UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS AMAZÔNICOS

OSMAIR CARLOS ROSSETTO DE GÓIS

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E CARBONO DE SOLOS EM DIFERENTES ECOSSISTEMAS DA AMAZÔNIA MERIDIONAL

ALTA FLORESTA-MT
2023

	OSMAIR CARLOS ROSSETTO DE GÓIS	Diss. MESTRADO	PPGBioAgro 2023

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS
AMAZÔNICOS

OSMAIR CARLOS ROSSETTO DE GÓIS

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E CARBONO DE SOLOS EM DIFERENTES ECOSSISTEMAS DA AMAZÔNIA MERIDIONAL

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Orientador: Dr. MARCO ANTONIO CAMILLO DE CARVALHO

ALTA FLORESTA-MT
2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catalogação na publicação

Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias

Tereza Antonia Longo Job CRB CRB1/1252

G111a

GÓIS, Osmair Carlos Rossetto de.
Atributos Físicos, Químicos e Carbono de Solos em Diferentes Ecossistemas da Amazônia Meridional / Osmair Carlos Rossetto de Góis – Alta Floresta, 2023.
48 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Câmpus de Alta Floresta, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2023.
Orientador: Marco Antonio Camillo de Carvalho

1. Análise Multivariada. 2. Fitofisionomias. 3. Amazônia Meridional. 4. Carbono. I. Osmair Carlos Rossetto de Góis. II. Atributos Físicos, Químicos e Carbono de Solos em Diferentes Ecossistemas da Amazônia Meridional: .

CDU 504

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E CARBONO DE SOLOS EM DIFERENTES ECOSSISTEMAS DA AMAZÔNIA MERIDIONAL

OSMAIR CARLOS ROSSETTO DE GÓIS

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Aprovada em: 27 de junho de 2023.

Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

Dr. Gustavo Caione

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

Dr. Alan Rodrigo Panosso

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP

AGRADECIMENTOS

Á minha esposa por todo apoio dado nesta caminhada, não me deixando desistir e sempre com conselhos certos na hora certa.

Aos meus pais por todo esforço dado à minha educação e pelo incentivo incondicional a todos os meus projetos, além de serem os exemplos maiores na minha vida, e ao meu irmão por toda ajuda na hora que mais precisei.

Ao meu orientador Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho por te me aceito como orientado e por todos os ensinamentos e paciência durante esta jornada.

Por fim, mas não menos importante, aos colegas e professores do Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, que direta ou indiretamente fizeram parte desta caminhada.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL XIV

ABSTRACT XV

1. INTRODUÇÃO GERAL 16

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 18

3. CAPÍTULOS 20

3.1 CAPÍTULO 1: 21

POROSIDADE E DENSIDADE DE SOLOS EM DIFERENTES ECOSSSITEMAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL 21

RESUMO 21

ABSTRACT 22

INTRODUÇÃO 23

MATERIAIS E MÉTODOS 24

Área de estudo 24

Delineamento experimental 26

Análises laboratoriais 26

Análises estatísticas 28

RESULTADOS E DISCUSSÃO 29

CONCLUSÕES 35

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 36

3.2 CAPÍTULO 2: 39

ATRÍBUTOS QUÍMICOS E TEOR DE CARBONO DE SOLOS EM DIFERENTES ECOSSISTEMAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL 39

RESUMO 39

ABSTRACT 40

INTRODUÇÃO 41

MATERIAS E MÉTODOS 42

Área de estudo 42

Delineamento experimental 44

Análises laboratoriais 44
Análises estatísticas 45
RESULTADOS E DISCUSSÃO 46
CONCLUSÃO 58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59
4. CONSIDERAÇÕES GERAIS 63

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 Autovalores, quantidade de variância explicada, coeficientes de correlação entre os atributos físicos solo das diferentes fitofisionomias solo e os dois primeiros componentes principais. 34

CAPÍTULO 2

Tab. 1 Autovalores, quantidade de variância explicada, coeficientes de correlação, autovetores contribuição de cada atributo químico do solo das diferentes fitofisionomias solo nos três primeiros componentes principais. 50

Tab. 2 Estoque de carbono e de nitrogênio nas diferentes profundidades de cada fitofisionomias. 54

Tab. 3 Estoque de carbono e nitrogênio na profundidade de 0 – 0,40 m de cada fitofisionomia. 55

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 Mapa com a localização do estado de Mato Grosso e o município de Alta Floresta em relação ao Brasil. 25

Figura 2 Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico mostrando a formação de três grupos para fitofisionomias avaliadas, segundo os atributos físicos do solo estudados. 29

Figura 3 Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico mostrando a formação de três grupos para fitofisionomias avaliadas, segundo os atributos físicos do solo estudados. 30

Figura 4 Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas que permitiu a separação de grupos. 30

Figura 5 Médias padronizadas dos atributos físicos do solo em diferentes fitofisionomias, de acordo com a análise de agrupamento não hierárquico *k-mean.* 32

Figura 6 Scree plot da análise de componentes principais, indicando os autovalores maiores que a unidade, utilizados para a interpretação dos resultados. 33

Figura 7 Gráfico biplot dos componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais com todas as observações nas fitofisionomias avaliadas. Cd = cerradão, Ce = cerrado, Tr = transição floresta-cerrado, Fl = Floresta, Pa = pastagem, To = porosidade total, Ma = macroporosidade, Mi= microporosidade e De = densidade do solo.35

CAPÍTULO 2

Fig. 1 Mapa com a localização do estado de Mato Grosso e o município de Alta Floresta em relação ao Brasil. 43

Fig. 2 Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico mostrando a formação de dois grupos para fitofisionomias avaliadas, segundo os atributos químicos do solo estudados. 47

Fig. 3 Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas que permitiu a separação de grupos. 47

Fig. 4 Médias padronizadas dos atributos físicos do solo em diferentes fitofisionomias, de acordo com a análise de agrupamento não hierárquico *k-means*. 48

Fig. 5 *Scree plot* da análise de componentes principais, indicando os autovalores maiores que a unidade, utilizados para a interpretação dos resultados. 49

Fig. 6 Gráfico biplot dos componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais com todas as observações nas fitofisionomias avaliadas. Cd = cerradão, Ce = cerrado, Tr = transição floresta-cerrado, Fl = Floresta, Pa = pastagem, pH (potencial hidrogeniônico), P (fósforo), K (potássio), Mg (magnésio), Ca (cálcio), Al (alumínio), Areia (fração areia), Silte (fração silte), Argila (fração argila), MO (matéria orgânica), V% (saturação por bases), T (capacidade de troca catiônica) e m% (saturação por alumínio). 52

Fig. 7 Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para características químicas, texturais e estoque de carbono e nitrogênio em diferentes fitofisionomias. 57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP Análise de Componentes Principais

Al Alumínio

B Bóro

C Carbono

Ca Cálcio

Cd Cerradão

Ce Cerrado típico

Cl Cloro

CP Componente Principal

CTC Capacidade de Troca de Cátions

Cu Cobre

Ds Densidade do solo

EMPRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Fl Floresta

H Hidrogênio

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K Potássio

LASAF Laboratório de Solos e Análise Foliar

m% Saturação por alumínio

Macro Macroporosidade

Mg Magnésio

MG Minas Gerais

Micro Microporosidade

Mn Manganês

MO Matéria orgânica

Mo Molibdênio

MT Mato Grosso

N Nitrogênio

O Oxigênio

P Fósforo

Pa Pastagem

pH Potencial hidrogeniônico

PI Piauí

Po Porosidade

PPGBioAgro Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Agroecossistemas Amazônicos

S Enxofre

SB Soma de bases

TCD Detector de Condutividade Térmica

TPD Dessorção Programada por Temperatura

Tr Transição

V% Saturação por bases

UNEMAT Universidade do Estado de Mato Grosso

Zn Zinco

RESUMO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar atributos físicos (densidade e porosidade) descritos no capitulo 1, atributos químicos e teor de carbono do solo descritos no capítulo 2, de quatro tipologias vegetais (cerrado típico, cerradão, transição cerrado-floresta e floresta) e uma área de pastagem, localizadas no município de Alta Floresta/MT, região da Amazônia Meridional. O experimento foi realizado à campo nos diferentes ecossistemas adotando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo os tratamentos compostos pelas cinco distintas fitofisionomias: cerradão (Cd), cerrado típico (Ce), transição (Tr), floresta (Fl) e pastagem (Pa), sendo as amostras coletadas nas profundidades 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; e 0,30-0,40m), com seis repetições para cada fitofisionomia e profundidade. Considerando-se a estrutura multivariada contida nos dados, foram empregadas técnicas estatísticas para verificar semelhanças entre as fitofisionomias na tentativa de agrupá-las por meio de seus atributos físicos. Realizou-se análise de agrupamento por método hierárquico, usando a distância euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward como estratégia de agrupamento. Para reduzir os erros, devidos às escalas e às unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1. Ocorreu diferença entre as fitofisionomias com relação aos atributos físicos do solo (porosidade total, macroporosidade, microposidade e densidade) onde cerradão se assemelha a pastagem, cerrado se assemelha a transição e floresta fica isolada dessas outras. Os atributos químicos e texturais do solo permitiram diferenciar as fitofisionomias. Os solos com vegetação característica de cerrado ou transição floresta-cerrado, apresentam maiores teores de areia, menor pH, maiores teores e saturação por alumínio. A fitofisionomia Floresta está presente em solo com maior fertilidade e maiores teores de argila e silte. A separação das fitofisionomias obtidas pelas análises multivariadas pode possibilitar melhor entendimento das vegetações presentes em cada área.

Palavras-chave: atributos químicos do solo, atributos físicos do solo, fitofisionomias, análise multivariada.

.

ABSTRACT

The objective of this Project was to analyze the physical attributes (density and porosity) described in chapter 1, soil chemical attributes and carbon content described in chapter 2, of four plant life typologies (typical cerrado, cerradão, cerrado-forest transition, and forest) and one grazing area, located in the town of Alta Floresta/MT, southern Amazon region. The experiment was performed in field in the different ecosystems, applying a fully randomized experimental delineation, with the treatments being composed of the five distinct phytophysionomies: cerradão (Cd), typical cerrado (Ce), transition (Tr), forest (Fl) and grazing (Pa), with the samples being collected at 0-0.10 m; 0.10-0.20 m; 0.20-0.30 m; e 0.30-0.40m depths, with six repetitions for each phytophysionomy and depth. Considering the multivariate structure present in the data, technical statistics were applied to verify similarities between the phytophysionomies to group them considering their physical attributes. Grouping analyzes by a hierarchical method was applied, using the Euclidean distance as a measurement of similarities between the records, and the Ward method as a grouping strategy. To decrease errors due to the scale and the variable units, the data was standardized with a zero medium and one variant. There was a difference between the phytophysionomies in relation to the physical attributes of the soil (total porosity, microporosity, microporosity and density), where cerradão is similar to grazing, cerrado is similar to transition, and forest is isolated. The chemical and textural attributes of the soil allowed us to differentiate the phytophysionomies. The soils with characteristics of cerrado plant life or with forest-cerrado transition show higher content of sand, lower pH, higher content and saturation by aluminum. The phytophysionomy Forest is present on soil with high fertility and higher contents of clay and silt. The separation of the phytophysionomies obtained by the multivariate analyses can allow a better understanding of the plant life present in each area.

Key Words: physical attributes of the soil, chemical attributes of the soil, phytophysionomies, multivariate analyses.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia é reconhecida como uma das regiões mais importantes em termos de biodiversidade e papel na regulação climática global. A sua cobertura vegetal diversificada, composta por diferentes fitofisionomias, exerce um papel fundamental na manutenção desses ecossistemas. O solo desempenha um papel crucial no funcionamento desses ambientes, atuando como um reservatório de nutrientes, regulando o ciclo da água e fornecendo suporte físico para o crescimento das plantas.

Portanto, compreender os atributos físicos e químicos dos solos em diferentes fitofisionomias da Amazônia Meridional é essencial para a conservação e manejo adequado dessas áreas. Neste estudo foram avaliados amostra de solos de quatro fitofisionomias e um área de pastagem. As fitofisionomias foram cerrado típico, cerradão, transição cerrado-floresta e floresta, que serão descritos a seguir.

O cerrado típico conforme Eiten (1994) e Marimon Junior (2005), caracteriza-se por uma vegetação formada por um estrato arbóreo-arbustivo e um herbáceo-graminoso. Ocorre normalmente sobre solos do tipo Latossolo ou Neossolos Quartzarênicos, profundos e bem drenados (HARIDASAN, 1992; MARIMON JUNIOR, 2005), apresentado altura média entre 3 a 6 m, tendo cobertura arbórea variando de 20 a 50% (RIBEIRO e WALTER, 2008; ZORTEA, 2018).

Conforme Rizzini (1997) o cerradão apresenta três estratos distintos, sendo o primeiro arbóreo com alturas entre 10 a 12 m, seguido por um estrato arbustivo nítido e geralmente denso, enquanto que o terceiro estrato apresenta poucas gramíneas e alguns subarbustos. É uma formação florestal característica do bioma cerrado, apresentando cobertura arbórea que varia de 50 a 90%, geralmente sobre solos do tipo Latossolo Vermelho ou Vermelho Amarelo, e em menor proporção sobre Cambissolo Distrófico (RIBEIRO e WALTER, 2008; ZORTEA, 2018).

As áreas de transição cerrado-floresta são caracterizadas pela alta heterogeneidade de fitofisionomias e edáficos, as zonas de transição entre cerrado e amazônia são delineadas por barreiras geográficas, estendendo-se por grande faixa territorial, condicionando a distribuição espacial de sua

vegetação (SOARES, 1953; BONINI, 2019). Estas zonas de transição se apresentam em áreas de fitofisionomias savânicas e florestais, como por exemplo o cerrado típico e o cerradão (RATTER et al., 1973; ACKERLY, 1989; BONINI, 2019).

A floresta estudada neste caso trata-se de um floresta ombrófila aberta, considerada por algum tempo como uma espécie de transição entre Floresta Amazônica e as áreas extra amazônicas, sendo denominada de Floresta Ombrófila Aberta pelo projeto RADAMBRASIL, diferindo da floresta ombrófila densa, por apresentar quatro faciações florísticas que alteram a fisionomia da floresta, sendo: Floresta Ombrófila Aberta Aluvial, Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas, Floresta Ombrófila Aberta Submontana e Floresta Ombrófila Aberta Montana (VELOSO et al., 1975; IBGE, 2012).

Nessa fitofisionomia é possível a identificação de quatro estratos, embora nem sempre seja nítido. A primeira é um estrato superior, com espécies arbóreas alcançado alturas médias entre 30 a 50 m, seguido por um estrato logo abaixo, também arbóreo, com espécies alcançando alturas médias entre 5 a 20 m. No terceiro estrato encontra-se vegetação arbórea-arbustiva com alturas médias de 2 a 5 m, e logo abaixo um estrato herbáceo (RIZZINI, 1997).

A área de pastagem deste estudo era originalmente de transição cerrado-floresta, desmatada no ano de 2013 para a formação de pastagem com a forrageira *Brachiaria brizantha* cv Marandu, onde se realizou a derrubada e queima da vegetação original com posterior preparo do solo com o uso de grade aradora. No ano de 2018 foi realizada novamente a gradagem da área para melhoria da qualidade da pastagem.

Visto isso, o presente estudo foi dividido em dois capítulos: o capítulo 1 será abordada características físicas dos solos, no que tangem a densidade e a porosidade (macro e microporosidade), sendo atributos físicos que influenciam na infiltração de água no solo, armazenamento de nutrientes e absorção destes nutrientes pelas plantas. No capítulo 2 trataremos dos atributos químicos, fundamentais na disponibilidade de nutrientes necessários ao crescimento vegetal, e teor de carbono, sendo essencial para fertilidade e sustentabilidade dos solos. Ambos estudos foram conduzidos nas cinco áreas descritas anteriormente.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERLY, D. D.; THOMAS, W. W.; FERREIRA, C. A.; PIRANI, J. R. The forest-cerrado transition zone in southern Amazonia: Results of the 1985 Projeto Flora Amazônica expedition to Mato Grosso. **Brittonia**, v. 41, n. 2, p. 113-128. 1989.

BONINI, I. Transição Amazônia-Cerrado: desmatamento e colapso do ciclo hidrológico. **Tese de Doutorado. Pós-Graduação Stricto Sensu em Ecologia e Conservação.** Unemat.175 p. Nova Xavantina, 2019.

EITEN, G. Vegetação do cerrado. P. 17-75, In: PINTO, M. N. (org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Editora Unb, Brasília, 1994.

HARIDASAN, M. Observations on soils, foliar nutrient concentration and floristic composition of cerrado sensu stricto and cerradão communities in central Brazil. p.171-184. In: FURLEY, P.A.; PROCTOR, J.; RATTER, J. A. (eds.). **Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries**. London, Chapman & Hall Publishing, 1992.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2012.

MARIMON JUNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado *sensu stricto* em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.19, n.4, p. 913-926, 2005.

RATTER, J. A.; RICHARDS, P. W.; ARGENT, G.; GIFFORD, D. R. Observations on the vegetation of Northeastern Mato Grosso: I. The wooddy vegetation tpes of the Xavantina-Cachimbo Expedition area. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Serie B, Biological Sciences, v. 266, n. 880, p. 449-492. 1973.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. (2008). As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*.: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora.** Brasília: EMBRAPA, v. 1, p. 152-212, 2008.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. 747 p. Âmbito Cultural Edições Ltda, 1997.

SOARES, L. C. Limites meridionais e orientais da área de ocorrência da Floresta Amazônica em Território Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 15, n. 1, p 3-122. 1953.

VELOSO, H. P. et al. Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos: estudo fitogeográfico. In: FOLHA NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. Rio de Janeiro: **Projeto Radambrasil**, cap. 4, p. 307-403, 1975.

ZORTEA, M. Determinantes ambientais de vegetação savânica e florestal em enclave de cerrado na Amazônia mato-grossense. **Dissertação de Mestrado. PPGBioAgro-Unemat**. 122 p. Alta Floresta, 2018.

3. CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1: POROSIDADE E DENSIDADE DE SOLOS EM DIFERENTES ECOSSISTEMAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

CAPÍTULO 2: ATRIBUTOS QUÍMICOS E TEOR DE CARBONO DE SOLOS EM DIFERENTES ECOSSISTEMAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

3.1 CAPÍTULO 1:

POROSIDADE E DENSIDADE DE SOLOS EM DIFERENTES ECOSSSITEMAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi avaliar atributos físicos do solo quanto à macroporosidade, microporosidade e densidade de quatro tipologias vegetais (cerrado típico, cerradão, transição cerrado-floresta e floresta) e uma área de pastagem, localizadas no município de Alta Floresta/MT, região da Amazônia Meridional. O experimento foi realizado à campo nos diferentes ecossistemas adotando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo os tratamentos compostos pelas cinco distintas fitofisionomias: cerradão (Cd), cerrado típico (Ce), transição (Tr), floresta (Fl) e pastagem (Pa), sendo as amostras coletadas nas profundidades 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; e 0,30-0,40m), com seis repetições para cada fitofisionomia e profundidade. Considerando-se a estrutura multivariada contida nos dados, foram empregadas técnicas estatísticas para verificar semelhanças entre as fitofisionomias na tentativa de agrupá-las considerando-se para isso os seus atributos físicos. Realizou-se análise de agrupamento por método hierárquico, usando a distância euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward como estratégia de agrupamento. Para reduzir os erros, devidos às escalas e às unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1. Ocorreu diferença entre as fitofisionomias com relação aos atributos físicos do solo (porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade) onde cerradão se assemelha a pastagem, cerrado se assemelha a transição e floresta fica isolada dessas outras. A separação das fitofisionomias obtidas pelas análises multivariadas pode possibilitar melhor entendimento das vegetações presentes em cada área.

Palavras-chave: Atributos físicos do solo, fitofisionomias, análise multivariada.

SOIL POROSITY AND DENSITY IN DIFFERENT ECOSYSTEMS IN THE SOUTHERN AMAZON

ABSTRACT

The objective of this chapter was to analyze the physical attributes of the soil relating to the macroporosity, microporosity and density of four plant typologies (typical cerrado, cerradão, cerrado-forest transition, and shady forest) as well as a grazing field, located in the town of Alta Floresta/MT, the southern Amazon region. The experiment was performed in field in the different ecosystems, applying fully randomized experimental delineation, the treatments being composed of the five distinct phytophysionomies: cerradão (Cd), typical cerrado (Ce), transition (Tr), forest (Fl) and grazing field (Pa), with samples being collected at 0-0.10 m; 0.10-0.20 m; 0.20-0.30 m; and 0.30-0.40m depths, with six repetitions for each phytophysionomy and each depth. Considering the multivariate structure present in the data, technical statistics were implemented to analyze similarities between the phytophysionomies as an attempt to group them considering their physical attributes.

Grouping analyzes by a hierarchical method was applied, using the Euclidean distance as a measurement of similarities between the records, and the Ward method as a grouping strategy. To decrease errors due to the scales and variable units, the data was standarized with a zero medium and one variance. There were differences between the phytophysionomies in relation to the physical attributes of the soil (total porosity, macroporosity, microporosity and density) where cerradão is similar to grazing field, cerrado is similar to transition, and forest is isolated amongst the others. The phytophysionomies separation obtained by the multivariate analyzes can allow for a better understanding of the plant life that is present in each area.

Key Words: physical attributes of the soil, phytophysionomies, multivariate analyses.

INTRODUÇÃO

O solo possui propriedades e atributos que permitem sustentar uma grande diversidade de organismos, desde seres diminutos até organismos superiores, com destaque para as plantas. De maneira geral, o solo pode ser considerado como uma matéria desagregada e porosa, localizada na interface entre a litosfera, a atmosfera e a biosfera (VAN RAIJ, 2019).

Oriundos de rochas que sofreram algum tipo de intemperismo (físico, químico ou biológico) são adotadas pelo homem, diferentes classes específicas de solo a depender do tipo de mineralogia (BATISTA et al., 2018). Sob a influência do intemperismo, as rochas são fragmentadas, havendo lentas alterações nas suas características, fazendo com que seus fragmentos menores e produtos solúveis sejam transportados de um local para outro, além de haver também síntese de novos minerais para os solos (BRADY e WEIL, 2013).

O solo é composto por partículas sólidas e espaços porosos preenchidos por água e ar. As partículas sólidas são constituídas por minerais e matéria orgânica. A água preenche uma parte dos poros, enquanto o ar ocupa o restante dos espaços disponíveis. O solo, portanto, é um sistema heterogêneo trifásico, com fases sólida, líquida e gasosa. A fase líquida é contínua, permitindo a movimentação de solutos, enquanto a fase gasosa e a fase sólida são descontínuas (VAN RAIJ, 2019), apresentando diferentes estados de agregação, textura, teor de água, matéria orgânica e possíveis tensões, dependendo do seu uso e manejo anteriores (LLANILO et al., 2006; WENDLING et al., 2012).

A produtividade do solo depende das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, cujas plantas necessitam de solos bem estruturados (MARCHÃO et al., 2007*;* PIGNATARO NETTO et al*.*, 2009; BOGNOLA et al*.*, 2010; WENDLING et al*.*, 2012), e que visando o uso sustentável de solos, é de grande valia os estudos sobre caracterização pedológica, aos quais proverão conhecimento sobre propriedades do solo que embasam práticas de manejo adequadas (SANTOS et al., 2012).

A física do solo como constituinte da ciência de solos, tem por escopo a caracterização de atributos físicos do solo, bem como mensurar, predizer e controlar processos físicos que venham a ocorrer dentro e através do solo (FERREIRA, 2010). Desde modo, os atributos físicos são um conjunto de

características que definem o comportamento geral do solo, incluindo aspectos como granulometria, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade (total, macro e micro), capacidade de retenção de água, estrutura e consistência (MOTA et al., 2008; SANTOS et al., 2019).

A porosidade do solo (macroporosidade e microporosidade), como parte da física do solo, tem efeito significativo na aeração, condução e retenção de água, na resistência à penetração e na ramificação das raízes no solo. Isso, por sua vez, pode afetar a capacidade das plantas de absorver água e nutrientes disponíveis no solo (TOGNON, 1991; RIBEIRO et al., 2007). De acordo com Brady (1979) os macroporos são responsáveis pela aeração e drenagem, enquanto os microporos atuariam na retenção de água no solo. Já a densidade que, de acordo com Silva et al. (2022), é por meio dela que há a possibilidade em realizar uma caracterização física da estrutura de determinado solo, constituindo indicativo do grau de compactação.

O solo se relaciona, direta ou indiretamente, com as diferentes fitofisionomias de uma região e é importante entender, bem como conhecer a vegetação natural e sua relação com os solos em que ocorrem. (KOTCHETKOFF-HENRIQUES et al., 2005). Dentro deste contexto, o objetivo deste capítulo é avaliar atributos físicos do solo quanto à macroporosidade, microporosidade e densidade de quatro fitofisionomias e uma área de pastagem na Amazônia Meridional, localizadas no município de Alta Floresta/MT.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O experimento foi realizado à campo em quatro diferentes fitofisionomias e uma área de pastagem, no município de Alta Floresta/MT, nas seguintes coordenadas geográficas e altitudes: cerrado típico 10º21’48” latitude Sul e 56º49’02” longitude Oeste, 368 m acima do nível do mar; cerradão 10º21’05” latitude Sul e 56º49’02” longitude Oeste, 415 m acima do nível do mar; transição cerrado-floresta 10º19’51” latitude Sul e 56º27’48” longitude Oeste, 295 m acima do nível do mar; pastagem 10º19’58” latitude Sul e 56º27’48” longitude Oeste,

296m acima do nível do mar; e floresta 9º54’18” latitude Sul e 56º18’04” longitude Oeste, 259 acima do nível do mar (Figura 1).

A região apresenta clima tropical chuvoso de floresta, tipo Am segundo a classificação de Köppen, com períodos curtos de seca e prolongados de chuva, temperaturas entre 25 e 27 °C e a média para precipitação é de 2.243 mm (ALVARES et al., 2014). Conforme Moreira e Vasconcelos (2007), a vegetação é predominada por Floresta Ombrófila, com encraves de Cerrado e áreas de contato da floresta ombrófila/floresta estacional.

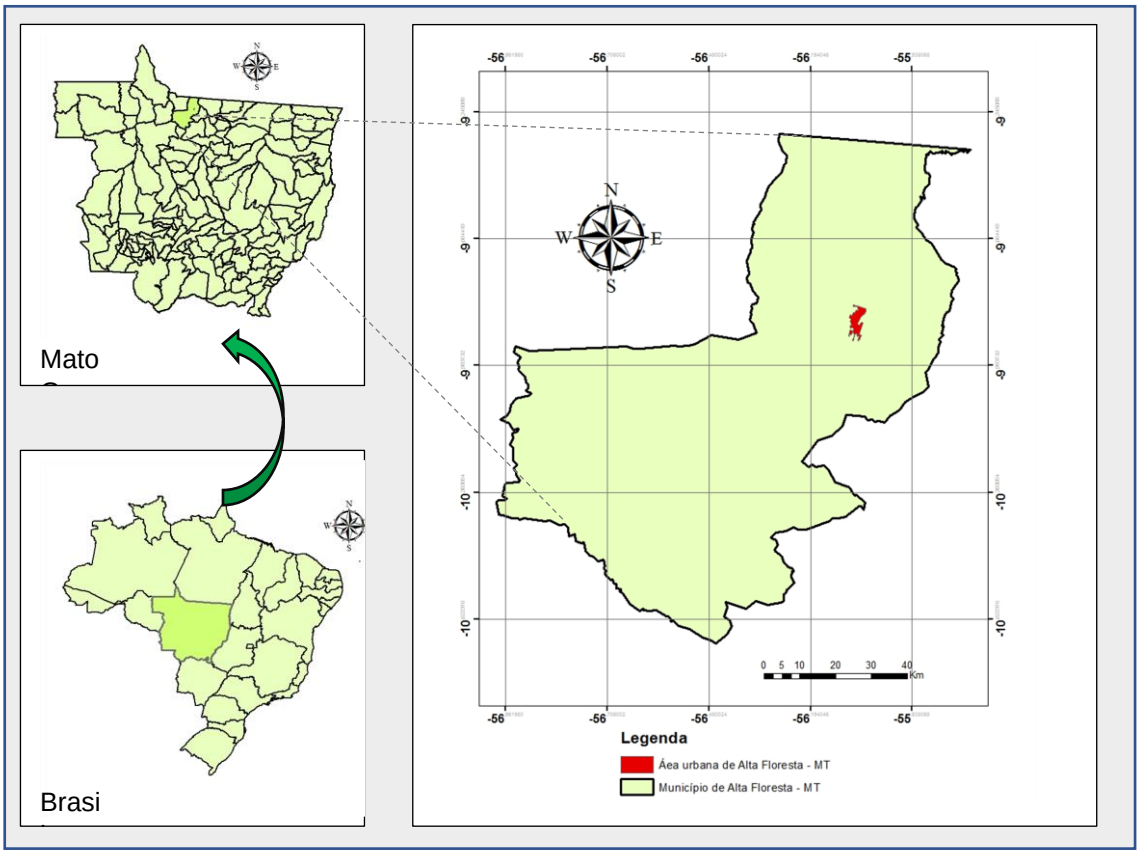

Figura 1 Mapa com a localização do estado de Mato Grosso e o município de Alta Floresta em relação ao Brasil.

Conforme Santos et al. (2018), os solos apresentam as seguintes classificações: cerradão e cerrado típico é classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, transição cerrado-floresta e pastagem em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico e a floresta em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico. O relevo de todas as fitofisionomias foi caracterizado como moderadamente plano.

As diferentes áreas de cerradão, cerrado típico, transição cerrado-floresta e floresta, trata-se de áreas com vegetação nativa típica de cada fitofisionomia. A área de pastagem tem como histórico: abertura da área no ano de 2010 com a implantação de pastagem da forrageira *Urochloa brizantha* cv Marandu, onde foi realizado o preparo do solo com o uso de grade e não havendo a realização de adubação e calagem. E no ano de 2018, foi realizada uma nova gradagem da área para eliminação de plantas daninhas e nova semeadura da forrageira supracitada.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos considerados as cinco distintas fitofisionomias: cerradão (Cd), cerrado (Ce), transição (Tr), floresta (Fl) e pastagem (Pa), sendo as amostras coletadas nas profundidades 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; e 0,30-0,40m), com seis repetições para cada fitofisionomia e profundidade.

Para cada fitofisionomia e profundidade objetivou-se a determinação das características físicas do solo, sendo coletadas na porção mediana de cada profundidade utilizando-se anéis volumétricos tipo Koppec de 0,0001 m^3 (0,05 m de altura por 0,05 m de diâmetro), acondicionadas em caixa térmica e encaminhados ao laboratório para realização das análises.

Análises laboratoriais

As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Solos e Análise Foliar (LASAF) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Alta Floresta.

Para as determinações de porosidade do solo, utilizou-se o método da mesa de tensão, adaptada de Kiehl (1979). As amostras de solo indeformadas foram devidamente preparadas (toilet e proteção da face inferior do anel com tecido, um pouco maior que o diâmetro do anel, de maneira a dobrar o excesso sobre as paredes do anel e prender com elástico) e saturadas por meio da

elevação gradual de uma lâmina de água em uma bandeja, até atingir 2/3 da altura das amostras, conforme Embrapa (2017).

a) Macroporosidade do solo (Macro)

Após saturação, as amostras foram dispostas sobre a mesa de tensão, o “frasco de nível” foi abaixado para o nível de sucção correspondente a 0,60 m de altura de coluna d’água (-0,006 MPa), retirando a água dos macroporos (percentagem de poros com diâmetro de 0,05 mm). Após a pesagem, antes (saturado) e depois de ir à mesa (até parar de drenar, quando se obtém o peso constante da amostra), utilizando-se a equação 1, foi determinado o volume de macroporos (EMBRAPA, 2017).

$$(1) \qquad Macro = \left| \frac{(\,Po\ saturado - Po\ após\ mesa\ de\ tensão)}{Volume\ Total} \right| .100$$

b) Microporosidade do solo (Micro)

Após a retirada da água dos macroporos (percentagem de poros com diâmetro de 0,05 mm), as amostras foram secas em estufa a 105 ºC por 24 horas. Após pesagem, antes (drenado a -0,006 MPa) e depois (seca em estufa), utilizando-se a equação 2, foi obtido o volume de microporos (EMBRAPA, 2017).

$$(2) \qquad Micro = \left(\frac{Po\ após\ mesa\ de\ tensão - P\ seco}{Volume\ tatal} \right) .100$$

c) Porosidade total (Ptot)

Por meio da equação 3, foi determinado o volume de poros totais do solo (%), ocupado por água e/ou ar nas amostras (EMBRAPA, 2017).

$$(3) \qquad Potot = Macro + Micro$$

d) Densidade do solo (Ds)

A densidade do solo (g.cm^{-3}) foi obtida com a massa da amostra seca em estufa a 105 ºC (subtraindo-se das pesagens o peso do tecido, do elástico e

do anel) e o volume do anel correspondente, utilizando-se a equação 4 (EMBRAPA, 2017):

$$(4) \qquad Ds = \frac{Mseca}{Volume\ do\ anel}$$

Análises estatísticas

Considerando-se a estrutura multivariada contida nos dados, foram empregadas técnicas estatísticas para verificar semelhanças entre as fitofisionomias, na busca por agrupá-las, adotando-se os seus atributos físicos.

Realizou-se análise de agrupamento por método hierárquico, usando a distância euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward como estratégia de agrupamento. Para reduzir os erros, devidos às escalas e às unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1. O dendrograma obtido pela análise de agrupamento apresenta, no eixo vertical, o nível de similaridade e no eixo horizontal, as fitofisionomias, formando as classes homogêneas.

Para determinar quantos componentes devem ser excluídas da análise, foram determinados os autovalores e o gráfico de scree-plot, que é um gráfico dos autovalores em função da ordem dos componentes principais, representando graficamente a porcentagem de variância explicada por cada atributo. Quando esta porcentagem se reduz e a curva passa a ser quase paralela ao eixo das abscissas, as componentes correspondentes podem ser excluídas.

A análise de agrupamento foi complementada com a de componentes principais, para obter um conjunto menor de combinações lineares das variáveis que preservasse a maior parte da informação fornecida pelas variáveis originais (SILVA et al., 2010). A análise de componentes principais permite condensar a maior quantidade da informação original contida em p variáveis (p = 4, neste estudo) em duas variáveis latentes ortogonais denominadas componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (HAIR JUNIOR et al., 2009).

Desta forma, o conjunto inicial de quatro variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes, o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais). A adequação desta análise é verificada pela quantidade da informação total das variáveis originais retida pelos componentes principais que mostram autovalores superiores à unidade (KAISER, 1958). Autovalores inferiores à unidade não dispõem de informação relevante.

Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas no software STATISTICA versão 7.0 (STATSOFT, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dendrograma obtido pela análise de variância é apresentado na figura 2. Cada vez que se obtém variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre os acessos para o conjunto de dados de variáveis consideradas, é possível fazer uma divisão de grupos. No presente trabalho, a variação de 20 para 30 (Figura 3) permitiu uma divisão exata em três grupos (Grupo I, Grupo II e Grupo III). Esta divisão mostrou a similaridade com relação aos atributos físicos de algumas fitofisionomias.

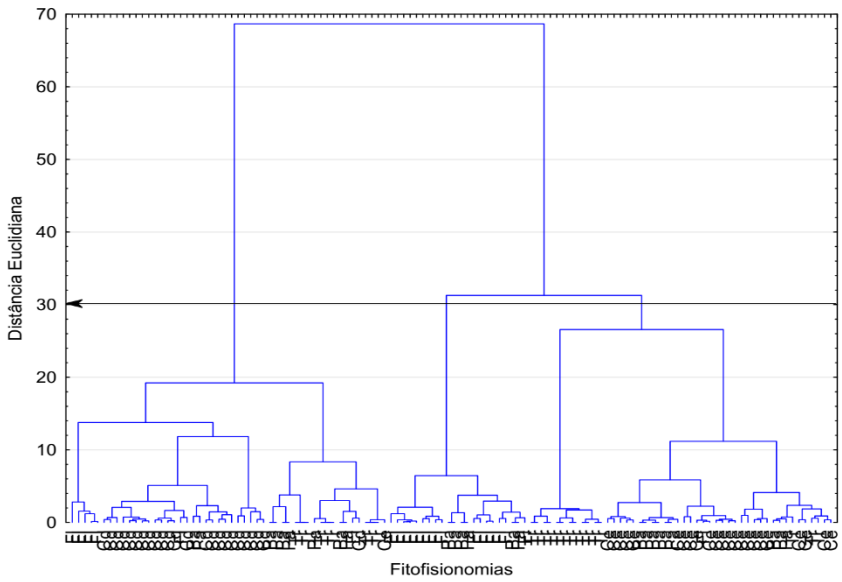

Figura 2 Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico mostrando a formação de três grupos para fitofisionomias avaliadas, segundo os atributos físicos do solo estudados.

No grupo I ficaram concentrados os acessos cerradão e pastagem, no grupo II os acessos de cerrado e transição, e no grupo III o acesso de floresta. Quando ocorre a formação de grupo com mais de uma fitofisionomia é uma indicação que tais áreas apresentam atributos similares, como no caso do Cerradão e Pastagem. Esta informação está de acordo com afirmativa de Yemefack et al. (2005) e De Freitas et al. (2014), onde afirmam que esta técnica permite agrupar variáveis com características semelhantes entre si e com aumento de variabilidade entre os agrupamentos formados.

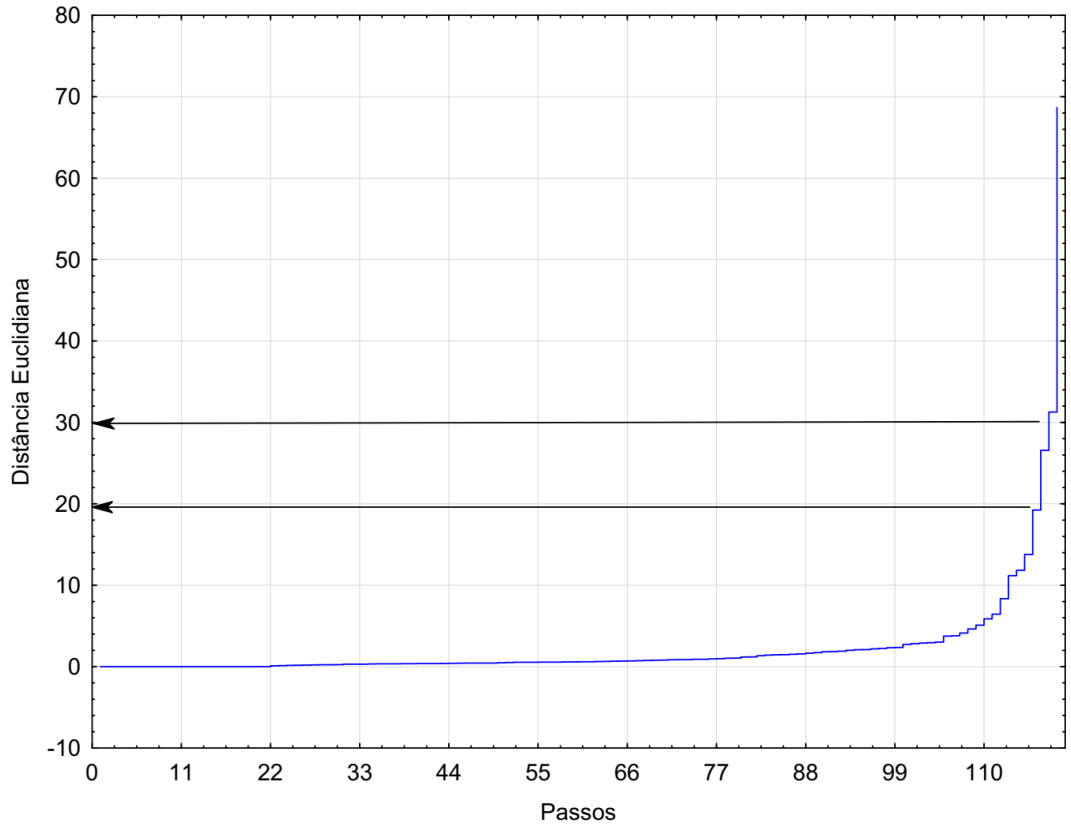

Figura 4 Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas que permitiu a separação de grupos.

Considerando o número de grupos igual a três, aplicou-se o método de agrupamentos *k-means* para a confirmação da ordenação obtida na análise de agrupamentos hierárquica.

O grupo I, composto pelas fitofisionomias Cerradão e Pastagem, ficou caracterizado pela maior porosidade total e macroporosidade, e com menor microporosidade e densidade, indicando que estas fitofisionomias apresentam

ótimas características físicas do solo. Solos com maior porosidade e menor densidade possuem aumento da permeabilidade e da infiltração de água, melhora na formação de agregados, e diminuição da resistência mecânica à penetração, elevando assim a qualidade física do solo (PEZARICO et al., 2013). A presença da área de pastagem nesse grupo se deve em função da realização da gradagem na área no ano de 2018.

O grupo II, formado pelas fitofisionomias Cerrado e Transição, se destaca pela menor porosidade total, baixa macroposidade, maior microposidade e alta densidade, mostrando que nessas fitofisionomias ocorre maior dificuldade para o desenvolvimento radicular das plantas.

Em relação ao grupo III, composto pela Floresta, verificou-se em relação aos outros grupos, média porosidade total, menor macroposidade, maior microporosidade e alta densidade também indicando maior resistência para o desenvolvimento radicular.

Essa diferença entre as fitofisionomias com relação aos atributos físicos do solo ocorre, de acordo com Redin et al. (2011), primeiramente em função da textura do solo, que em função da sua constituição pode promover melhor agrupamento das partículas do solo, e também a possibilidade de maior exposição do solo às ações desintegradoras, como as queimadas periódicas na estação seca do ano, favorecida pela própria cobertura vegetal.

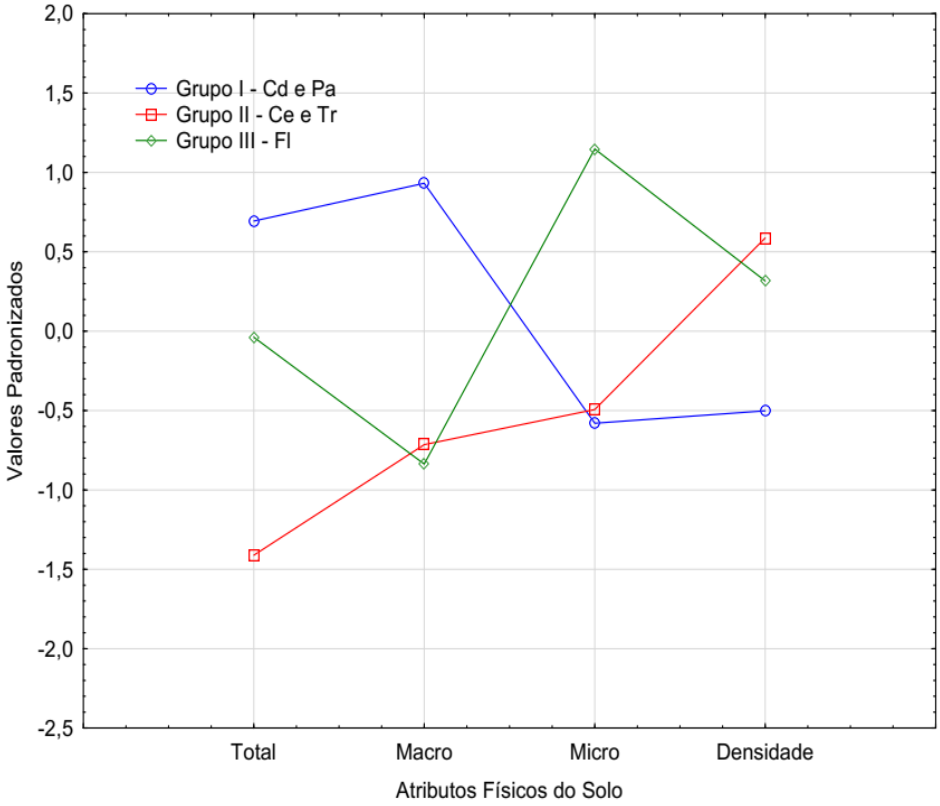

Figura 5 Médias padronizadas dos atributos físicos do solo em diferentes fitofisionomias, de acordo com a análise de agrupamento não hierárquico *k-mean.*

A verificação da importância e da contribuição de cada variável para a explicação da variância total pode ser obtida com o gráfico scree plot (Figura 5). Esse gráfico, em conjunto com os autovalores pode ser utilizado para a tomada de decisão de quantas componentes devem ser retidas para posterior aplicação da análise de componentes principais (ACP), sendo o critério adotado para a escolha do número de componentes a seleção daquelas que apresentaram autovalores acima de 1,00 e conseguiram sintetizar uma variância acumulada acima de 70% (Hair Junior, 2009). Neste caso se pode utilizar as componentes principais para representar graficamente o poder discriminatório dos atributos físicos do solo.

Os atributos físicos do solo significaram para os 85,74% (58,12% + 27,62% - Figura 5) da variabilidade explicada os seguintes percentuais: porosidade total (23,54%), macroporosidade (17,77%), microporosidade (32,42%) e densidade (12,02%), indicando maior contribuição da microporosidade e porosidade total na variância total explicada pelas duas componentes. De Freitas et al. (2014) trabalhando com análise multivariada na

avaliação de atributos do solo com diferentes texturas cultivados com cana de açúcar conseguiu selecionar os atributos que possivelmente sofrem maior impacto ou alteração quando submetidos a alguma forma de manejo. Em analogia, no presente estudo é possível observar quais foram os atributos físicos do solo que mais contribuíram para distinguir as fitofisionomias estudadas.

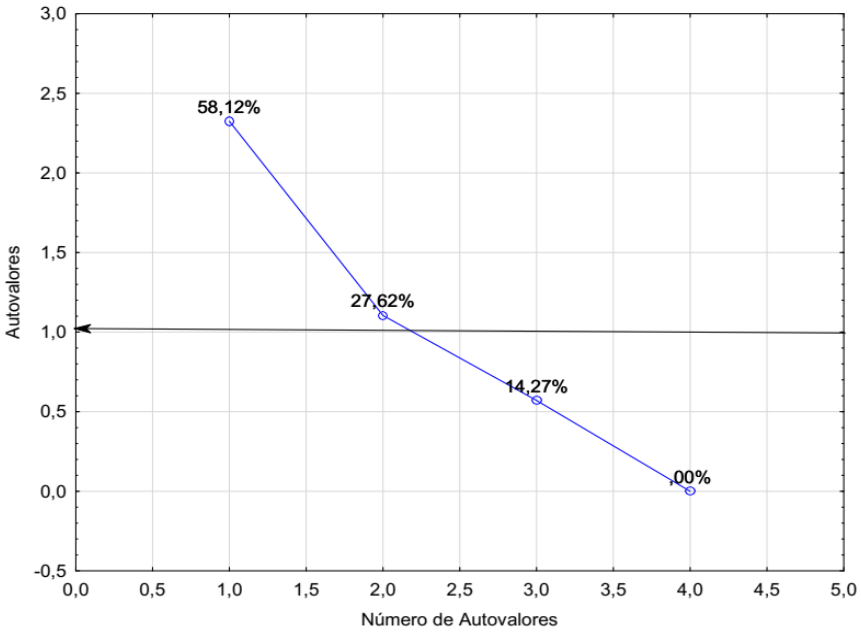

Figura 6 Scree plot da análise de componentes principais, indicando os autovalores maiores que a unidade, utilizados para a interpretação dos resultados.

Para a explicação da variância total foram necessárias a primeira e a segunda componente principal, em razão dessas apresentarem elevados autovalores, sendo respectivamente 2,32 para CP1 e 1,10 para CP2 (Tabela 1). As CPs que apresentam autovalores superiores a um podem ser utilizadas para uma ordenação bidimensional dos acessos e das variáveis, o que permite a construção do gráfico biplot (Figura 6) (FREDDI et al., 2008). A quantidade da informação total das variáveis originais, retida pelos dois componentes principais, foi de 85,74% (58,12% - primeiro componente principal e 27,62% - segundo componente principal) (Figura 5 e 6).

Os valores da correlação/autovetor) dos atributos do solo com as CPs podem ser considerados como uma medida de relativa importância de cada variável (atributos físicos do solo) em relação às componentes principais, sendo os sinais, positivos ou negativos, indicações de relações diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente.

No presente trabalho, os coeficientes dos atributos ou seus pesos acima de 0,5, independentemente de positivos ou negativos, foram destacados, pois para Coelho (2005), a classificação dos autovetores segue o seguinte: valor absoluto < 0,30, classificado como pouco significativo; 0,30–0,40, considerado medianamente significativo; e ≥ 0,50, tido como altamente significativo. Novamente se nota a importância da microporosidade e da porosidade total para a distinção das fitofisionomias estudadas (Tabela 1).

Tabela 1 Autovalores, quantidade de variância explicada, coeficientes de correlação entre os atributos físicos solo das diferentes fitofisionomias solo e os dois primeiros componentes principais.

Componentes	**CP - 1**	**CP – 2**
Autovalor	2,32	1,10
Variância Explicada (%)	58,11	27,62
Variância Acumulada (%)	58,11	85,73
Correlação (autovetor)		
Total	**-0,75**	**-0,57**
Macro	**-0,96**	0,15
Micro	**0,55**	**-0,83**
Densidade	**0,72**	0,25
Interpretação	Porosidade total e macroporosidade em contraste com microporosidade e densidade	Microporosidade em acordo com porosidade total

A representação gráfica e a correlação das variáveis nos componentes principais (Figura 6 e Tabela 1) permitem caracterizar as variáveis que mais discriminaram a formação dos grupos I, II e III. As variáveis porosidade total (-0,75) e macroporosidade (-0,96) são responsáveis pela discriminação do grupo I, composto pelas fitofisionomias cerradão e pastagem, localizado a esquerda de CP-1 (correlações negativas).

A variável densidade do solo (0,72) é responsável pela discriminação do grupo II, composto pelas fitofisionomias cerrado e transição, localizado a direita de CP-1 (correlação positiva) e a variável microporosidade (-0,83) é responsável pela discriminação do grupo III, composto pela fitofisionomia floresta, localizado na parte inferior de CP-2 (correlação negativa) indicando que esta fitofisionomia apresenta menor porcentagem de microporos.

Assim, pode-se afirmar, com base nas três análises exploratórias de dados, que realmente houve a separação em três grupos das fitofisionomias estudadas, resultantes das diferentes classes de solos e vegetação existente em cada uma dessas.

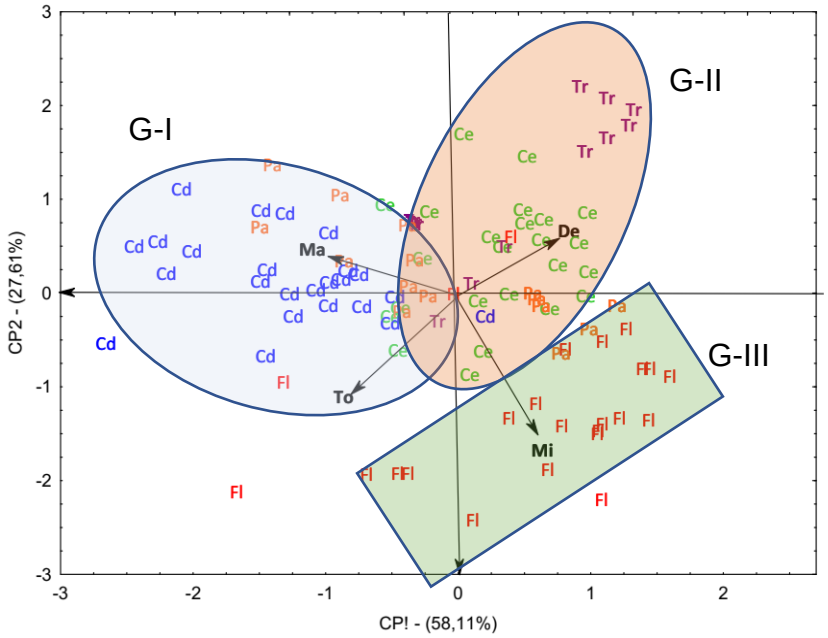

Figura 7 Gráfico biplot dos componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais com todas as observações nas fitofisionomias avaliadas. Cd = cerradão, Ce = cerrado, Tr = transição floresta-cerrado, Fl = Floresta, Pa = pastagem, To = porosidade total, Ma = macroporosidade, Mi= microporosidade e De = densidade do solo.

CONCLUSÕES

Ocorre diferença entre as fitofisionomias com relação aos atributos físicos do solo (porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade) onde cerradão se assemelha a pastagem, cerrado se assemelha a transição e floresta fica isolada dessas outras. A separação das fitofisionomias obtidas pelas análises multivariadas pode possibilitar melhor entendimento das vegetações presentes em cada área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade de solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T., FREITAS, P. S. L., BERIAN, L. O. S., GOTO, R. **Hortaliças fruto** [online]. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, p. 113-162. 2018.

BOGNOLA, I. A. DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físicohídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 5. ed. São Paulo: F. Bastos, 1979. 647 p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução Técnica: LEPSCH, I. F – 3 ed. – Dados eletrônicos. Porto Alegre: Bookman. 2013.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e da cultura. 60 p. Embrapa Milho e Sorgo. 2005.

DE FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DE OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.57, n.3, p. 224-233, 2014.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. 3.ed. 574 p. Brasilia. 2017.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: VAN LIER, Q. J. **Física do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 298 p. 2010.

FREDDI, O. S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 953-961, 2008.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Bookman, 688 p. 2009.

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

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. 262 p., Ceres, São Paulo, 1979.

KOTCHETKOFF-HENRIQUES, O.; JOLY, C. A.; BERNACCI, L. C. Relação entre o solo e a composição florística de remanescentes de vegetação natural

no município de Ribeirão Preto, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 3, p. 541-562, 2005.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução depropriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **CiênciasAgrárias**. v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; CAROLINO DE SÁ, M. A.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 873-882, 2007.

MOREIRA, M. J. C.; VASCONCELOS, T. N. N. **Mato Grosso: solos e paisagens**. Entrelinhas. 272 p. 2007.

MOTA, J. C. A.; ASSIS JUNIOR, R. N.; AMARO FILHO, J.; LIBARDI, P. L. Algumas propriedades físicas de solos na chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.32, n.1, p.49-58, 2008.

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

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 1441-1448, 2009.

REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Rural**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

SANTOS, J. C. B.; SOUZA, JUNIOR, V. S.; CORREA, M. M.; BORGES, L. E. P. Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 683-695, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Embrapa, 2018.

SANTOS, N. G. N.; OLSZEVSKI, N.; SALVIANO, A. M.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. S. Granulometric fractions and physical-hydric behavior of sandy soil. **Revista Agrarian**, v.12, n. 45, p. 3181-327, 2019.

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

SILVA, G. A.; BRITO FILHO, E. G.; CUNHA, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; SALES, M. C. G.; BELLO, O. C.; LIMA, A. F. L.; BARBOSA, J. M. S.; LIMA, J. M. G. Aspectos dos atributos físicos e químicos do solo em ambientes naturais e áreas com sistema agroflorestal no sul do Amazonas. **Scientia Plena**, v. 18, n. 7. 2022.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA** (data analysis software system), version 10. www.statsoft.com. 2011.

TOGNON, A. A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo**. 85 p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. NPCT – Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia. 2 ed. Piracicaba/SP. 2019.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 28, Supplement 1, p. 256-265, 2012.

YEMEFACK, M.; ROSSITER, D. G.; NJOMGANG, R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. **Geoderma**, v. 125, n. 1-2, p. 117-143, 2005.

3.2 CAPÍTULO 2:

ATRÍBUTOS QUÍMICOS E TEOR DE CARBONO DE SOLOS EM DIFERENTES ECOSSISTEMAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi avaliar atributos químicos e teor de carbonos do solo de quatro tipologias vegetais (cerrado típico, cerradão, transição cerrado-floresta e floresta) e uma área de pastagem, localizadas no município de Alta Floresta/MT, região da Amazônia Meridional. O experimento foi realizado à campo nos diferentes ecossistemas adotando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo os tratamentos compostos pelas cinco distintas fitofisionomias: cerradão (Cd), cerrado típico (Ce), transição (Tr), floresta (Fl) e pastagem (Pa), sendo as amostras coletadas nas profundidades 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; e 0,30-0,40m), com seis repetições para cada fitofisionomia e profundidade. Considerando-se a estrutura multivariada contida nos dados, foram empregadas técnicas estatísticas para verificar semelhanças entre as fitofisionomias na tentativa de agrupá-las considerando-se para isso os seus atributos físicos. Realizou-se análise de agrupamento por método hierárquico, usando a distância euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward como estratégia de agrupamento. Para reduzir os erros, devidos às escalas e às unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1. Os atributos químicos e texturais do solo permitiram diferenciar as fitofisionomias. Os solos com vegetação característica de cerrado ou transição floresta-cerrado, apresentam maiores teores de areia, menor pH, maiores teores e saturação por alumínio. A fitofisionomia Floresta está presente em solo com maior fertilidade e maiores teores de argila e silte.

Palavras-chave: atributos químicos do solo, fitofisionomias, análise multivariada.

CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOILS IN DIFFERENT ECOSYSTEMS IN SOUTHERN AMAZON

ABSTRACT

The objective of this chapter was to analyze the carbon content chemical attributes of four plant typologies (typical cerrado, cerradão, cerrado-forest transition, and forest) and one grazing area, located in the town of Alta Floresta/MT, southern Amazon region. The experiment was performed in field in the different ecosystems, applying a fully randomized experimental delineation, with the treatments being composed of the five distinct phytophysionomies: cerradão (Cd), typical cerrado (Ce), transition (Tr), forest (Fl) and grazing (Pa), with the samples being collected at 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; e 0,30-0,40m depths, with six repetitions for each phytophysionomy and depth. Considering the multivariate structure present in the data, technical statistics were applied to verify similarities between the phytophysionomies to group them considering their physical attributes. Grouping analyzes by a hierarchical method was applied, using the Euclidean distance as a measurement of similarities between the records, and the Ward method as a grouping strategy. To decrease errors due to the scale and the variable units, the data was standardized with a zero medium and one variant. The chemical and textural attributes of the soil allowed a differentiation between the phytophysionomies. The soils with a cerrado plant life characteristic, or with the cerrado-forest transition, presented higher content of sand, lower pH, higher content and saturation of aluminum. The phytophysionomy Forest is present in soil with higher fertility and higher content of clay and silt.

Key Words: chemical attributes of the soil, phytophysionomies, multivariate analyses.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande variedade ambiental principalmente por sua grande extensão territorial, e com isso apresenta vastos tipos de solos formados por diferentes tipos de rocha, acarretando grande diversidade de materiais de origem (AB'SÁBER, 1970; PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

O Solo é composto por elementos naturais com partes sólidas, líquidas e gasosas em constante mudança. É composto por materiais orgânicos e inorgânicos, tendo capacidade de sustentar vegetação. O material orgânico é constituído de resíduos vegetais em diferentes estágios de decomposição. O material inorgânico são minerais em vários estágios de intemperismo, sendo considerado como tal quando não cumprir os requisitos exigidos como material orgânico (SANTOS et al., 2018).

Dentre as características de solo, temos os atributos químicos. As características químicas e minerais dos solos amazônicos são muito variadas, principalmente pelo longo e profundo processo de intemperismo (SHAEFER et al., 2017). No processo de formação dos solos ocorre a fertilidade natural, que dependerá do material de origem, do ambiente, de organismos e o do tempo, correspondendo a um solo sem ação antrópica. A fertilidade potencial corresponderá a capacidade real deste solo liberar nutrientes para plantas (GUERRA, 2015; FINKLER et al., 2018).

A fertilidade de solos está relacionada com parâmetros químicos, sendo importante a determinação da concentração de determinadas substâncias que garantirão a nutrição e o desenvolvimento adequado de plantas (FINKLER et al. 2018). Os elementos essenciais para o ótimo desenvolvimento vegetal, além dos presentes nas composições orgânicas (C, O e H), são classificados em macronutrientes e micronutrientes minerais. Considerando a massa seca vegetal, aproximadamente 99,55% são constituídos por compostos orgânicos e macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), enquanto que os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) constituem cerca de 0,03% (DECHEN E NACHTIGALL, 2018).

Os solos amazônicos são considerados deficientes em nutrientes e com baixa disponibilidade de fósforo (LUIZÃO, 2007; MAIA, 2015), além disso, devido

a diversos fatores como material de origem, relevo e clima, apresentam acidez elevada, alta saturação por Alumínio (Al), baixa capacidade de troca de cátions (CTC), deficiências em macro e micronutrientes (VALE JUNIOR et al., 2011). A baixa fertilidade dos solos da Amazônia é suprida pela ciclagem de nutrientes oriundos da própria floresta, e que, caso ocorra uma interrupção neste sistema, como a retirada da vegetação nativa, os nutrientes presentes nos solos são rapidamente exauridos (CUNHA et al., 2009; MOLINE E COUTINHO, 2015).

São observados na Amazônia solos que apresentam intemperismo em grau elevado acarretando em menor fertilidade e maior acidez (SOUSA et al., 2020) apresentando tipos variados de solo, sendo necessário pesquisas nesta área de conhecimento, corroborando na disseminação de informações relevantes desta região, com intuito de torná-las menos genéricas e mais detalhadas (NUNES et al., 2012).

Dentro deste contexto, o objetivo deste capítulo é avaliar atributos químicos e teor de carbono do solo de quatro fitofisionomias e uma área de pastagem na Amazônia Meridional, localizadas no município de Alta Floresta/MT.

MATERIAS E MÉTODOS

Área de estudo

O experimento foi realizado à campo em quatro diferentes fitofisionomias e uma área de pastagem, no município de Alta Floresta/MT, nas seguintes coordenadas geográficas e altitudes: cerrado típico 10º21’48” latitude Sul e 56º49’02” longitude Oeste, 368 m acima do nível do mar; cerradão 10º21’05” latitude Sul e 56º49’02” longitude Oeste, 415 m acima do nível do mar; transição cerrado-floresta 10º19’51” latitude Sul e 56º27’48” longitude Oeste, 295 m acima do nível do mar; pastagem 10º19’58” latitude Sul e 56º27’48” longitude Oeste, 296m acima do nível do mar; e floresta 9º54’18” latitude Sul e 56º18’04” longitude Oeste, 259 acima do nível do mar (Figura 1).

A região apresenta clima tropical chuvoso de floresta, tipo Am segundo a classificação de Köppen, com períodos curtos de seca e prolongados de chuva,

temperaturas entre 25 e 27 °C e a média para precipitação é de 2.243 mm (ALVARES et al., 2014). Conforme Moreira e Vasconcelos (2007), a vegetação é predominada por Floresta Ombrófila, com encraves de Cerrado e áreas de contato da Floresta Ombrófila/Floresta Estacional.

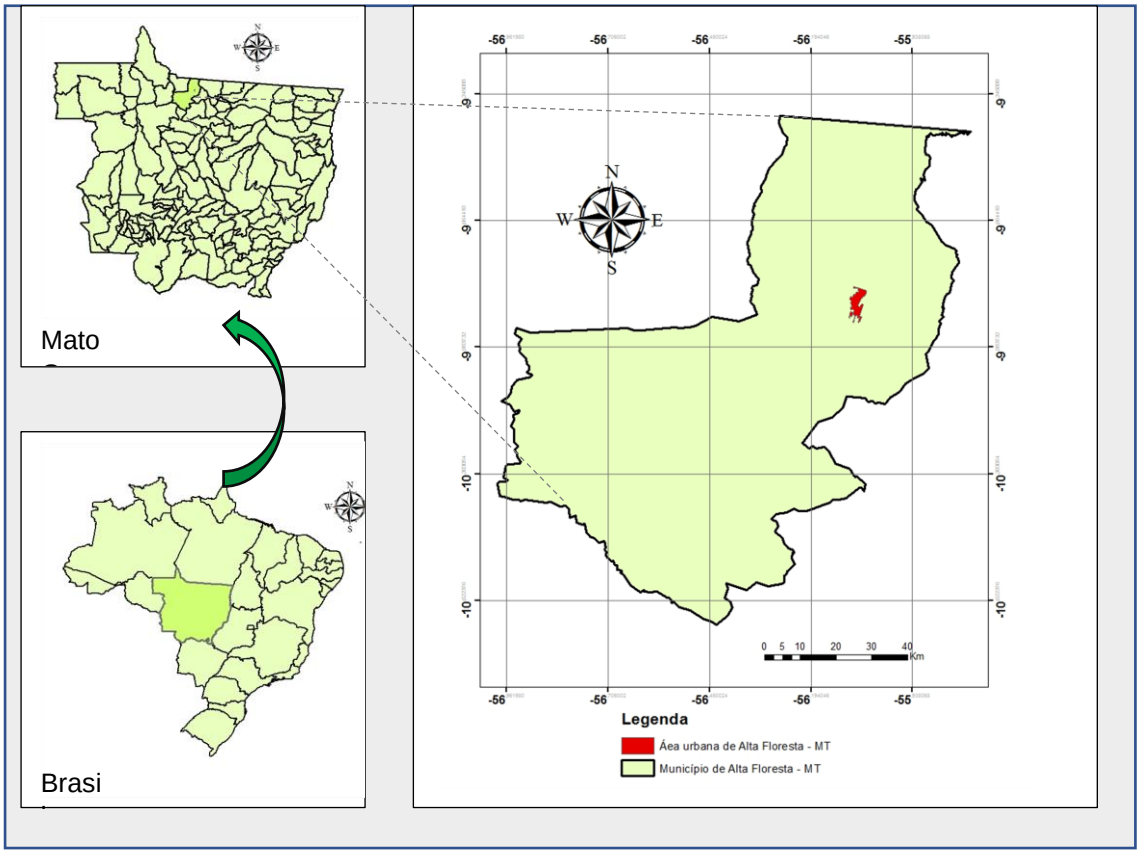

Fig. 1 Mapa com a localização do estado de Mato Grosso e o município de Alta Floresta em relação ao Brasil.

Conforme Santos et al. (2018), os solos apresentam as seguintes classificações: cerradão e cerrado típico é classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, transição cerrado-floresta e pastagem em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico e a floresta ombrófila aberta em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico. O relevo de todas as fitofisionomias foi caracterizado como moderadamente plano.

As diferentes áreas de cerradão, cerrado típico, transição cerrado-floresta e floresta ombrófila aberta, trata-se de áreas com vegetação nativa típica de cada fitofisionomia. A área de pastagem tem como histórico: abertura da área no ano de 2010 com a implantação de pastagem da forrageira *Urochloa brizantha* cv Marandu, onde foi realizado o preparo do solo com o uso de grade e não havendo a realização de adubação e calagem. E no ano de 2018, foi

realizada uma nova gradagem da área para eliminação de plantas daninhas e nova semeadura da forrageira supracitada.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos considerados as cinco distintas fitofisionomias: cerradão (Cd), cerrado (Ce), transição (Tr), floresta (Fl) e pastagem (Pa), sendo as amostras coletadas nas profundidades 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; e 0,30-0,40m), com seis repetições para cada fitofisionomia e profundidade.

Para cada fitofisionomia e profundidade objetivou-se a determinação das características químicas do solo e teor de carbono, sendo coletadas em cada profundidade utilizando-se sacos plásticos e posteriormente encaminhados ao laboratório para realização das análises.

Análises laboratoriais

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, maceradas em almofariz de ágata e passadas em peneira de 2 mm de malha.

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos e Análise Foliar (LASAF) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Alta Floresta, utilizando-se a metodologia da Embrapa (2017), afim de verificar acidez, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, areia, silte, argila e matéria orgânica.

Para verificar de teor de carbono, as analise foram realizada no laboratório na Embrapa Sinop em analisador CHNS Elementar (modelo vario MACRO cube CHNS, Elementar, Hanau/Alemanha).

As amostras previamente preparadas como citado anteriormente, foram colocadas em folhas de estanho e pesados aproximadamente 50 mg de solo para cada sub-amostra. As folhas foram então dobradas de forma a circundar todo o material e em seguida transferidas para a plataforma de recebimento. No aparelho, as amostras foram aquecidas a 1000ºC, provocando a volatilização (queima total) dos compostos carbônicos e nitrogenados presentes nos solos.

Uma vez na forma gasosa, a separação foi realizada pelo sistema TPD (dessorção programada por temperatura) e a detecção dos gases foi realizada pelo sensor TCD (detector de condutividade térmica).

Análises estatísticas

Considerando-se a estrutura multivariada contida nos dados, foram empregadas técnicas estatísticas para verificar semelhanças entre as fitofisionomias, na busca por agrupá-las, adotando-se os seus atributos químico e teor de carbono.

Realizou-se análise de agrupamento por método hierárquico, usando a distância euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward como estratégia de agrupamento. Para reduzir os erros, devidos às escalas e às unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1. O dendrograma obtido pela análise de agrupamento apresenta, no eixo vertical, o nível de similaridade e no eixo horizontal, as fitofisionomias, formando as classes homogêneas.

Para determinar quantos componentes devem ser excluídas da análise, foram determinados os autovalores e o gráfico de *scree-plot*, que é um gráfico dos autovalores em função da ordem dos componentes principais, representando graficamente a porcentagem de variância explicada por cada atributo. Quando esta porcentagem se reduz e a curva passa a ser quase paralela ao eixo das abscissas, as componentes correspondentes podem ser excluídas.

A análise de agrupamento foi complementada com a de componentes principais, para obter um conjunto menor de combinações lineares das variáveis que preservasse a maior parte da informação fornecida pelas variáveis originais (SILVA et al., 2010). A análise de componentes principais permite condensar a maior quantidade da informação original contida em p variáveis (p = 4, neste estudo) em duas variáveis latentes ortogonais denominadas componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (HAIR JUNIOR et al., 2009).

Desta forma, o conjunto inicial de quatro variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes, o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais). A adequação desta análise é verificada pela quantidade da informação total das variáveis originais retida pelos componentes principais que

mostram autovalores superiores à unidade (KAISER, 1958). Autovalores inferiores à unidade não dispõem de informação relevante.

Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas no software STATISTICA versão 7.0 (STATSOFT, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dendrograma, obtido da matriz de dados padronizados, pela análise de agrupamento objetivando avaliar a semelhança das áreas de estudo pode ser observado na Figura 2. A divisão dos grupos ocorre quando se obtém variação expressiva nos valores da distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto de variáveis consideradas. Foi realizada a seleção apropriada das variáveis originais sendo selecionados pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, areia, silte, argila, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, soma de bases, saturação por bases e saturação por alumínio.

A interpretação do dendrograma, onde se considerou um valor de 15 para o coeficiente de distância, possibilitou a identificar 2 grupos (Grupo I e Grupo II) de fitofisionomias mais próximas entre si. As delimitações foram estabelecidas com base na análise visual da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas (Figura 3), na qual foram avaliados os pontos de alta mudança de nível (CRUZ e REGAZZI, 2001; MANLY 2008).

Nota-se que no grupo I teve como representante única a fitofisionomia floresta, enquanto o grupo II foi formado pelo restante das fitofisionomias (transição, cerrado, cerradão e pastagem), sendo que a ocorrência de mais uma fitofisionomia no mesmo grupo indica que estas possuem atributos similares. Assim a área de Floresta se distância das demais fitofisionomias com relação as variáveis consideradas na análise, mostrando assim particularidades e semelhanças de cada fitofisionomia, pois as características dos atributos de um mesmo grupo são semelhantes e diferentes do comportamento de outros agrupamentos (VALLADARES, et al., 2008).

Considerando que no presente estudo as determinações foram realizadas nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de profundidade e ocorreu a formação de grupos distintos das fitofisionomias, concorda com Fadigas et al. (2002), onde este indica coerência de utilizar os atributos do solo

para a separação de grupos sem se considerar o horizonte de cada amostra ao longo do perfil.

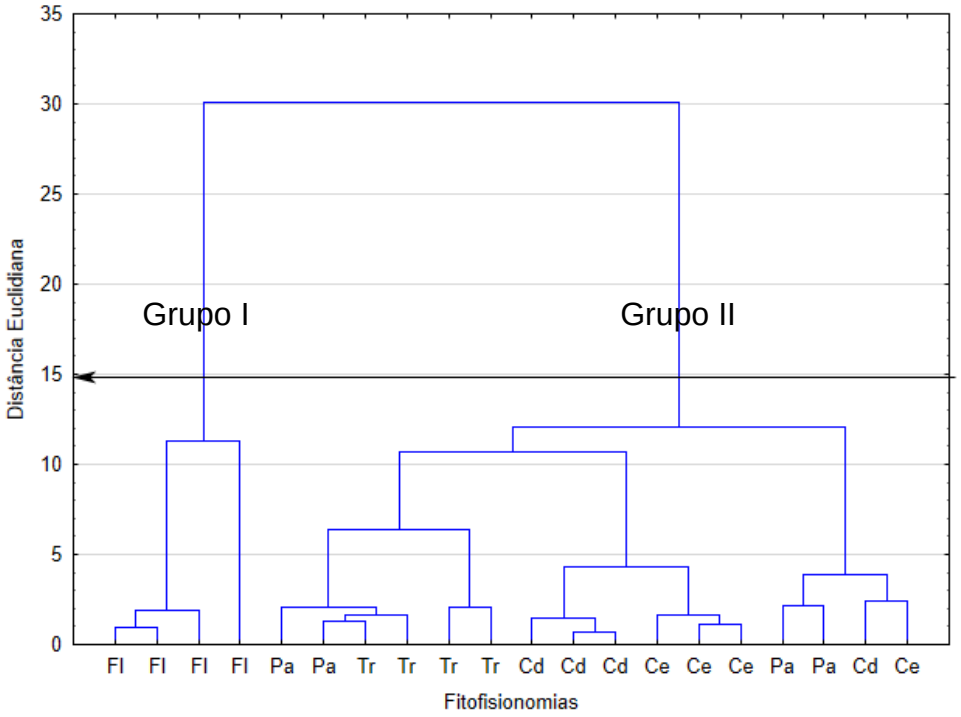

Fig. 2 Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico mostrando a formação de dois grupos para fitofisionomias avaliadas, segundo os atributos químicos do solo estudados.

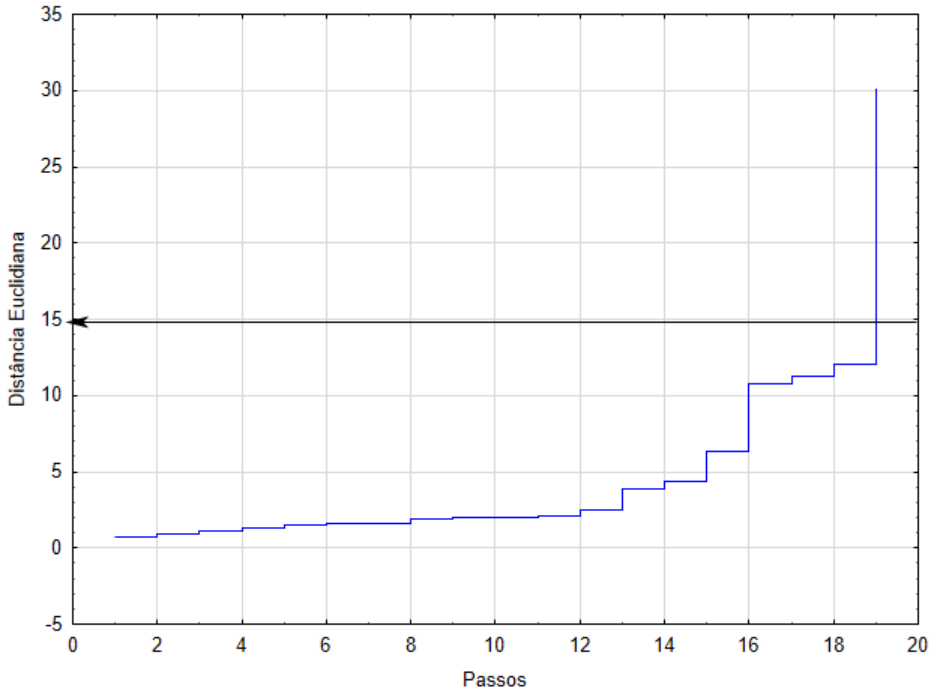

Fig. 3 Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas que permitiu a separação de grupos.

Considerando o dendrograma (Figura 2) e a variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis (Figura 3) e o número de grupos igual a

dois, aplicou-se o método de agrupamentos k-means para a confirmação da ordenação obtida na análise de agrupamentos hierárquica (Figura 4). O Grupo I formado pela fitofisionomia floresta a qual possui maior pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, silte, argila, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, soma da base e saturação por bases e menor teores de alumínio, areia e saturação por alumínio em relação ao Grupo II (transição, cerrado, cerradão e pastagem), indicando que as fitofisionomias do Grupo II possuem menor fertilidade natural dos solos. Barros et al. (2020) em estudo da geologia e fertilidade do solo em fitofisionomias e estrutura da vegetação na bacia do Parnaíba/PI, verificaram que solos com textura arenosa e baixa fertilidade, como os Neossolos quartzarênicos e Argisolos, estabeleceram estreita relação respectivamente com áreas de cerrado sensu stricto e Capões de mata, concordando com os resultados observados no presente trabalho.

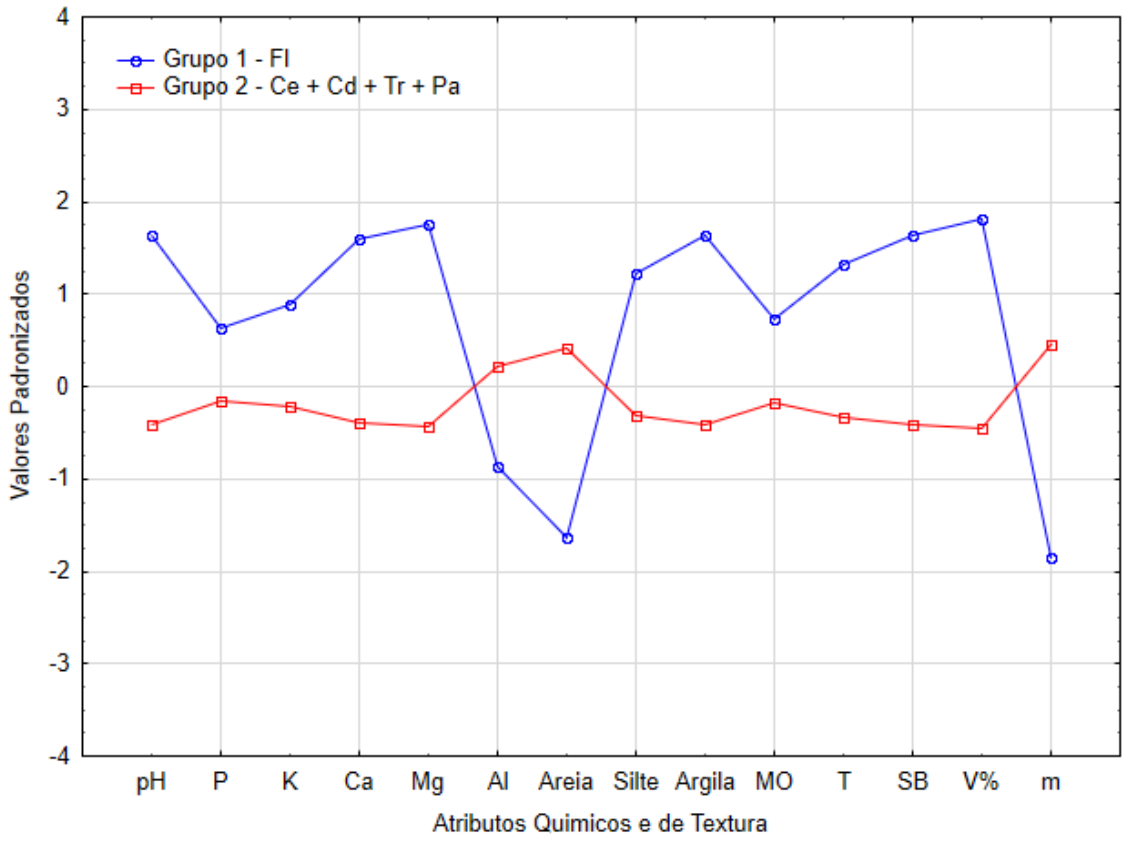

Fig. 4 Médias padronizadas dos atributos físicos do solo em diferentes fitofisionomias, de acordo com a análise de agrupamento não hierárquico *k-means*.

Para determinação do número de componentes principais se utilizou o critério do gráfico de declive ou *scree plot* (Figura 5). O gráfico *scree plot* que por definição aceita que se os fatores na forma gráfica que apresentam grande diferença serão capazes de explicar grande parcela da variância das p-variáveis dos atributos do solo, tal que quando essa diferença se torna pequena, uma suavização da curva, este ponto determina o número de fatores a serem estudados (SOARES, et al., 2020), sendo no presente trabalho encontrado o número de 3 fatores ou componentes principais.

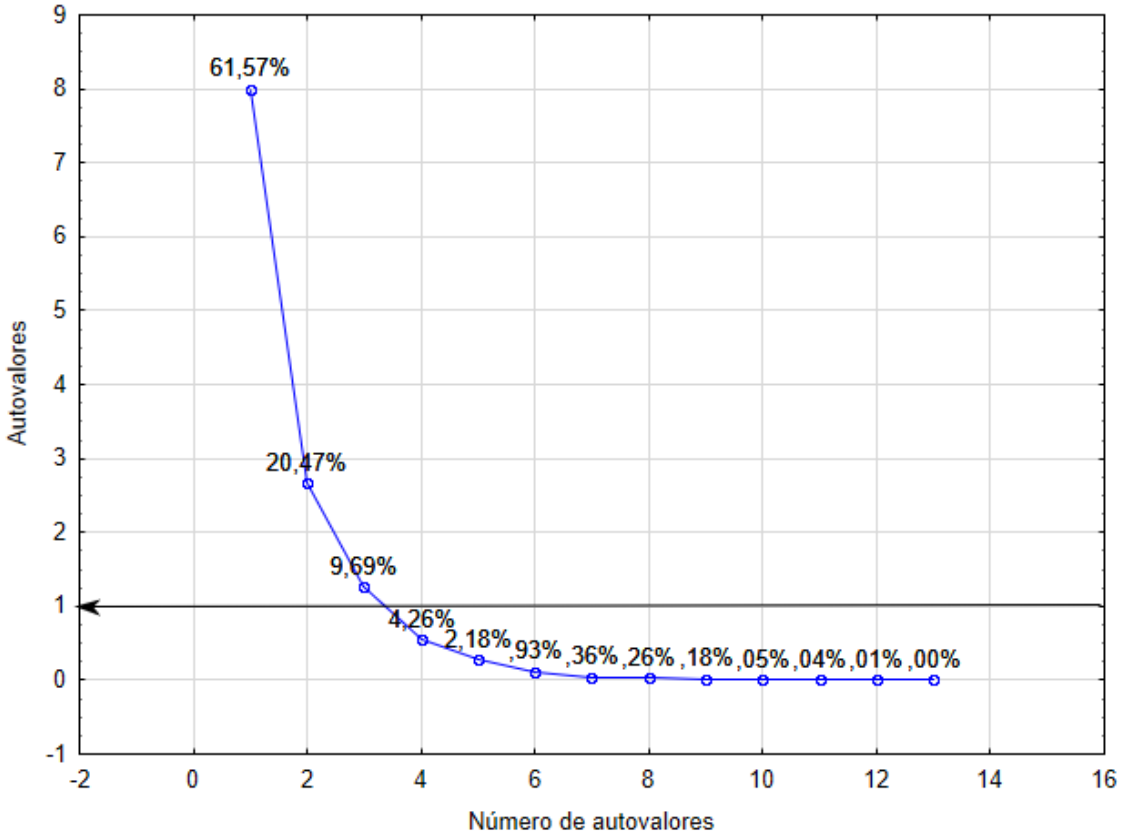

Fig. 5 *Scree plot* da análise de componentes principais, indicando os autovalores maiores que a unidade, utilizados para a interpretação dos resultados.

Assim, são necessárias três componentes principais para explicar a variância total, devido estas apresentarem elevados autovalores 8,00 CP1, 2,66 CP2 e 1,25 CP3 (Tabela 1). Os valores da correlação (autovetor) dos atributos do solo com as CPs (Tabela 1) podem ser considerados como uma medida de relativa importância de cada variável (atributos químicos do solo) em relação às

componentes principais, sendo os sinais, positivos ou negativos, indicações de relações diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente. A componente principal 1 (CP – 1) apresentou um autovalor que explica 61,57% da variância e as componentes principais 2 e 3 (CP – 2 e CP – 3) apresentaram autovalores que explicam respectivamente 20,47 e 9,68% da variação, significando que de toda a variação dos dados levantados as variáveis explicam juntas 91,73% da variação.

Os coeficientes dos atributos ou seus pesos acima de 0,5, independentemente de positivos ou negativos, foram destacados, pois para Coelho (2003), a classificação dos autovetores segue o seguinte: valor absoluto < 0,30, classificado como pouco significativo; 0,30–0,40, considerado medianamente significativo; e ≥ 0,50, tido como altamente significativo. (Tabela 1). Segundo Freitas et al. (2014) os pesos entre as variáveis e as componentes principais permitem caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação e diferenciação nas fitofisionomias, o que no presente trabalho pode ser observado na Tabela 1. Na componente principal 1 (CP – 1) os atributos pH, P, K, Mg, Ca, Silte, Argila, MO, V%, T, Areia e m% tiveram a maior contribuição, sendo a maior contribuição do Mg (Tabela 1). Para a componente principal 2 (CP – 2) a maior contribuição foi de MO, seguido de P, Argila e Areia e para a componente principal 3 (CP - 3) os atributos que mais contribuíram foram Al e Silte.

Tab. 1 Autovalores, quantidade de variância explicada, coeficientes de correlação, autovetores contribuição de cada atributo químico do solo das diferentes fitofisionomias solo nos três primeiros componentes principais.

Componentes	**CP - 1**	**CP – 2**	**CP – 3**
Autovalor	8,00	2,66	1,25
Variância Explicada (%)	61,57	20,47	9,68
Variância Acumulada (%)	61,57	82.04	91,73
Correlação (autovetor)			
pH	**-0,86 (7,65%)**	-0,29 (5,00%)	-0,19 (3,17%)
P	**-0,57 (4,14%)**	**0,76 (14,55%)**	0,19 (1,27%)
K	**-0,74 (6,37%)**	0,48 (5,21%)	0,27 (4,10%)
Mg	**-0,97 (10,57%)**	0,07 (0,00%)	-0,13 (1,43%)
Ca	**-0,95 (10,11%)**	0,14 (0,07%)	-0,15 (2,31%)
Al	0,42 (1,83%)	0,34 (4,25%)	**0,80 (45,99%)**
Areia	**0,77 (5,93%)**	**0,55 (9,27%)**	-0,22 (6,40%)
Silte	**-0,66 (4,40%)**	-0,38 (5,27%)	**0,57 (26,50%)**
Argila	**-0,75 (5,65%)**	**-0,56 (9,30%)**	0,12 (3,03%)

MO	**-0,54 (3,84%)**	**0,75 (17,75%)**	-0,19 (2,60%)
V%	-**0,96 (9,87%)**	-0,19 ((2,27%)	0 ,03 (0,08%)
T	**-0,80 (7,75%)**	0,49 (7,75%)	0,02 (0,00%)
m%	**0,95 (9,89%)**	0,14 (1,05%)	0,08 (0,16%)
Interpretação	pH, P, K, Mg, Ca, Silte, Argila, MO, V% e CTC em contraste com Areia e m	P e Areia em contraste com Argila	Al em contraste com Silte

Obs.: pH (potencial hidrogeniônico), P (fósforo), K (potássio), Mg (magnésio), Ca (cálcio), Al (alumínio), Areia (fração areia), Silte (fração silte), Argila (fração argila), MO (matéria orgânica), V% (saturação por bases), CTC (capacidade de troca catiônica) e m% (saturação do alumínio).

Analisando o gráfico biplot (Figura 6) se percebe claramente a separação das fitofisionomias em dois grupos, como já visto no Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (Figura 1), no entanto, agora se consegue visualizar os principais atributos químicos do solo que proporcionaram a separação. A fitofisionomia Floresta se relacionou com P, MO, K, T, Ca, Mg, V%, pH, Silte e Argila e as outras fitofisionomias (Transição, Pastagem, Cerrado e Cerradão) se relacionaram com Areia, Al e m%. Observa-se comportamento antagônico entre os atributos V%. pH, Silte e Argila com Areia, Al e m%, o que segundo Vasconcelos et al. (2016), evidencia a relação indireta entre elas.

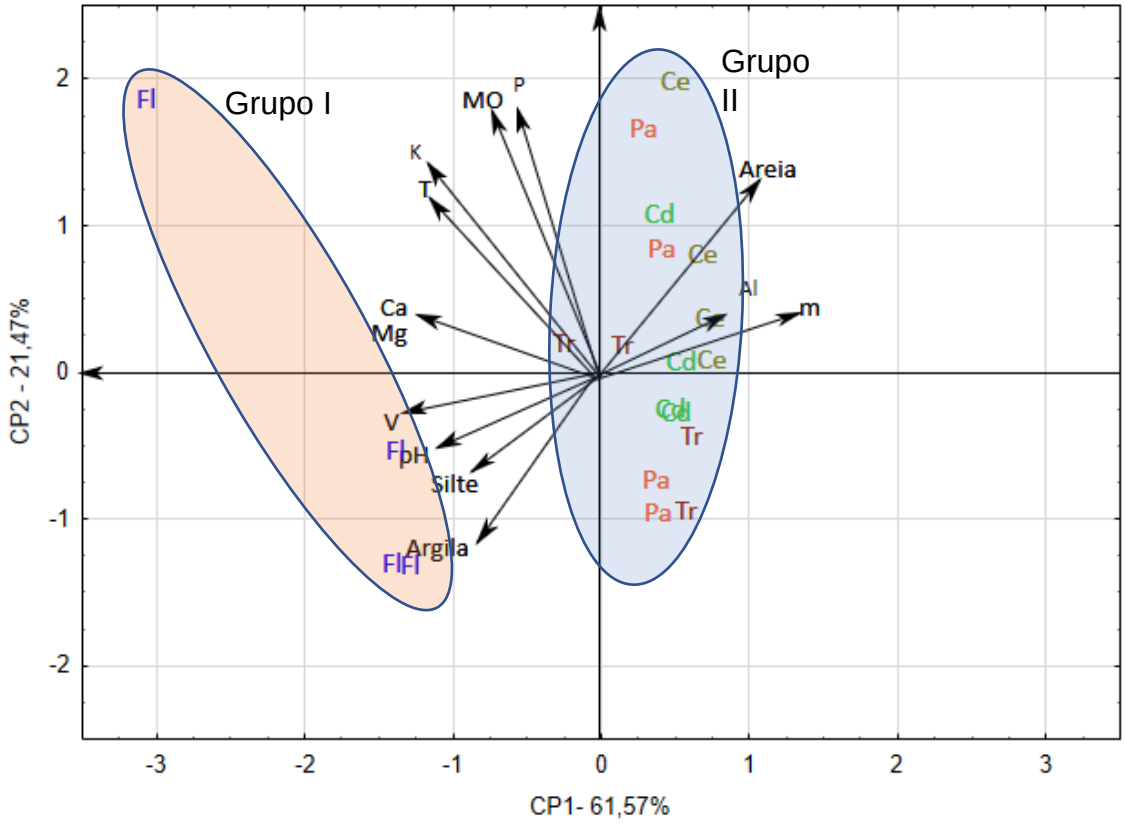

Fig. 6 Gráfico biplot dos componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais com todas as observações nas fitofisionomias avaliadas. Cd = cerradão, Ce = cerrado, Tr = transição floresta-cerrado, Fl = Floresta, Pa = pastagem, pH (potencial hidrogeniônico), P (fósforo), K (potássio), Mg (magnésio), Ca (cálcio), Al (alumínio), Areia (fração areia), Silte (fração silte), Argila (fração argila), MO (matéria orgânica), V% (saturação por bases), T (capacidade de troca catiônica) e m% (saturação por alumínio).

Barros et al. (2020) comentam quando submetidas a um mesmo domínio climático, as diferenças entre as fitofisionomias podem ser correlacionadas às características locais como solo, geomorfologia, oscilações do lençol freático, presença de crosta ferruginosa e umidade, e que os resultados das análises químicas do solo evidenciaram uma baixa fertilidade e acidez para os solos sob as fisionomias da região, principalmente aquelas que apresentavam vegetação de cerrado, concordando com o presente trabalho.

Ainda, corroborando com o presente trabalho, Mello et al. (2015) também possível tiveram a separação das fitofisionomias do Pantanal Norte Mato-Grossense em função dos atributos químicos do solo, onde no estudo destes se formaram três grupos, sendo que um grupo apresentou a textura mais argilosa e elevados teores de matéria orgânica reserva de nutrientes mais elevados, outro grupo de características intermediárias e o terceiro grupo caracterizado por

apresentar textura mais arenosa e com limitação a que se refere a disponibilidade de nutrientes. A importância da granulometria do solo para a constituição de diferentes fitofisionomias também foi observada por Giácomo et al. (2015) onde estes autores verificaram que a área com Cerrado sensu stricto apresentou menores teores de argila e maiores teores de areia em relação às fitofisionomias mata mesofítica e Cerradão. Estes autores também comentam que os solos mais argilosos são capazes de maior retenção de água e assim atender mais adequadamente à demanda hídrica de uma vegetação de maior porte, como também observado no presente trabalho.

Carvalho et al. (2012) e Valladares et al. (2008) comentam que a formação de grupos distintos na análise de componentes principais só é possível devido a consistência entre as variáveis envolvidas.

A exceção da área de Pastagem que não apresentou diferença entre os teores de carbono entre as diferentes profundidades, as demais (Floresta, Cerradão, Cerrado e Transição) tiveram o maior teor de carbono na profundidade de 0-0,10 m (Tabela 2). Entre as fitofisionomias ocorreu diferença entre as mesmas somente na profundidade 0-0,10 m onde a área de floresta apresentou o maior teor de carbono. Giácomo et al. (2015) comentam que os maiores teores de carbono estão relacionados com o aporte de serapilheira e à quantidade de nutrientes aportados nessa área e também ao maior teor de areia presente na área do Cerrado sensu stricto. Neste mesmo sentido, Alcântara Neto et al. (2011), ao avaliarem diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado, verificaram que a área de Cerradão apresentou maior teor de C em relação a uma área de Cerrado sensu stricto e isso ocorreu devido a maior diversidade de plantas e densidade de espécies arbóreas, o que resulta em maior aporte de resíduos vegetais no solo.

Segundo Zinn et al. (2005) variações do teor de argila no solo promovem diferenciação na dinâmica do C do solo, uma vez que a argila e a areia têm capacidades de adsorção muito distintas. Skorupa et al. (2012) em estudo sobre a textura do solo em fragmentos de cerrado e florestas nativas também verificaram correlação entre o teor de argila e os teores de carbono orgânico do solo e comentam que as fitofisionomias que estavam em solos menos argilosos apresentaram menores teores de carbono em comparação às fitofisionomias localizadas em solos mais argilosos.

Em relação ao estoque de nitrogênio do solo, nas fitofisionomias floresta, transição, cerradão e cerrado a maior média foi observada na primeira profundidade e na área de pastagem não foi observada diferença entre as profundidades estudadas. Carvalho et al. (2017) em estudo sobre o estoque de carbono e nitrogênio na Estação Ecológica de Piratinga/MG, verificaram que independentemente da fitofisionomia avaliada, que ocorrem reduções no estoque de N em profundidade e isso se deve ao menor aporte de matéria orgânica nessas camadas e que isso é comum de ocorrer. A área com floresta apresentou o maior estoque de nitrogênio em todas as profundidades, sendo que apenas na profundidade de 0,20-0,30 m não diferiu da área de transição. A ocorrência de semelhança entre fitofisionomias, segundo Cardoso (2006) ocorre quando o porte da vegetação é semelhante e ao aporte de N via folhas e serapilheira.

Giácomo et al. (2015) observaram que ao contrário do que ocorreu em relação ao estoque de C, onde os maiores valores foram observados nas áreas de mata mesofitica e cerradão, os estoques de nitrogênio foram significativamente maiores na área de cerrado sensu stricto e comentam que esse padrão é um reflexo do maior teor de nitrogênio e da maior densidade dos solos presentes na área de cerrado sensu stricto, o que provavelmente é decorrente da maior riqueza de espécies nessa área. No presente trabalho as áreas mais arenosas e com menor densidade também apresentaram os menores estoques de N.

Tab. 2 Estoque de carbono e de nitrogênio nas diferentes profundidades de cada fitofisionomias.

	Profundidades (m)			
Fitofisionomias	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40
	Estoque de Carbono (Mg ha^{-1})			
Floresta	31,44 a A	16,13 a B	12,59 a B	11,55 a B
Transição	21,92 b A	14,23 a B	13,16 a B	8,65 a B
Cerradão	18,97 b A	12,30 a B	11,34 a B	10,97 a B
Cerrado	15,08 c A	9,75 a B	6,73 a B	5,56 a B
Pastagem	15,55 c A	13,16 a A	11,68 a A	8,33 a A
	Estoque de N (Mg ha^{-1})			

Floresta	3,09 a A	1,64 a B	1,23 a C	1,14 a C
Transição	1,54 b A	1,05 b B	0,97 a B	0,65 b C
Cerradão	1,11 c A	0,62 c B	0,55 b B	0,52 b B
Cerrado	0,69 d A	0,42 c A	0,38 b A	0,31 b A
Pastagem	1,18 c A	1,06 b A	0,88 a B	0,64 b B

Obs. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Scott Knott.

Na Tabela 3 estão apresentados os estoques de C e de N nas diferentes fitofisionomias considerando toda a profundidade estudada (0-0,40 m). Em relação ao estoque de C não ocorre diferença entre as fitofisionomias floresta e transição, fato que ocorre devido a essas duas fitofisionomias apresentarem as vegetações de maior porte e também menores teores de areia, conforme já comentado anteriormente. Para o estoque de N a floresta foi superior as demais, indicando que se trata de uma com maior capacidade de retenção de água e fornecimento de nutrientes para atender mais adequadamente à demanda da vegetação de maior porte, como também observado por Giácomo et al. (2015).

Carvalho et al. (2017) indicam que até a profundidade de 0,40 m a origem do C está associada a contribuição de resíduos vegetais derivados principalmente de espécies arbóreas, corroborando para justificar os resultados observados na presente pesquisa.

Tab. 3 Estoque de carbono e nitrogênio na profundidade de 0 – 0,40 m de cada fitofisionomia.

	Estoque de Carbono (Mg ha^{-1})	Estoque de N (Mg ha^{-1})
Floresta	71,7 a	7,09 a
Transição	57,9 a	4,20 b
Cerradão	53,6 b	2,80 c
Cerrado	37,1 b	1,81 c
Pastagem	48,7 b	3,76 b

Obs. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Scott Knott.

A correlação de Pearson entre os atributos químicos, texturais e estoque de carbono e nitrogênio estão apresentados na Figura 7. O potencial hidrogênio iônico (pH) se correlacionou positivamente e significativamente com Ca, Mg, silte, argila, capacidade de troca catiônica (T), soma de bases, saturação por bases e estoque de carbono e de nitrogênio e negativamente com alumínio, areia e saturação por alumínio.

Fósforo (P) se correlacionou positivamente com K, Ca, Mg, H + Al, matéria orgânica, T e SB (soma de bases). Potássio (K) se correlacionou com Ca, Mg, H + Al, silte, MO, T, SB e V% e negativamente com m%. Cálcio (Ca) se correlacionou positivamente com Mg, silte, argila, MO, T, SB, V% e estoque de N e negativamente com Al, areia e m%. Magnésio (Mg) se correlacionou positivamente com silte, argila, MO, T, SB, V%, estoque de C e estoque de N e negativamente com Al, areia e m%. Alumínio se correlacionou positivamente com m%. Hidrogênio + Alumínio se correlacionou positivamente com MO e T.

Areia se correlacionou positivamente com m% e negativamente com SB, V%, estoque de C e estoque de N. Silte se correlacionou positivamente com areia, SB, V%, estoque de C e estoque de N e negativamente com m%. Argila se correlacionou positivamente com SB, V%, estoque de C e estoque de N. Matéria orgânica (MO) se correlacionou positivamente com T e SB e negativamente com m%.

A capacidade de troca catiônica (T) se correlacionou positivamente com SB e V% e negativamente com m%. Soma de bases (SB) se correlacionou positivamente com V% e estoque de N e negativamente com m%. Saturação por bases se correlacionou positivamente com estoque de C e estoque de N e negativamente com m%. Saturação por alumínio se correlacionou negativamente com estoque de C e estoque de N. Estoque de C se correlacionou positivamente com estoque de N.

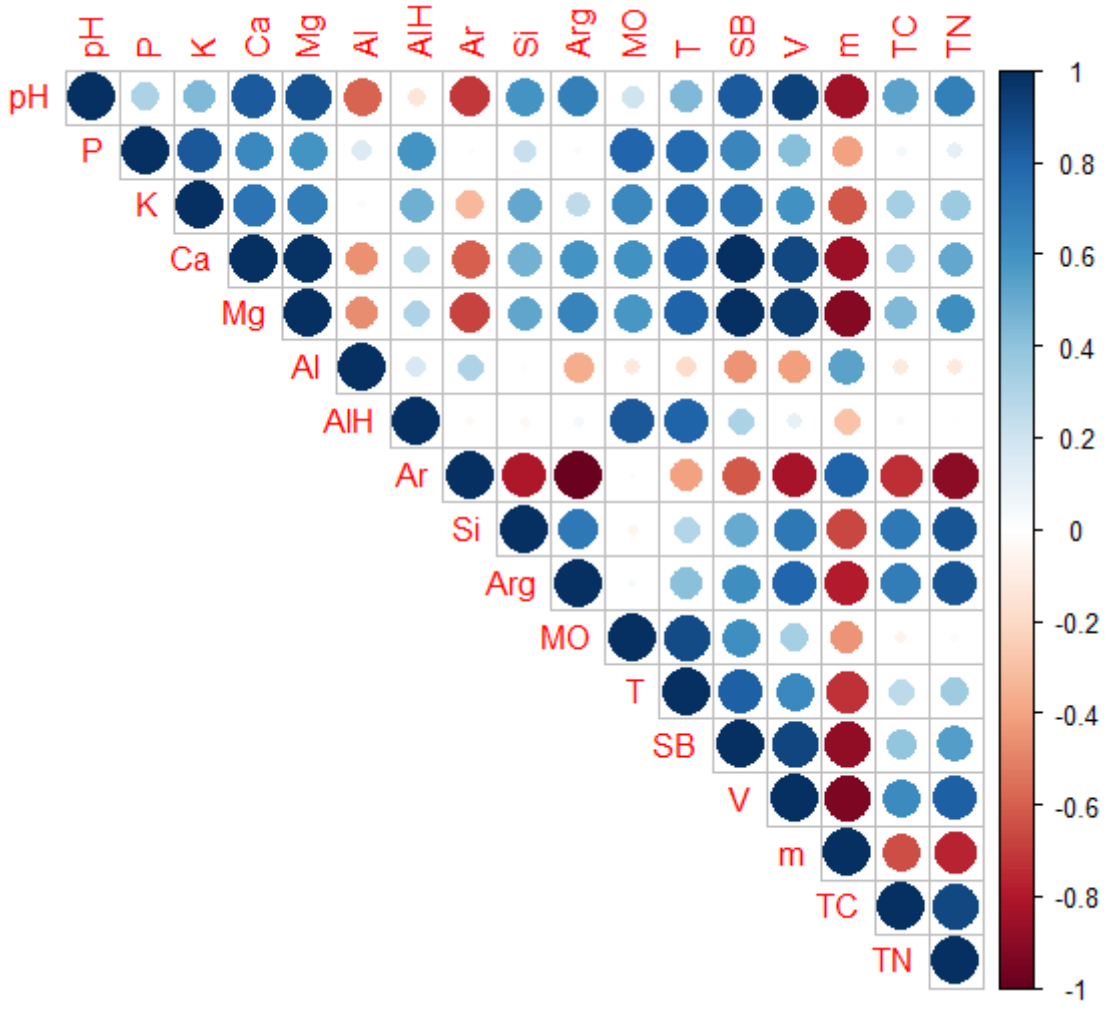

Fig. 7 Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas para características químicas, texturais e estoque de carbono e nitrogênio em diferentes fitofisionomias.

Segundo Dick e Schumacher (2015) compreender a relação existente entre o solo e os ecossistemas é um subsídio imprescindível na tomada de decisão quanto ao manejo silvicultural e/ou estratégias de recuperação/restauração das mais diversas áreas. Para Schaefer et al. (2012) o solo é um indicativo da tipologia vegetal ocorrente em uma determinada área. Já para Jenny (1941) a vegetação existente em determinado local determinará, também a composição do solo, influenciando principalmente no processo de transformação deste em função da matéria orgânica proveniente da decomposição da serapilheira acumulada no solo.

Arruda et al. (2015) comentam em seu trabalho que os solos de savana do Brasil Central, presente nas geoformas de topos, como os do presente

trabalho, são antigos, lixiviados, ricos em Al e pobres em nutrientes. Essa condição edáfica restringe o estabelecimento de outras formações não adaptadas à escassez dos recursos. Os mesmos autores comentam ainda com base na literatura que nesses ambientes, somente as vegetações de cerrado conseguem tolerar a baixa disponibilidade de nutrientes, definida por xeromorfismo oligotrófico, potencializado pelo elevado teor de Al, definido por oligotrofismo aluminotóxico.

Assim, com base nos resultados obtidos no presente trabalho também se confirma a influência da fertilidade e textura do solo sobre a vegetação existente em cada fitofisionomia o que interfere também no estoque de carbono e de nitrogênio.

CONCLUSÃO

Os atributos químicos e texturais do solo permitiram diferenciar as fitofisionomias.

Os solos com vegetação característica de cerrado ou transição floresta-cerrado, apresentam maiores teores de areia, menor pH, maiores teores e saturação por alumínio.

A fitofisionomia Floresta está presente em solo com maior fertilidade e maiores teores de argila e silte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. **Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil**. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1970.

ALCÂNTARA NETO, F.; LEITE, L. F. C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G. A.; CANEIRO, F. V. Compartimentos de carbono em latossolo vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 35, p. 849-856, 2011.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

ARRUDA, D. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MORAES, M. L. B. Relações entre Atributos do Solo e Vegetações da Região Ecotonal do Médio Rio São Francisco, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1524-1532, 2015.

BARROS, J. S.; HARIDASAN, M.; FARIAS, R. R. S.; MENDES, M. R. A.; CASTRO, A. A. J. F.; SOUSA, S. R.; LOPES, R. N. Influência da geologia e fertilidade do solo nas fitofisionomias e estrutura da vegetação em área de transição edafoclimática da bacia do Parnaíba-Piauí, nordeste do Brasil. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v.1, n.1, p.6-19, 2020.

CARDOSO, E. Dinâmica de nutrientes em fitofisionomias do domínio dos cerrados na Estação Ecológica de Panga, Região do Triângulo Mineiro. **Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília**, 2006.

CARVALHO, M. B. Regime freático e atributos do solo associados a gradiente fisionômico de floresta ripária em área de cerrado em Campinas, SP. **Dissertação de Mestrado, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas**, 2012.

CARVALHO, D. C.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; MARANHÃO, D. D. C. Estoque de carbono e nitrogênio e abundância de δ13C na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. **Floresta e Ambiente**, v.24, e20150092, 2017.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. M.; SANTOS,, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the brazilian amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 85-93, 2009

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 390 p. Viçosa: UFV, 2001.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R; Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. p. 03-07. In: FERNANDES, M. S.; SANTOS, L. A., editores. **Nutrição mineral de plantas**. 2 ed. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa/MG. 2018.

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, v.6, p. 151-159, 2002.

FINKLER, R.; PEDROSO, R. M.; STEIN, R. T.; LAZZARINI, P. R. C. **Ciências do solo e fertilidade**. Recurso eletrônico. Porto Alegre: SAGAH. 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@ambiente On-line**, v.8, n.2, p.155-164, 2014.

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

GUERRA, W. E. X. **Fertilidade do solo**. Comunicado técnico, Universidade do Oeste Paulista, n. 1, 2015.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Bookman, 688 p. 2009.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. A System of Quantitative Pedology. New York: McGraw-Hill. 281 p. 1941.

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

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**. v. 59, n.3, p. 31-36, São Paulo, 2007.

MAIA, M. R. S. A. Avaliação dos solos Amazônicos: integração de dados multifontes para caracterização das condições edáficas. **Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas, Manaus**, 2015.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados**. 5. ed. 600 p. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MELLO, J. M.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; CHIG, L. A.; JOHNSON, M. S.; LOBO, F. A. Dinâmica dos atributos físico-químicos e variação sazonal dos estoques de carbono no sol em diferentes fitofisionomias do pantanal norte Mato-Grossense. **Revista Árvore**, v.39, n.2, p.325-336, 2015.

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

MOREIRA, M. J. C.; VASCONCELOS, T. N. N. **Mato Grosso: solos e paisagens**. Entrelinhas. 272 p. 2007.

NUNES, J. G.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, F. P.; NUNES, J. C. Tolerância de perda de solo por erosão na região sul do Amazonas. **Ambiência**, v.8, n.3, p. 859 - 868, Guarapuava. 2012.

PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA NETO, E. C.; ANJOS, L. H. C.; FONTANA, A. Solos do Brasil: gênese, classificação e limitações de uso. In: RIBEIRO, J. C. (org.). **Ciências exatas e da terra: conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país**. [recurso eletrônico], p. 183-199, Atena, Ponta Grossa, 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed., 356 p., Brasília, Embrapa, 2018.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA W. G.; VALE JUNIOR, J. F.; SOUZA, K. W.; CORREIA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F.; AMARAL, E. F.; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. L. P. Solos da região amazônica. In: CURI; N., KER, J. C.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R., editores**. Pedologia – solos dos biomas brasileiros**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 112-167, Viçosa. 2017.

SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, B. A. F.; FERREIRA JUNIOR, W. G.; VALENTE, E.; CORREA, G. R. Relações solo-vegetação em alguns ambientes brasileiros: fatores edáficos e florístico. In: MARTINS, S. V., editor. **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa;. p.143-184. 2009.

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

SKORUPA, A. L. A.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, C. P. C.; SCOLFORO, J. R. S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 01 p.11-22, 2012.

SOARES, D. G.; QUIRINO, G. R. S.; MEIRA, J. F.; LIMA, M. T. Investigação da correlação entre dados do ENA (Energia Natural Afluente) para a produção de energia brasileira através da análise multivariada, como fator relevante de análise da crise hídrica. **Revista Real Conhecer**. v.1, n.7, p.87-106. 2021.

SOUSA, M. A.; REIS, I. M. S.; ALMADA, A. P.; ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; PINTO, L. A. R. S.; SILVA, C. F.; SANTOS, O. A. Q. Atributos químicos e frações da matéria orgânica em solos antrópicos na Amazônia Oriental. **Brazilian journal of development**. v. 6, n. 5, p. 29623-29643, Curitiba, 2020.

VALE JUNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. Revista Agro@mbiente On-line, v. 5, n. 2, p. 158-165, Boa Vista, 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 Ciências do solo**, v.32, n.1, p.285-296, 2008.

VASCONCELOS, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. L.; RUIVO, M. L. P.; SCHAEFER, C. E. G. R.; RODRIGUES, P. G.; SOUZA, G. T.; NASCIMENTO, D. N. O.; BEZERRA, K. C. A.; DIAS, Y. N. Solos metalíferos: atributos químicos nas diferentes fitofisionomias da Serra Sul, Serra dos Carajás, Pará, Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, v.11, n.1, p.49-55, 2016.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil Tillage Research**, v.84, n.01, p.28-40, 2005.

4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo dos atributos físicos e químicos dos solos em diferentes fitofisionomias da Amazônia Meridional é essencial para a compreensão e conservação desses ecossistemas. Os solos desempenham um papel fundamental no suporte à vida vegetal, no ciclo de nutrientes e na regulação do ciclo hidrológico. Compreender as características distintas dos solos em cada fitofisionomia permite o planejamento adequado do uso da terra, a conservação da biodiversidade e o desenvolvimento sustentável da região. É crucial continuar pesquisando e monitorando esses atributos para enfrentar os desafios atuais e futuros e garantir a preservação desse importante patrimônio ambiental.