,00								
AH	0,53	0,68*	0,80*	0,45	0,76*	0,44	0,76*	1,00							
HUM	0,78*	0,88*	0,49	0,39	0,92*	0,75*	0,54	0,67*	1,00						
Ds	-0,52	-0,48	-0,22	-0,46	-0,53	-0,52	-0,19	-0,32	-0,70*	1,00					
Argila	0,30	0,60*	0,77*	0,71*	0,80*	0,24	0,66*	0,71*	0,76*	-0,59	1,00				
Areia	-0,21	-0,31	-0,41	-0,67*	-0,53	-0,19	-0,31	-0,19	-0,65*	0,82*	-0,72*	1,00			
pH	0,00	0,20	0,54	0,42	0,43	-0,10	0,12	-0,34	0,51	-0,65*	0,74*	-0,76*	1,00		
P	0,71*	0,78*	0,07	-0,13	0,72*	0,73*	0,08	0,43	0,76*	-0,53	0,48	-0,31	0,42	1,00	
CTC	0,47	0,64*	0,78*	0,72*	0,86*	0,39	0,71*	0,73*	0,84*	-0,68*	0,91*	-0,79*	0,67*	0,45	1,00

COT – carbono orgânico total; NT – nitrogênio total; Cmic – carbono microbiano; Nmic – nitrogênio microbiano; C_L – carbono lábil; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; Ds – densidade do solo; P – fósforo; CTC – capacidade de troca de cátions.

Apêndice C – Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Neossolo Litólico na camada 0-10 cm.

Variáveis	COT	NT	Cmic	Nmic	C _L	C _{NL}	AF	AH	HUM	Ds	Argila	Areia	Silte	pH	CTC
COT	1,00														
NT	0,91*	1,00													
Cmic	0,47	0,60*	1,00												
Nmic	0,55	0,45	0,76*	1,00											
C_L	0,25	0,56	0,86*	0,27	1,00										
C_{NL}	0,99*	0,84*	0,34	0,57	0,09	1,00									
AF	0,49	0,21	0,01	0,64*	-0,25	0,62*	1,00								
AH	0,69*	0,46	0,49	0,91*	0,20	0,73*	0,86*	1,00							
HUM	0,69*	0,47	-0,09	0,42	-0,23	0,80*	0,89*	0,72*	1,00						
Ds	0,50	0,74*	0,44	-0,10	0,67*	0,30	-0,49	-0,20	-0,15	1,00					
Argila	0,80*	0,92*	0,78	0,71*	0,78*	0,62*	0,32	0,62*	0,43	0,54	1,00				
Areia	-0,56	-0,28	-0,19	-0,77*	0,10	-0,67*	-0,97*	-0,95*	-0,83*	0,42	-0,41	1,00			
Silte	-0,31	-0,67*	-0,61*	-0,04	-0,85*	-0,05	0,51	0,20	0,28	-0,90*	-0,64*	-0,44	1,00		
pH	0,51	0,17	0,27	0,79*	-0,08	0,63*	0,86*	0,93*	0,65*	-0,43	0,30	-0,94*	0,50	1,00	
CTC	0,67*	0,37	0,13	0,68*	-0,15	0,80*	0,96*	0,92*	0,90*	-0,31	0,42	-0,98*	0,42	0,92*	1,00

COT – carbono orgânico total; NT – nitrogênio total; Cmic – carbono microbiano; Nmic – nitrogênio microbiano; C_L – carbono lábil; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; Ds – densidade do solo; CTC – capacidade de troca de cátions.

Apêndice D – Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Neossolo Litólico na camada 10-20 cm.

Variáveis	COT	NT	Nmic	C _L	C _{NL}	AF	AH	HUM	Ds	Argila	Areia	Silte	pH	P	H+Al	CTC
COT	1,00															
NT	0,79*	1,00														
Nmic	0,40	0,59	1,00													
C_L	0,36	0,21	-0,60*	1,00												
C_{NL}	0,98*	0,79*	0,59	0,14	1,00											
AF	-0,41	-0,80*	-0,17	-0,42	-0,22	1,00										
AH	-0,43	-0,57	-0,05	-0,31	-0,22	0,81*	1,00									
HUM	-0,73*	-0,75*	0,06	-0,85*	-0,37	0,74*	0,52	1,00								
Ds	0,25	0,22	-0,65*	0,95*	-0,24	-0,53	-0,43	-0,78*	1,00							
Argila	0,32	0,59	0,95*	-0,48	0,67*	-0,19	0,11	0,00	-0,58	1,00						
Areia	0,24	0,25	-0,60*	0,83*	-0,23	-0,64*	-0,69*	-0,72*	0,94*	-0,60*	1,00					
Silte	-0,62*	-0,97*	-0,55	-0,26	-0,58	0,87*	0,55	0,72*	-0,25	-0,60*	-0,28	1,00				
pH	0,28	0,19	0,77*	-0,50	0,65*	0,40	0,54	0,25	-0,72*	0,78*	-0,85*	-0,09	1,00			
P	-0,42	-0,61*	-1,00	0,60*	-0,59	0,14	-0,05	-0,01	0,63*	-0,98*	0,61*	0,56	-0,82*	1,00		
H+Al	-0,77*	-0,42	-0,55	-0,01	-0,82*	-0,19	-0,23	0,30	0,17	-0,46	0,32	0,23	-0,75*	0,55	1,00	
CTC	-0,36	-0,41	0,16	-0,40	-0,08	0,71*	0,98*	0,49*	-0,53	0,33	-0,78*	0,39	0,67*	-0,25	-0,29	1,00

COT – carbono orgânico total; NT – nitrogênio total; Nmic – nitrogênio microbiano; C_L – carbono lábil; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; Ds – densidade do solo; P – fósforo; H+Al – acidez potencial; CTC – capacidade de troca de cátions.

Apêndice E – Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Luvisolo na camada 0-10 cm.

Variáveis	COT	NT	Cmic	Nmic	C _L	C _{NL}	AF	AH	HUM	Ds	Areia	Silte	pH	P	H+Al	CTC
COT	1,00															
NT	0,90*	1,00														
Cmic	0,87*	0,88*	1,00													
Nmic	0,77*	0,60*	0,67*	1,00												
C_L	0,82*	0,75*	0,90*	0,53	1,00											
C_{NL}	0,99*	0,88*	0,81*	0,81*	0,72*	1,00										
AF	0,69*	0,66*	0,74*	0,38	0,64*	0,69*	1,00									
AH	0,86*	0,85*	0,84*	0,61*	0,78*	0,84*	0,84*	1,00								
HUM	0,92*	0,84*	0,93*	0,67*	0,84*	0,88*	0,89*	0,91*	1,00							
Ds	0,42	0,55	0,44	0,37	0,45	0,34	-0,07	0,44	0,24	1,00						
Areia	-0,68*	-0,47	-0,66*	-0,45	-0,86*	-0,58	-0,65*	-0,66*	-0,76*	-0,08	1,00					
Silte	0,57	0,42	0,69*	0,65*	0,60*	0,50	0,61*	0,49	0,73*	-0,13	-0,70*	1,00				
pH	-0,46	-0,66*	-0,54	-0,52	-0,29	-0,44	-0,19	-0,32	-0,38	-0,36	0,07	-0,44	1,00			
P	-0,14	-0,38	-0,29	-0,31	-0,06	-0,10	0,27	-0,04	-0,01	-0,67*	-0,37	0,00	0,69*	1,00		
H+Al	0,75*	0,85*	0,78*	0,72*	0,51	0,74*	0,54	0,64*	0,72*	0,33	-0,31	0,64*	-0,90*	-0,53	1,00	
CTC	0,83*	0,71*	0,88*	0,60*	0,83*	0,78*	0,87*	0,79*	0,97*	0,05	-0,82*	0,84*	-0,32	0,09	0,65*	1,00

COT – carbono orgânico total; NT – nitrogênio total; Cmic – carbono microbiano; Nmic – nitrogênio microbiano; C_L – carbono lábil; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; Ds – densidade do solo; P – fósforo; H+Al – acidez potencial; CTC – capacidade de troca de cátions.

Apêndice F – Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Luvisolo na camada 10-20 cm.

Variáveis	COT	NT	Cmic	C_L	C_{NL}	AF	AH	HUM	Argila	Areia	Silte	H+Al	CTC
COT	1,00												
NT	0,91*	1,00											
Cmic	0,40	0,21	1,00										
C_L	0,65*	0,43	0,74*	1,00									
C_{NL}	0,98*	0,93*	0,27	0,49	1,00								
AF	0,82*	0,60*	0,60*	0,54	0,79*	1,00							
AH	0,89*	0,78*	0,14	0,38	0,92*	0,78*	1,00						
HUM	0,77*	0,62*	0,56	0,81*	0,69*	0,67*	0,74*	1,00					
Argila	0,43	0,44	0,35	0,64	0,39	0,35	0,42	0,76*	1,00				
Areia	-0,15	-0,07	-0,71*	-0,74*	0,02	-0,17	0,07	-0,56	-0,71*	1,00			
Silte	-0,05	-0,16	0,75*	0,62*	-0,25	0,03	-0,33	0,31	0,38	-0,92*	1,00		
H+Al	0,84*	0,91*	0,52	0,58	0,78*	0,58	0,56	0,63*	0,48	-0,38	0,23	1,00	
CTC	0,80*	0,56	0,66*	0,80*	0,71*	0,82*	0,77*	0,95*	0,59	-0,45	0,26	0,58	1,00

COT – carbono orgânico total; NT – nitrogênio total; Cmic – carbono microbiano; C_L – carbono lábil; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; Ds – densidade do solo; P – fósforo; H+Al – acidez potencial; CTC – capacidade de troca de cátions.

Apêndice G – . Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Argissolo na camada 0-10 cm.

Variáveis	COT	NT	Cmic	Nmic	C _L	C _{NL}	AF	AH	HUM	Ds	pH	P	H+Al	CTC
COT	1,00													
NT	0,84*	1,00												
Cmic	0,60*	0,51	1,00											
Nmic	0,38	0,36	-0,05	1,00										
C_L	0,72*	0,55	0,16	0,86*	1,00									
C_{NL}	0,97*	0,83*	0,68	0,19	0,54	1,00								
AF	0,75*	0,57	0,40	0,21	0,43	0,82*	1,00							
AH	0,82*	0,59	0,45	0,20	0,48	0,87*	0,85*	1,00						
HUM	0,68*	0,45	0,09	0,81*	0,95*	0,63*	0,43	0,59	1,00					
Ds	-0,22	0,04	0,17	-0,73*	-0,76*	-0,27	-0,40	-0,28	-0,67*	1,00				
pH	-0,02	-0,27	-0,27	0,52	0,50	0,01	-0,33	-0,04	0,58	-0,40	1,00			
P	0,14	0,05	-0,36	0,84*	0,81*	0,16	0,14	0,05	0,66*	-0,90*	0,49	1,00		
H+Al	0,38	0,53	0,36	-0,32	-0,23	0,30	0,51	0,30	-0,19	0,42	-0,78*	-0,52	1,00	
CTC	0,54	0,19	0,11	0,34	0,58	0,49	0,37	0,62*	0,78*	-0,34	0,50	0,19	0,00	1,00

COT – carbono orgânico total; NT – nitrogênio total; Cmic – carbono microbiano; Nmic – nitrogênio microbiano; C_L – carbono lábil; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; Ds – densidade do solo; P – fósforo; H+Al – acidez potencial; CTC – capacidade de troca de cátions.

Apêndice H – Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Argissolo na camada 10-20 cm.

Variáveis	COT	C _L	C _{NL}	AF	AH	HUM	Areia	Silte	pH	P	CTC
COT	1,00										
C_L	0,22	1,00									
C_{NL}	0,97*	0,02	1,00								
AF	0,52	-0,35	0,65*	1,00							
AH	0,30	0,17	0,32	0,64*	1,00						
HUM	0,23	0,67*	0,09	-0,09	0,28	1,00					
Areia	-0,20	-0,81*	-0,02	0,38	-0,02	-0,83*	1,00				
Silte	-0,02	0,65*	-0,19	-0,44	-0,26	0,59	-0,88*	1,00			
pH	0,22	0,48	0,14	0,05	0,52	0,58	-0,62*	0,37	1,00		
P	0,45	0,15	0,47	0,37	0,76*	0,09	-0,03	-0,35	0,52	1,00	
CTC	0,20	0,70*	0,04	-0,14	0,15	0,93*	-0,78*	0,61*	0,56	-0,10	1,00

COT – carbono orgânico total; C_L – carbono lábil; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; P – fósforo; CTC – capacidade de troca de cátions.

Apêndice I – Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Cambissolo na camada 0-10 cm.

Variáveis	COT	NT	C _{NL}	AF	AH	HUM	pH	H+Al	CTC
COT	1,00								
NT	0,66*	1,00							
C_{NL}	0,99*	0,66*	1,00						
AF	0,53	0,47	0,30	1,00					
AH	0,42	0,53	0,25	0,71*	1,00				
HUM	0,76*	0,24	0,73*	0,56	0,34	1,00			
pH	0,03	-0,28	0,27	-0,34	-0,63*	-0,04	1,00		
H+Al	-0,11	0,32	-0,35	0,31	0,62*	-0,16	-0,97*	1,00	
CTC	-0,32	-0,58	-0,12	-0,47	-0,57	0,14	0,49	-0,60*	1,00

COT – carbono orgânico total; NT – nitrogênio total; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; H+Al – acidez potencial; CTC – capacidade de troca de cátions.

Apêndice J – Matriz de correlação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo obtidos pela análise de componentes principais (ACP) em função dos sistemas de usos (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), sob Cambissolo na camada 10-20 cm.

Variáveis	COT	NT	Cmic	Nmic	C _{NL}	AF	AH	HUM	pH	P	H+Al	CTC
COT	1,00											
NT	-0,39	1,00										
Cmic	0,39	-0,82	1,00									
Nmic	0,07	-0,64	0,65	1,00								
C_{NL}	0,96*	-0,38	0,28	-0,01	1,00							
AF	-0,24	0,63	-0,31	-0,23	-0,59	1,00						
AH	-0,64	0,29	-0,35	-0,15	-0,70	0,48	1,00					
HUM	0,64*	0,09	0,04	-0,25	0,63*	0,14	-0,62*	1,00				
pH	0,58	-0,40	0,19	-0,12	0,74	-0,54	-0,49	0,53	1,00			
P	0,00	-0,60	0,74	0,44	0,06	-0,38	-0,12	-0,35	0,05	1,00		
H+Al	-0,54	0,41	-0,23	-0,12	-0,68	0,55	0,68	-0,54	-0,91	-0,10	1,00	
CTC	0,65	-0,75	0,83	0,39	0,74	-0,60	-0,74	0,37	0,58	0,55	-0,62	1,00

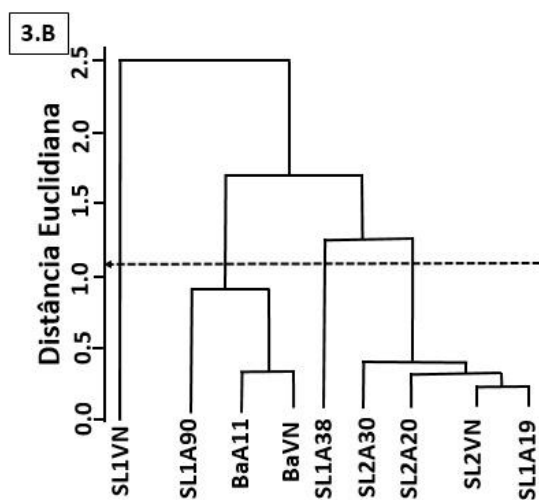
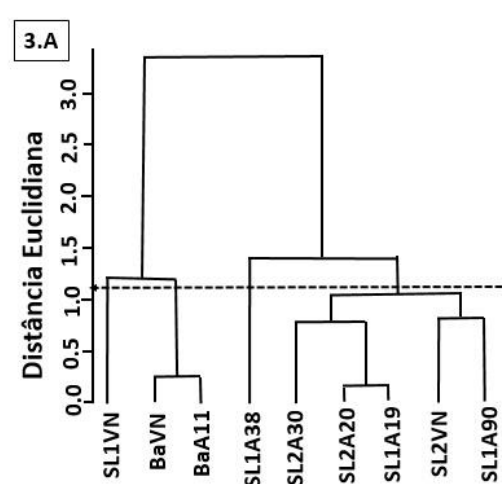
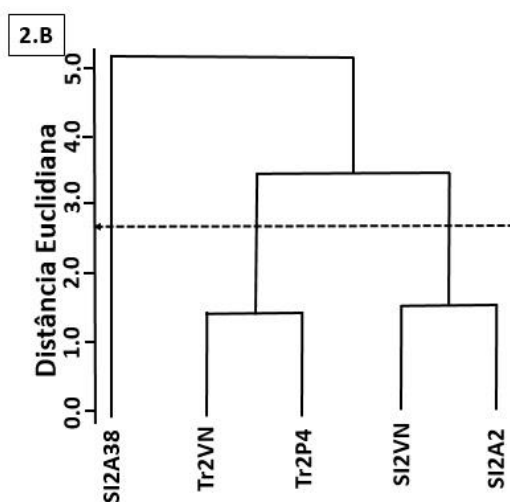
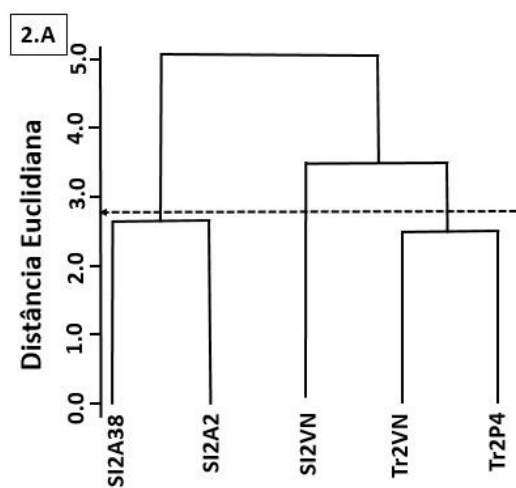
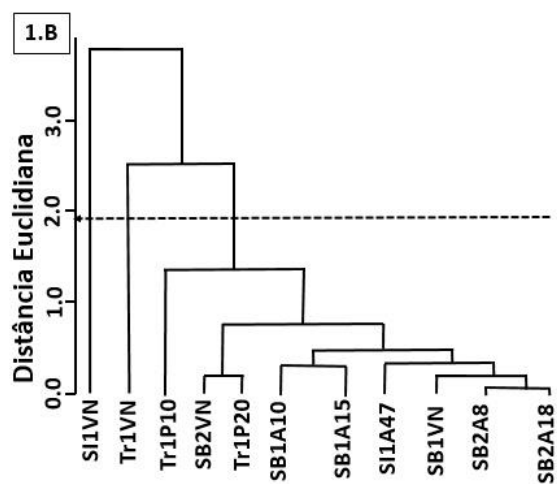
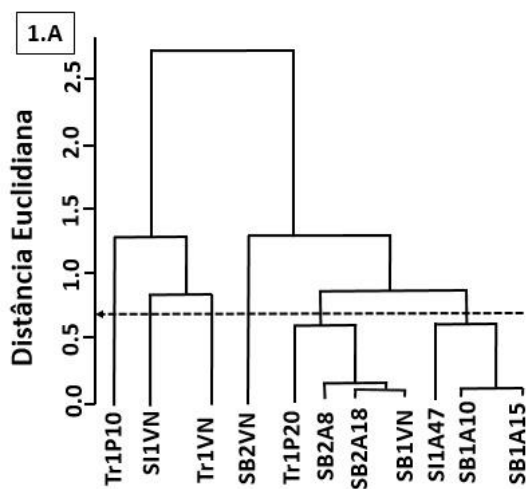
COT – carbono orgânico total; NT – nitrogênio total; Cmic – carbono microbiano; Nmic – nitrogênio microbiano; C_{NL} – carbono não lábil; AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM – humina; P – fósforo; H+Al – acidez potencial; CTC – capacidade de troca de cátions.

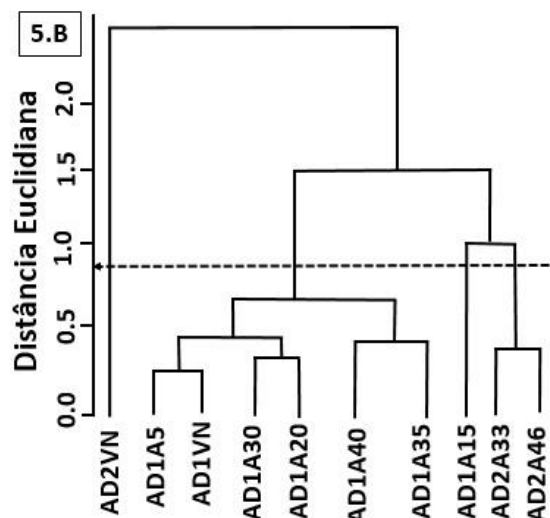
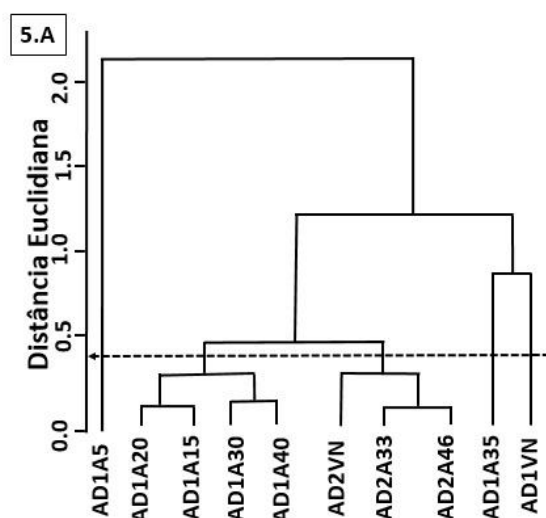
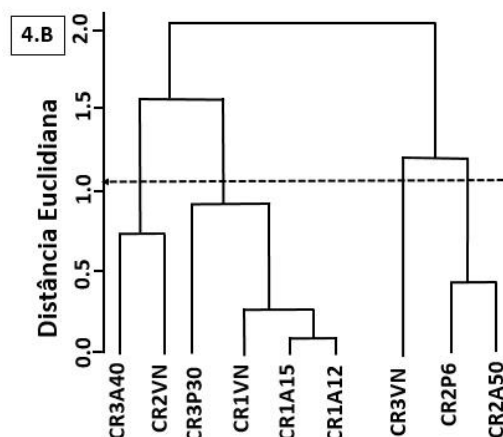
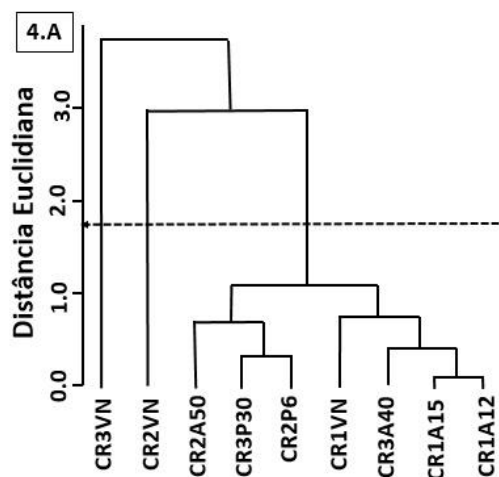
Apêndice K – Resultados da análise de componentes principais para os solos: Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo e Cambissolo nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

Classes de solos	Planossolo				Neossolo Litólico				Luvissolo			
Variáveis	Componentes Principais - CP											
	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
	0-10 cm		10-20 cm		0-10 cm		10-20 cm		0-10 cm		10-20 cm	
	Variável que mais explica a variância dos dados											
COT	0,52	0,77*	0,68*	0,70*	0,84*	0,39	-0,24	0,84*	0,95*	-0,02	0,92*	0,35
NT	0,31	0,73*	0,82*	0,49	0,64*	0,71*	-0,27	0,95*	0,90*	-0,28	0,79*	0,44
Cmic	0,91*	-0,34	0,68*	-0,53	0,45	0,69*	—	—	0,95*	-0,07	0,64*	-0,57
Nmic	0,79*	0,31	0,57	-0,62*	0,88*	0,04	0,59	0,78*	0,77*	-0,14	—	—
C _L	0,96*	-0,01	0,94*	0,12	0,06	0,91*	-0,86*	0	0,87*	0,11	0,84*	-0,41
C _{NL}	0,21	0,86*	0,56	0,78*	0,85*	0,25	-0,06	0,89*	0,92*	-0,05	0,84*	0,51
AF	0,87*	0,86*	0,70*	-0,23	0,85*	-0,49	0,67*	-0,56	0,78*	0,44	0,83*	0,2
AH	0,88*	0,32	0,79*	-0,01	0,97*	-0,11	0,72*	-0,37	0,90*	0,09	0,79*	0,54
HUM	0,96*	-0,03	0,94*	0,22	0,82*	-0,27	0,71*	-0,59	0,97*	0,19	0,92*	-0,12
Ds	-0,74*	0,31	-0,71*	0	-0,02	0,92*	-0,92*	-0,04	0,36	-0,66*	—	—
Argila	—	—	0,89*	-0,36	0,71*	0,67*	0,59	0,74*	—	—	0,66*	-0,32
Areia	-0,76*	0,1	-0,69*	0,38	-0,91*	0,39	-0,99*	-0,02	-0,73*	-0,52	— 0,49	0,84*
Silte	0,79*	-0,34	—	—	0,07	-0,98*	0,3	-0,87*	0,73*	0,26	0,27	-0,93*
pH	0,68*	-0,56	0,60*	-0,45	0,85*	-0,4	0,85*	0,47	-0,55	0,64*	—	—
P	0,60*	-0,31	0,64*	0,55	—	—	-0,59	-0,78*	-0,18	0,94*	—	—
H+Al	-0,1	0,75*	—	—	—	—	-0,33	-0,64*	0,83*	-0,4	0,83*	0,08
CTC	0,98*	0,12	0,95*	-0,26	0,93*	-0,35	0,80*	-0,22	0,91*	0,34	0,92*	-0,06

Apêndice K – Final...

Classes de solos	Argissolo				Cambissolo			
Variáveis	Componentes Principais - CP							
	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
	0-10 cm		10-20 cm		0-10 cm		10-20 cm	
	Variável que mais explica a variância dos dados							
COT	0,90*	0,37	0,28	0,75*	0,78*	0,59	0,78*	-0,37
NT	0,70*	0,48	—	—	0,79*	0,05	-0,72*	-0,57
Cmic	0,38	0,61*	—	—	—	—	0,67*	0,61*
Nmic	0,68*	-0,57	—	—	—	—	0,35	0,66*
C _L	0,91*	-0,34	0,85*	-0,1	—	—	—	—
C _{NL}	0,80*	0,56	0,08	0,80*	0,73*	0,63*	0,79*	-0,44
AF	0,73*	0,42	-0,23	0,82*	0,80*	0,02	-0,64*	-0,25
AH	0,80*	0,35	0,21	0,76*	0,83*	-0,3	-0,78*	0,25
HUM	0,90*	-0,38	0,90*	0,06	0,57	0,60*	0,48	-0,73*
Ds	-0,56	0,63*	—	—	—	—	—	—
Areia	—	—	-0,96*	0,15	—	—	—	—
Silte	—	—	0,77*	-0,45	—	—	—	—
pH	0,23	-0,78*	0,72*	0,33	-0,52	0,75*	0,76*	-0,37
P	0,48	-0,76*	0,13	0,78*	—	—	0,37	0,77*
H+Al	0,12	0,85*	—	—	0,48	-0,85*	-0,80*	0,29
CTC	0,68*	-0,14	0,89*	-0,05	-0,66*	0,43	0,94*	0,21





Apêndice L – . Dendrograma de similaridade entre os diferentes sistemas de uso do solo (VN - vegetação nativa; A - agricultura; P - pastagem), considerando a distância euclidiana entre os sistemas e localidades (Santana do Ipanema-SI, Traipi-Tr, Batalha-Ba, Catolé do Rocha-CR, Santa Luzia-SL, América Dourada-AD e Senhor do Bonfim-SB) sob $1_{(A,B)}$: Planossolo (0-10 e 10-20 cm), $1_{(A,B)}$: Neossolo Litólico (0-10 e 10-20 cm), $3_{(A,B)}$: Luvisso (0-10 e 10-20 cm), $4_{(A,B)}$: Argissolo (0-10 e 10-20 cm), $5_{(A,B)}$: Cambissolo (0-10 e 10-20 cm), respectivamente.

Apêndice M – Carbono orgânico total, nitrogênio total e desvio padrão para os sistemas agrícolas e sob vegetação nativa em Planossolo, Neossolo Litólico, Luvisolo, Argissolo e Cambissolo.

Camadas (cm)	Planossolo								Neossolo		
	SI ₁ VN	SI ₁ A47	SB ₁ VN	SB ₁ A10	SB ₁ A15	SB ₂ VN	SB ₂ A8	SB ₂ A18	SI ₂ VN	SI ₂ A2	SI ₂ A38
	COT (dag kg ⁻¹)										
0 - 10	2,64(0,13)	1,27(0,09)	1,97(0,07)	1,37(0,08)	1,49(0,00)	2,47(0,09)	1,98(0,20)	2,14(0,11)	2,58(0,03)	1,41(0,24)	1,94(0,05)
10 - 20	2,78(0,07)	1,06(0,04)	1,19(0,06)	0,60(0,03)	0,93(0,05)	1,55(0,12)	1,50(0,10)	1,53(0,04)	1,44(0,03)	1,66(0,24)	2,21(0,06)
20 - 30	1,10(0,01)	0,80(0,06)	0,87(0,02)	0,47(0,01)	0,48(0,05)	0,86(0,02)	1,43(0,10)	1,17(0,00)	0,89(0,01)	1,21(0,01)	0,67(0,00)
30 - 50	1,02(0,00)	0,41(0,01)	0,60(0,02)	0,43(0,02)	0,41(0,02)	0,52(0,07)	0,80(0,09)	0,68(0,04)	0,67(0,01)	0,71(0,01)	0,50(0,01)
50 - 70						0,73(0,01)	0,51(0,01)				
0 - 50	1,88(0,05)	0,89(0,05)	1,15(0,04)	0,72(0,03)	0,83(0,03)				1,40(0,02)	1,25(0,12)	1,33(0,03)
0 - 70						1,22(0,06)					
	NT (dag kg ⁻¹)										
0 - 10	0,20(0,01)	0,13(0,00)	0,14(0,00)	0,10(0,01)	0,12(0,00)	0,33(0,02)	0,12(0,00)	0,13(0,00)	0,23(0,01)	0,13(0,01)	0,18(0,00)
10 - 20	0,22(0,01)	0,11(0,00)	0,10(0,00)	0,07(0,01)	0,08(0,00)	0,13(0,03)	0,10(0,01)	0,10(0,01)	0,14(0,00)	0,11(0,01)	0,19(0,00)
20 - 30	0,12(0,00)	0,10(0,00)	0,08(0,00)	0,06(0,00)	0,07(0,01)	0,09(0,01)	0,09(0,00)	0,09(0,00)	0,11(0,00)	0,13(0,00)	0,09(0,01)
30 - 50	0,12(0,00)	0,07(0,01)	0,07(0,00)	0,05(0,00)	0,06(0,00)	0,08(0,02)	0,07(0,00)	0,07(0,00)	0,10(0,00)	0,11(0,00)	0,08(0,00)
50 - 70						0,07(0,00)	0,07(0,00)				
0 - 50	0,17(0,00)	0,10(0,00)	0,10(0,00)	0,07(0,00)	0,08(0,00)				0,15(0,00)	0,12(0,01)	0,13(0,00)
0 - 70						0,14(0,02)					

Apêndice M – Continuação...

Camadas (cm)	Luvissolo								
	BaVN	BaA11	SL ₁ VN	SL ₁ A19	SL ₁ A38	SL ₁ A90	SL ₂ VN	SL ₂ A20	SL ₂ A30
COT (dag kg ⁻¹)									
0 - 10	2,14(0,10)	2,18(0,02)	2,28(0,07)	0,78(0,06)	1,51(0,03)	1,05(0,01)	1,59(0,16)	0,66(0,07)	1,24(0,11)
10 - 20	1,05(0,04)	1,17(0,11)	1,55(0,06)	0,70(0,01)	1,18(0,08)	0,87(0,10)	0,78(0,03)	0,50(0,09)	0,68(0,08)
20 - 30	0,60(0,02)	0,60(0,01)	1,07(0,07)	0,66(0,04)	0,77(0,10)	0,71(0,05)	0,64(0,00)	0,38(0,01)	0,53(0,01)
30 - 50	0,90(0,02)	0,79(0,03)	1,06(0,01)	0,60(0,00)	0,63(0,03)	0,55(0,01)	0,58(0,02)	0,43(0,01)	0,51(0,01)
50 - 70	0,85(0,00)	0,48(0,01)					0,48(0,02)	0,36(0,02)	
0 - 50			1,49(0,05)	0,69(0,03)	1,02(0,06)	0,79(0,04)			
0 - 70	1,11(0,04)	1,04(0,04)					0,82(0,04)	0,46(0,04)	0,67(0,04)
NT (dag kg ⁻¹)									
0 - 10	0,18(0,01)	0,19(0,00)	0,22(0,01)	0,08(0,01)	0,20(0,01)	0,08(0,01)	0,10(0,01)	0,06(0,00)	0,09(0,01)
10 - 20	0,12(0,00)	0,12(0,01)	0,14(0,01)	0,07(0,01)	0,16(0,00)	0,07(0,00)	0,06(0,00)	0,06(0,01)	0,06(0,01)
20 - 30	0,08(0,01)	0,10(0,00)	0,10(0,01)	0,05(0,01)	0,15(0,00)	0,06(0,00)	0,06(0,01)	0,05(0,00)	0,05(0,00)
30 - 50	0,10(0,00)	0,10(0,00)	0,09(0,01)	0,07(0,00)	0,25(0,00)	0,05(0,00)	0,06(0,00)	0,05(0,00)	0,05(0,00)
50 - 70	0,07(0,00)	0,08(0,00)					0,05(0,00)	0,04(0,00)	0,05(0,00)
0 - 50			0,13 (0,01)	0,07(0,01)	0,19(0,00)	0,06(0,01)			
0 - 70	0,11(0,00)	0,12(0,00)					0,07(0,00)	0,05(0,00)	0,06(0,00)

Apêndice M – Continuação...

Argissolo							
Camadas (cm)	CR₁VN	CR₁A12	CR₁A15	CR₂VN	CR₂A50	CR₃VN	CR₃A40
COT (dag kg⁻¹)							
0 - 10	1,32(0,01)	0,87(0,07)	0,89(0,05)	2,51(0,01)	1,47(0,12)	2,45(0,20)	1,06(0,01)
10 - 20	0,88(0,11)	0,97(0,11)	0,84(0,07)	0,71(0,10)	1,41(0,09)	1,48(0,05)	1,58(0,15)
20 - 30	1,02(0,03)	0,93(0,01)	0,71(0,01)	0,78(0,01)	0,97(0,06)	1,07(0,05)	1,01(0,02)
30 - 50	0,71(0,01)	0,77(0,02)	0,81(0,05)	0,47(0,01)	0,87(0,02)	0,89(0,00)	1,06(0,03)
50 - 70	0,47(0,01)	0,45(0,00)	0,40(0,02)	0,37(0,01)	0,55(0,02)	0,67(0,02)	1,18(0,00)
70 - 90	0,50(0,05)	0,64(0,04)	0,51(0,03)			0,63(0,02)	0,55(0,00)
0 - 70				1,17(0,03)	1,05(0,06)		
0 - 90	0,82(0,04)	0,77(0,04)	0,69(0,04)			1,20(0,06)	1,07(0,04)
NT (dag kg⁻¹)							
0 - 10	0,15(0,01)	0,09(0,01)	0,12(0,01)	0,19(0,01)	0,12(0,01)	0,20(0,01)	0,11(0,00)
10 - 20	0,12(0,01)	0,14(0,01)	0,12(0,01)	0,14(0,01)	0,11(0,01)	0,13(0,00)	0,14(0,01)
20 - 30	0,13(0,00)	0,14(0,00)	0,11(0,01)	0,09(0,00)	0,10(0,00)	0,10(0,01)	0,10(0,00)
30 - 50	0,11(0,00)	0,15(0,00)	0,05(0,00)	0,07(0,00)	0,09(0,00)	0,08(0,01)	0,10(0,00)
50 - 70	0,13(0,00)	0,11(0,01)	0,05(0,01)	0,07(0,00)	0,07(0,00)	0,08(0,00)	0,10(0,00)
70 - 90	0,07(0,01)	0,10(0,00)	0,13(0,00)			0,07(0,00)	0,06(0,00)
0 - 70				0,11(0,00)	0,10(0,01)		
0 - 90	0,12(0,00)	0,12(0,00)	0,10(0,01)			0,11(0,01)	0,10(0,00)

Apêndice M – Final...

Cambissolo										
Camadas (cm)	AD ₁ VN	AD ₁ A5	AD ₁ A15	AD ₁ A15	AD ₁ A30	AD ₁ A35	AD ₁ A40	AD ₂ VN	AD ₂ A33	AD ₂ A46
COT (dag kg ⁻¹)										
0 - 10	2,12(0,16)	3,84(0,06)	2,24(0,07)	1,93(0,05)	2,04(0,11)	2,32(0,06)	2,03(0,03)	2,17(0,09)	2,30(0,07)	2,78(0,13)
10 - 20	2,02(0,10)	2,07(0,03)	2,35(0,10)	2,03(0,14)	1,88(0,12)	1,96(0,07)	1,77(0,04)	2,63(0,18)	2,29(0,04)	2,75(0,19)
20 - 30	1,71(0,04)	1,40(0,01)	1,71(0,03)	1,65(0,04)	1,52(0,07)	1,49(0,04)	1,40(0,01)	2,41(0,14)	2,26(0,11)	2,23(0,04)
30 - 50	1,21(0,03)	1,19(0,03)	1,61(0,01)	1,18(0,01)	1,27(0,01)	1,06(0,01)	0,94(0,03)			
50 - 80	1,09(0,00)	0,89(0,04)	1,27(0,05)	1,46(0,02)	0,88(0,03)	0,94(0,03)	0,98(0,01)			
80 - 100	0,75(0,02)	0,94(0,00)	2,77(0,04)	0,98(0,03)	0,99(0,02)	0,84(0,01)	0,82(0,01)			
0 - 30								2,40(0,14)	2,28(0,07)	2,59(0,12)
0 - 100	1,63(0,07)	1,72(0,03)	1,99(0,05)	1,54(0,05)	1,43(0,06)	1,43(0,04)	1,32(0,02)			
NT (dag kg ⁻¹)										
0 - 10	0,14(0,01)	0,20(0,01)	0,14(0,01)	0,13(0,01)	0,12(0,01)	0,22(0,00)	0,13(0,00)	0,13(0,03)	0,14(0,01)	0,15(0,00)
10 - 20	0,13(0,00)	0,13(0,01)	0,14(0,01)	0,13(0,01)	0,12(0,01)	0,13(0,01)	0,13(0,00)	0,11(0,00)	0,14(0,01)	0,13(0,01)
20 - 30	0,10(0,00)	0,11(0,01)	0,11(0,01)	0,11(0,00)	0,10(0,00)	0,09(0,01)	0,16(0,01)	0,12(0,01)	0,13(0,01)	0,13(0,01)
30 - 50	0,09(0,00)	0,09(0,01)	0,11(0,00)	0,09(0,00)	0,09(0,01)	0,08(0,00)	0,11(0,01)			
50 - 80	0,08(0,00)	0,08(0,00)	0,09(0,00)	0,09(0,00)	0,07(0,00)	0,07(0,00)	0,11(0,01)			
80 - 100	0,07(0,00)	0,07(0,00)	0,09(0,00)	0,08(0,01)	0,08(0,00)	0,07(0,00)	0,12(0,01)			
0 - 30								0,12(0,00)	0,14(0,01)	0,14(0,01)
0 - 100	0,11(0,00)	0,11(0,01)	0,11(0,01)	0,10(0,01)	0,10(0,01)	0,11(0,01)	0,13(0,01)			

Apêndice N – Carbono orgânico total, nitrogênio total e desvio padrão para os sistemas de pastagem e vegetação nativa em Planossolo, Neossolo Litólico e Argissolo.

Camadas (cm)	Planossolo			Neossolo Litólico		Argissolo			
	Tr ₁ VN	Tr ₁ P10	Tr ₁ P20	Tr ₂ VN	Tr ₂ P4	CR ₂ VN	CR ₂ P6	CR ₃ VN	CR ₃ P30
	COT (dag kg⁻¹)								
0 - 10	3,09(0,06)	1,78(0,13)	1,91(0,09)	2,76(0,02)	2,81(0,19)	2,51(0,01)	1,95(0,17)	2,45(0,20)	1,92(0,01)
10 - 20	1,23(0,14)	0,97(0,11)	1,39(0,15)	2,04(0,19)	2,06(0,10)	1,71(0,10)	1,12(0,06)	1,48(0,05)	0,99(0,07)
20 - 30	1,07(0,02)	1,04(0,03)	1,07(0,03)	1,09(0,01)	0,83(0,06)	0,78(0,01)	1,19(0,07)	1,07(0,05)	1,06(0,01)
30 - 40				0,91(0,03)	0,72(0,05)				
30 - 50	0,76(0,02)	0,67(0,05)	0,64(0,01)			0,47(0,01)	0,83(0,03)	0,89(0,00)	0,91(0,04)
50 - 70	0,94(0,05)	0,36(0,02)	0,49(0,01)			0,37(0,01)	0,61(0,02)	0,67(0,02)	0,90(0,02)
70 - 90	0,20(0,00)	0,21(0,01)	0,47(0,02)					0,63(0,02)	0,64(0,01)
0 - 40				1,70(0,06)	1,61(0,10)				
0 - 70						1,17(0,03)	1,14(0,07)		
0 - 90	1,22(0,05)	0,84(0,06)	1,00(0,05)					1,20(0,06)	1,07(0,03)
	NT dag kg⁻¹)								
0 - 10	0,23(0,01)	0,14(0,00)	0,17(0,01)	0,21(0,00)	0,21(0,04)	0,19(0,01)	0,14(0,02)	0,20(0,01)	0,16(0,00)
10 - 20	0,12(0,01)	0,10(0,00)	0,15(0,01)	0,18(0,02)	0,17(0,02)	0,14(0,01)	0,11(0,01)	0,13(0,00)	0,10(0,01)
20 - 30	0,10(0,01)	0,10(0,01)	0,14(0,00)	0,12(0,01)	0,11(0,00)	0,09(0,00)	0,10(0,01)	0,10(0,01)	0,10(0,00)
30 - 40				0,10(0,00)	0,09(0,01)				
30 - 50	0,09(0,00)	0,11(0,00)	0,10(0,00)			0,07(0,00)	0,10(0,00)	0,08(0,01)	0,09(0,01)
50 - 70	0,09(0,00)	0,06(0,00)	0,18(0,00)			0,07(0,00)	0,07(0,00)	0,08(0,00)	0,09(0,00)
70 - 90	0,05(0,00)	0,05(0,00)	0,08(0,01)					0,07(0,00)	0,07(0,00)
0 - 40				0,15(0,01)	0,15(0,02)				
0 - 70						0,11(0,00)	0,10(0,01)		
0 - 90	0,11(0,00)	0,09(0,00)	0,14(0,01)					0,11(0,01)	0,10(0,00)