

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

**RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM ÁREA DE CERRADO
NO NORDESTE DO MARANHÃO, BRASIL**

Fredgardson Costa Martins

Biólogo

2014

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

**RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM ÁREA DE CERRADO
NO NORDESTE DO MARANHÃO, BRASIL**

Fredgardson Costa Martins

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Nivaldo de Figueiredo

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterenárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do solo).

2014

M386r Martins, Fredgardson Costa
Relação solo-vegetação em área de cerrado no nordeste do Maranhão, Brasil. / Fredgardson Costa Martins. -- Jaboticabal, 2014 xix, 89 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014
Orientador: José Marques Júnior
Banca examinadora: Gener Tadeu Pereira, Maria Esmeralda Soares Payão Demattê, Mara de Andrade Marinho, André Luiz Gomes da Silva
Bibliografia

1. Cerrado. 2. Fitossociologia. 3. Relação solo-vegetação. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.95

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

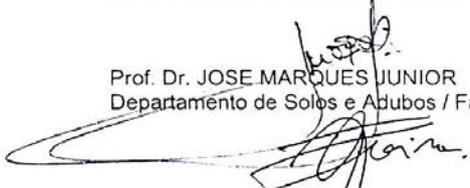
TÍTULO: RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM ÁREA DE CERRADO NO NORDESTE DO MARANHÃO, BRASIL

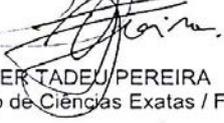
AUTOR: FREDGARDSON COSTA MARTINS

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR

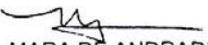
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. NIVALDO DE FIGUEIREDO

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


Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. GENE TADEU PEREIRA
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. MARIA ESMERALDA SOARES PAYÃO DEMATTÊ
Aposentada / Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. MARA DE ANDRADE MARINHO
Universidade Estadual de Campinas / Campinas/SP


Prof. Dr. ANDRÉ LUIZ GOMES DA SILVA
Universidade Federal do Maranhão / Chapadinha/MA

Data da realização: 18 de setembro de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FREDGARDSON COSTA MARTINS – nascido em Penalva – MA, em 13 de setembro de 1973. Filho de José Miguel Martins e Maria Vitória Costa Martins. Concluiu o ensino de 1º Grau na Unidade Escolar Tancredo Neves em Penalva – MA, no ano de 1988. Em 1991, em São Luís - MA, concluiu o ensino de 2º grau. Em agosto de 1993, ingressou no curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Maranhão, também em São Luís, onde, em dezembro de 1998, obteve o título de bacharel e licenciado em Ciências Biológicas. Em janeiro de 2001, assumiu cargo de assessor da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Maranhão. Em março de 2002, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente, também na Universidade Federal do Maranhão, onde foi bolsista da CAPES. Obteve o título de Mestre em outubro de 2004. Em 2003 assumiu cargo de professor do ensino médio da rede pública estadual do Maranhão, permanecendo até o ano de 2007. Em outubro de 2006, assumiu, em caráter efetivo, o cargo de professor na Universidade Federal do Maranhão, Campus de Chapadinha, onde leciona disciplinas de Botânica para os cursos de Agronomia, Biologia e Zootecnia. Em 2011, iniciou curso de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, tendo obtido o título de Doutor em Agronomia (Ciência do solo) em setembro de 2014.

“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo.”

Nelson Mandela

Aos meus pais, José Miguel e Maria Vitória, pelos princípios éticos, morais e emocionais que norteiam minha vida e pelos esforços que realizaram para que pudesse atingir meus objetivos. Minha eterna gratidão.

Ao meu filho, João Pedro, principal motivador das minhas empreitadas.

Aos meus irmãos: Fredson, Lena, Lania e Diana, pela união, convivência e pela ajuda em todos os momentos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, meu filho e aos meus irmãos, pelo apoio em todos os momentos.

Aos Professores José Marques Júnior e Nivaldo de Figueiredo, pela orientação e ensinamentos necessários para a realização deste trabalho.

Aos Professores Dr. Afonso Lopes, Dr. Rogério de Faria, Dr. Rouverson da Silva e a Dra. Lívia Camargo, pela participação na banca do exame geral de qualificação e pelas sugestões que melhoraram o trabalho.

Aos Professores Dr. André Luíz, Dra. Mara de Andrade, Dra. Maria Esmeralda e Dr. Gener Tadeu, pela participação na banca de defesa de tese, pela correção do texto e pelas valiosas sugestões que contribuíram para a melhoria do trabalho.

Ao Grupo CSME, em especial a Angélica, Daniel e Diego, pelo apoio essencial para a condução deste trabalho.

Aos amigos Edison, Francinaldo e Izumy pelo apoio, palavras de incentivo, amizade e auxílio na correção do texto.

Aos proprietários da Fazenda Typuana, Evaldo Grobner e Marly Aparecida Esmério Grobner, pela concessão da área de estudo e todo o apoio logístico.

Aos meus auxiliares de campo Fábio Moraes (Júnior) e Alex, que muito contribuíram na coleta de dados.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, Djair, Ademir, Célia, Maria Inês e Mauro, pelo apoio.

À Universidade Federal do Maranhão, pela liberação para a realização do Curso de Doutorado.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCAV – Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo financiamento deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 O Bioma Cerrado e a vegetação de Cerrado.....	3
2.2 Solos sob Cerrados	8
2.3 Fatores ambientais e a distribuição de fisionomias de cerrado	11
2.4. Análises multivariadas como ferramenta para estudos ecológicos.....	13
3. REFERÊNCIAS.....	17
CAPÍTULO 2 - Diferenças florísticas, fitossociológicas e edáficas observadas em fragmentos de cerrado (<i>lato sensu</i>) no nordeste do estado do Maranhão, Brasil	28
RESUMO	29
ABSTRACT	29
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
2.1 Localização e caracterização da área de estudo	32
2.2 Delineamento amostral e coleta de dados.....	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.1 Diversidade, florística e estrutura fitossociológica	38
3.2 Fertilidade do Solo	46
3.3 Física do solo.....	48
3.4 Ordenação dos atributos do solo	51
4. CONCLUSÕES	53
5. AGRADECIMENTOS	53

6. REFERÊNCIAS.....	54
CAPÍTULO 3 - Atributos do solo e suas relações com a distribuição de espécies arbóreo-arbustivas em fisionomias de cerrado no Nordeste do Maranhão, Brasil	61
RESUMO	62
ABSTRACT	62
1. INTRODUÇÃO	64
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	66
2.1 Localização e caracterização da área de estudo	66
2.2 Delineamento amostral e coleta de solo	68
2.3 Análises físicas e químicas do Solo.....	69
2.4 Estudo da vegetação	69
2.5 Análise estatística	70
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.1 Caracterização física	71
3.2 Análises químicas	74
3.3 Distribuição das espécies	76
3.4 Relação entre distribuição das espécies e os atributos físicos e químicos do solo	76
4. CONCLUSÕES	83
5. AGRADECIMENTOS	83
6. REFERÊNCIAS.....	84

RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM ÁREA DE CERRADO NO NORDESTE DO MARANHÃO, BRASIL

RESUMO - A vegetação do bioma Cerrado é predominantemente constituída por fisionomias savânicas (*cerrado lato sensu*). Os fatores que determinam a distribuição das diferentes fisionomias estão em constante debate, e têm sido relacionados principalmente a gradientes de fertilidade, profundidade do solo, disponibilidade hídrica, ocorrência de fogo, pressão antrópica e topografia. Entretanto, não são raros os estudos que têm encontrado resultados antagônicos ou não alinhados a esses. Neste sentido, com este estudo, pretendeu-se contribuir para o entendimento dessas questões, buscando responder às seguintes perguntas: existem diferenças florísticas e estruturais na vegetação e nos atributos do solo entre fisionomias previamente classificadas como cerradão e cerrado ralo? O cerradão ocorre em solos mais férteis e/ou com condições físicas menos restritivas que aquelas onde ocorre o cerrado ralo? Para isso, relacionamos atributos físicos e químicos do solo, assim como os padrões florísticos (riqueza e composição de espécies) e estruturais (densidade, área basal, etc.) da comunidade vegetal de três fragmentos de cerrado (cerradão, cerrado “degradado” e cerrado ralo) do nordeste do Maranhão, localizados muito próximos um do outro, em solos taxonomicamente iguais e, portanto, sujeitos a semelhantes influências ambientais e fatores pedogenéticos. Os fragmentos estudados estão inseridos num mosaico de paisagem constituído por remanescentes de áreas de cerrados em níveis diferenciados de degradação. Para as análises do solo, em cada fragmento de cerrado, foram retiradas 49 amostras do solo na camada de 0-0,10 m de profundidade, distribuídas em uma malha amostral quadrada com espaçamento regular de 15 m. As amostras foram coletadas no ponto de cruzamento entre as linhas da malha amostral. As coletas foram realizadas entre os meses de abril e maio de 2013. O levantamento fitossociológico foi realizado nas mesmas áreas das amostras de solo, em 49 parcelas circulares, cujo centro foi o ponto de coleta da amostra de solo. A coleta de material botânico foi realizada entre os meses de janeiro de 2012 e maio de 2013. Utilizamos a técnica de escalonamento não métrico multidimensional (NMDS), baseada em medidas de similaridade, para ordenar espacialmente os dados de vegetação. A análise de componentes principais (PCA) foi usada para o ordenamento espacial dos pontos amostrais (parcelas amostrais) pelos principais atributos físicos e químicos dos solos nos três fragmentos. Foi utilizada a análise de correspondência canônica (CCA) para correlacionar os atributos físicos e químicos dos solos com a abundância das principais espécies de cada fragmento. A análise fitossociológica e a NMDS produziram resultados que sugerem que a estrutura e a composição florística dos três fragmentos é distinta. A PCA reproduziu 91,58% da inércia total do sistema e também evidenciou padrões diferenciados para os três fragmentos. A CCA explicou 26,6% da variância total dos dados e indica que a distribuição da abundância das espécies é influenciada pelos atributos do solo e confirmam a premissa de que essas áreas seriam três fisionomias bem definidas. Também confirmamos que o cerradão, quando comparado com a fisionomia mais campestre, ocorre em solos de maior fertilidade e com condições físicas mais amenas.

Palavras chave: cerrado, CCA, fitossociologia, PCA, NMDS, relação solo-vegetação

SOIL-VEGETATION RELATIONSHIP IN THE CERRADO (BRAZILIAN SAVANNA) OF NORTHEAST OF MARANHÃO, BRASIL

ABSTRACT - The vegetation of the Cerrado biome (Brazilian savanna) is predominantly composed of cerrado physiognomies (cerrado *lato sensu*). The determining factors on the cerrado physiognomies distribution have been continuously in question, and have been primarily related to gradients of fertility, soil depth, water availability, occurrence of fire, human disturbance and topography. However, there are few studies that have found opposing results or not aligned to these. In this sense, this study was intended to contribute to understanding of these issues, seeking to answer the following questions: Are there floristic and structural differences in vegetation and soil properties faces previously classified as *cerradão* and *cerrado-ralo*? Does *cerradão* occur on soils that are more fertile and/or in mild physical conditions than the *cerrado-ralo*? For this, we compared physical and chemical soil attributes, as well as floristic patterns (richness and species composition) and structural (density, basal area) of the plant community of three fragments of savanna (*cerrado*, *cerrado "degradado"* and *cerrado-ralo*) of Northeastern state of Maranhão, located very close to each other in taxonomically identical soils, and therefore subject to similar environmental influences and pedogenic factors. The studied fragments are embedded in a landscape mosaic consisting of remaining areas of cerrado in different levels of degradation. For soil analysis, 49 samples were taken in each fragment in the 0-0.10m soil profile, distributed in a square sampling grid with regular spacing of 15 m. Samples were collected at the point of intersection between the lines of the sampling grid. Sampling was carried out between the months of April and May 2013. Phytosociological survey was carried out in 49 circular plots, in which center the soil sample points were located. A sample of plant material was carried out between the months of January 2012 and May 2013. The non-metric multidimensional scaling analysis (nMDS) was used to ordinate the vegetation data. The principal component analysis (PCA) was applied to ordinate the sampling plots in function of the soil attributes. The canonical correspondence analysis (CCA) was used to correlate the soil variables with the most abundant species. The phytosociological and nMDS analysis suggest that the structure and floristic composition of the fragments are distinct. The PCA accounted for 91.58% of the variance and showed differences between the fragments. *Cerradão* occur in more fertile soils and in mild physical conditions than *cerrado-ralo*. The CCA accounted 26.6% of the variance and indicates that the distribution of species abundances are influenced by physical and chemical soil properties, and corroborates the assumption that the studied environments would be well-defined habitats.

Keywords: CCA, NMDS, PCA, phytosociology, savanna, soil-vegetation relationship

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ficando atrás apenas do bioma Amazônia. Ocupa aproximadamente dois milhões de quilômetros quadrados e distribui-se desde o Pantanal mato-grossense até a faixa litorânea maranhense, interpondo-se entre os biomas Amazônia, Mata Atlântica, Pantanal e Caatinga (IBGE, 2004; 2012). Está representado nos estados do Goiás, Tocantins, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Piauí, Maranhão e no Distrito Federal (RIBEIRO; WALTER, 1998; IBGE, 2004). É reconhecido como um dos 25 hotspots mundiais, ou seja, está entre os principais pontos do planeta que aliam as condições de possuir alta biodiversidade e alto grau de ameaça de degradação (MYERS et al., 2000) (Figura 1). E, segundo Bridgewater et al. (2004), apenas 35% da área original do bioma permanece íntegra.

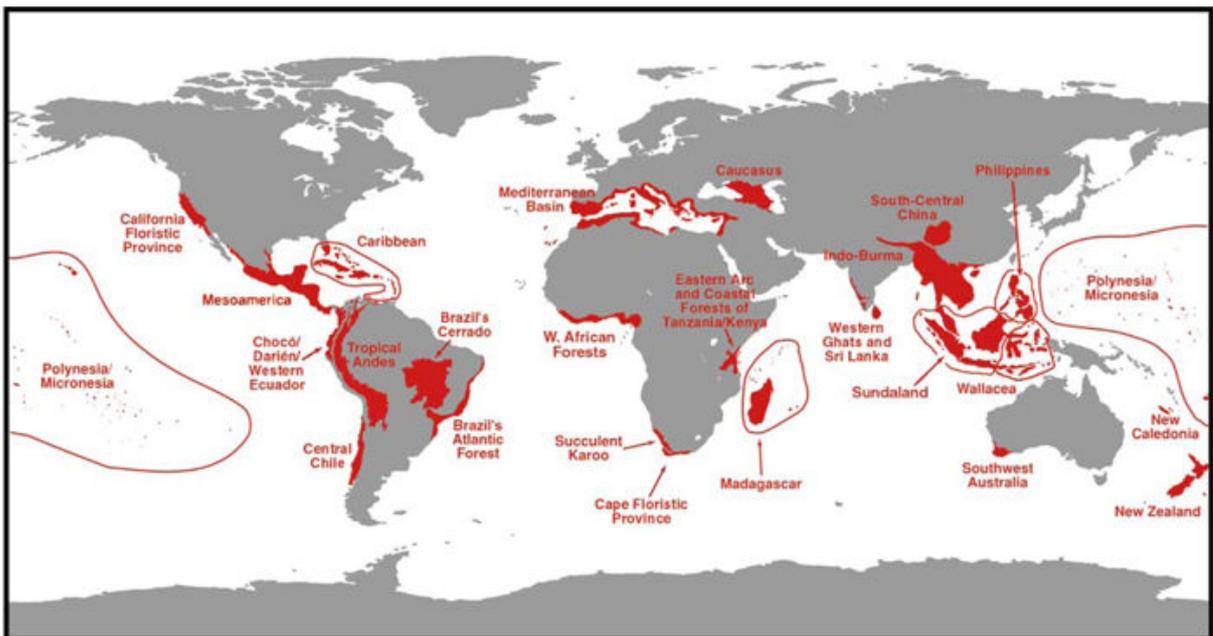


Figura 1: Distribuição dos 25 hotspots mundiais. Figura originalmente publicada por (MYERS et al., 2000).

A vegetação do bioma Cerrado é predominantemente constituída por fisionomias savânicas (cerrado *lato sensu*), que recobrem cerca de 70% dessa área

(COUTINHO, 2006). Os fatores que determinam a distribuição das diferentes fisionomias do cerrado, desde as fisionomias mais florestais, como o cerradão (Savana Florestada, *sensu* IBGE, 2012) até as mais campestres, como o cerrado ralo e o cerrado rupestre (Savana Arborizada e Savana Parque, respectivamente, *sensu* IBGE, 2012) estão em constante debate, e têm sido relacionados a gradientes de fertilidade (ALVIM; ARAÚJO, 1952; GOODLAND, 1971; GOODLAND; POLLARD, 1973; LOPES; COX, 1977; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002), profundidade do solo, disponibilidade hídrica, ocorrência de fogo, pressão antrópica (COLE, 1986; OLIVEIRA FILHO et al., 1989; PIVELLO; COUTINHO, 1996; MEINZER et al., 1999) e topografia (FURLEY, 1996). Entretanto, não são raros os estudos que têm encontrado resultados antagônicos ou não alinhados a esses. Assim, é provável que, conforme sugerem Oliveira-Filho e Ratter (2000), não só um, mais uma combinação de fatores ambientais determine a distribuição das fisionomias da vegetação de cerrado, entre as quais eles destacam a precipitação sazonal, a baixa fertilidade dos solos, drenagem moderada a alta, incêndios e as flutuações climáticas do quaternário.

A flora do Cerrado é apontada como uma das mais ricas entre as savanas do mundo em quantidade de espécies (WALTER, 2006), tendo sido catalogadas mais de 12.350 espécies de plantas vasculares (MENDONÇA et al., 2008). Entretanto, grande parte da vegetação original está completamente destruída (BRIDGEWATER et al., 2004; MACHADO et al., 2004; SANO et al., 2007; SANO et al., 2008) e cerca da metade das áreas remanescentes encontram-se bastante alteradas e fragmentadas, podendo não mais servir à conservação da biodiversidade (MACHADO et al., 2004).

Os solos sob o Cerrado constituem-se principalmente de latossolos altamente intemperizados e com sérias limitações à produção de alimentos, no que diz respeito à baixa fertilidade natural do solo. São solos ácidos que apresentam baixa disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), boro (B) e cobre (Cu). Possuem ainda alta saturação por alumínio bem como alta capacidade de fixação de fósforo (LOPES; GUILHERME, 1994)

As limitações impostas pela baixa fertilidade natural do Cerrado brasileiro fizeram com que essa região, até a década de 70, fosse considerada como marginal para a produção de alimento (LOPES; GUILHERME, 1994). Contudo, mudanças nos paradigmas agrônomico e governamental fizeram do Cerrado a atual principal região

brasileira produtora de grãos, apresentando os maiores índices de produtividade em diversas culturas (FREDERICO, 2013). Entretanto, os índices de produtividade ainda não são homogêneos. Os cerrados nordestinos, com terras de baixo custo de aquisição, solos de fertilidade especialmente baixa e altamente intemperizados (RESENDE, 2013) possuem índices bem mais modestos de produtividade, o que tem sido compensado com o incremento em área plantada.

O aumento na área de produção para compensar a baixa produtividade tem sido justificado pelo baixo nível de conhecimento existente sobre esses ambientes, sobretudo para a região nordeste do Maranhão, e tem comprometido a manutenção dos remanescentes naturais da vegetação de cerrado, que a cada ano vem sendo reduzidos a pequenos fragmentos isolados.

Deste modo, a manutenção de parte dos remanescentes das formações savânicas nessa região está diretamente relacionada ao nível de conhecimento sobre a dinâmica dos processos que regem a relação solo-planta, sobretudo aqueles fundamentais na seleção de áreas que irão dispender menores recursos econômicos e ambientais.

Nesse sentido, o presente estudo pretende contribuir para o entendimento dos fatores relacionados ao solo que influenciam na distribuição das fisionomias e espécies características dos cerrados maranhenses e assim introduzir novos elementos para auxiliar na indicação de áreas com diferentes potenciais de uso.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Bioma Cerrado e a vegetação de Cerrado

O termo Cerrado tem sido usado atualmente com diferentes acepções. Ribeiro e Walter (1998) apresentam três acepções técnicas: a primeira e mais abrangente de todas é a que se refere ao bioma Cerrado. A segunda denota o sentido de um tipo vegetacional característico do bioma Cerrado, que inclui desde o cerradão até o campo limpo (cerrado sentido amplo – *lato sensu*) e é definido pela composição florística e pela fisionomia (formas de crescimento) sem que o critério de estrutura seja considerado. A terceira acepção é a de cerrado sentido restrito (cerrado *stricto sensu*),

designação dada a um tipo fitofisionômico específico que ocorre na formação savânica definida pela composição florística e pela fisionomia, considerando tanto a estrutura quanto as formas de crescimento dominantes. O IBGE (2004; 2012) apresenta duas acepções para o termo Cerrado, uma para designar um dos seis biomas brasileiros, o bioma Cerrado e outro como sinônimo regionalista de Savana, um tipo característico de vegetação que ocorre em toda Zona Neotropical, inclusive no bioma Cerrado. Aquino et al. (2009) falam em mais de duas centenas de termos técnicos relacionados à palavra savana e atribuem a falta de consenso na utilização do termo à grande quantidade de tipologias vegetacionais classificadas como savana. Ele ainda defende que, como os conceitos não são coincidentes, é fundamental que cada autor entenda e esclareça qual definição está utilizando e seja coerente durante todo o texto. Desta forma, seguiremos aqui os conceitos adotados pelo IBGE (2004; 2012).

O bioma Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupa área de aproximadamente 2.034.448 km², distribuindo-se em diagonal na direção sudeste-nordeste desde o Pantanal Mato-grossense até a faixa litorânea maranhense, interpondo-se entres os biomas Amazônia, Mata Atlântica, Pantanal e Caatinga (IBGE, 2004; 2012). Está representado nos estados de Goiás, Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Maranhão, Tocantins, São Paulo e no Distrito Federal (RIBEIRO; WALTER, 1998; IBGE 2004).

A cobertura vegetal predominante no bioma Cerrado é constituída por formações savânicas (cerrado sentido amplo), incluindo desde o cerradão até o campo limpo, ocorrendo também formações florestais, como a Floresta Estacional ou Mata Mesófila, estabelecida principalmente em áreas de solos com fertilidade alta e média que ocorrem nos interflúvios e ao longo de alguns segmentos da rede de drenagem, além das formações ciliares que acompanham e margeiam rios e nascentes (EITEN, 1994; IBGE 2004; RUGGIERO et al., 2006; COUTINHO, 2006).

O cerrado (Savana) é uma vegetação xeromorfa que ocorre em toda Zona Neotropical, principalmente no Brasil Central. Distribui-se, mesmo que de forma disjunta, pelos estados de Roraima, Amapá, Amazonas (Campos de Humaitá), Rondônia (Serra dos Pacaás Novos), Pará (Serra do Cachimbo e Tirióis), Bahia, São Paulo, Paraná, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Maranhão, Tocantins e pelo Distrito Federal (MARIMON JÚNIOR; HARIDASSAN,

2005; MACHADO et al., 2004; IBGE, 2002; 2012). Estão sob distintos tipos de clima e revestem solos lixiviados aluminizados, apresentando sinúsias de hemcriptófitos, geófitos, caméfitos e fanerófitos oligotróficos de pequeno porte. No Brasil esta vegetação ainda recebe outras denominações regionais, como: “Tabuleiro”, “Agreste” e “Chapada”, na Região Nordeste; “Campina” ou “Gerais” no norte dos estados de Minas Gerais, Tocantins e Bahia; e “Lavrado” no Estado de Roraima (IBGE, 2012).

O IBGE em seu Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira subdivide a Savana (cerrado) em quatro subgrupos de formação: Savana Florestada; Savana Arborizada; Savana Parque; e Savana Gramíneo-lenhosa (IBGE, 2012).

A Savana Florestada (Cerradão), apesar das diferenças na sua composição florística, em alguns locais, é muito semelhante fisionomicamente às Florestas Estacionais. Está restrita a áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em um clima tropical eminentemente estacional; apresenta sinúsias lenhosas de micro e nanofanerófitos, tortuosos com ramificação irregular, providos de macrófitos esclerófitos perenes ou semidecíduos, ritidoma esfoliado corticoso rígido ou córtex maciamente suberoso, com órgãos de reserva subterrâneos ou xilopódios, cujas alturas variam de 6 a 8 m. Extremamente repetitiva, a sua composição florística reflete-se de norte a sul em uma fisionomia caracterizada por dominantes fanerófitos típicos, como: *Caryocar brasiliense* (pequi); *Salvertia convallariodora* (pau-de-colher); *Bowdichia virgilioides* (sucupira-preta); *Dimorphandra mollis* (faveiro); *Qualea grandiflora* (pau-terra-de-folhas-grandes); *Qualea parviflora* (pau-terra-de-folhas-pequenas); *Anadenanthera peregrina* (angico-preto); e *Kielmeyera coriacea* (pau-santo) (IBGE, 2012).

A Savana Arborizada (Campo cerrado, Cerrado ralo, Cerrado típico e Cerrado denso) é um subgrupo de formação natural ou antropizado que se caracteriza por apresentar uma fisionomia nanofanerófitica rala e outra hemcriptófitica graminoide contínua, sujeito ao fogo anual. As sinúsias dominantes formam fisionomias ora mais abertas (Campo Cerrado), ora com a presença de um *scrub* adensado, Cerrado propriamente dito. A composição florística, apesar de semelhante à da Savana Florestada, possui espécies dominantes que caracterizam os ambientes de acordo com o espaço geográfico ocupado, tais como: No Amapá - *Salvertia convallariodora* (pau-de-colher); em Roraima - *Curatella americana* (lixreira); no Pará (Tiriós e Serra

do Cachimbo) - *Himatanthus sucuuba* (sucuuba) e *Platonia insignis* (Clusiaceae – bacuri), respectivamente; no Maranhão, Piauí e Ceará - *Parkia platycephala* (faveira); em Minas Gerais (sul mineiro) - *Dimorphandra mollis* (faveiro); e em São Paulo e Paraná - *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão) (IBGE, 2012).

A Savana Parque (Campo-Sujo-de-Cerrado, Cerrado-de-Pantanal, Campo-de-Murundus ou Covoal e Campo Rupestre) é constituída essencialmente por um estrato graminoide, integrado por hemisporófitos e geófitos de florística natural ou antropizada, entremeado por nanofanerófitos isolados, com conotação típica de um “Parque Inglês” (Parkland). A Savana Parque de natureza antrópica é encontrada em todo o País, enquanto a natural ocorre algumas vezes com feição de campos litossólicos e/ou rupestres. Em áreas encharcadas de depressões periodicamente inundadas, ocorrem as tipologias naturais de Cerrado-de-Pantanal, com denominações regionais diversas, caracterizadas pela presença de “covoais”, “monchões” ou “murundus”, como nas áreas abaixo relacionadas e com os seguintes ecótipos dominantes: Ilha de Marajó - *Hancornia speciosa* (mangaba); Pantanal Mato-Grossense-do-Sul - *Handroanthus aureus* (paratudo); e Depressão do Araguaia e Ilha do Bananal - *Byrsonima sericea* (murici) (IBGE, 2012).

Na Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo-Limpo-de-Cerrado), quando natural, prevalecem os gramados entremeados por plantas lenhosas raquíticas, que ocupam extensas áreas dominadas por hemisporófitos e que, aos poucos, quando manejados com fogo ou pastoreio, vão sendo substituídos por geófitos que se distinguem por apresentar colmos subterrâneos, portanto mais resistentes ao pisoteio do gado e ao fogo. A composição florística é bastante diversificada, sendo suas espécies mais representativas as plantas lenhosas: *Andira humilis* (angelim-do-cerrado); *Chamaecrista* spp. (fedegoso-do-cerrado); *Byrsonima* spp. (murici-rasteiro); *Bauhinia* spp. (unha-de-vaca); *Attalea* spp. (palmeirinha-do-cerrado); *Allagoptera campestris* (coco-de-raposa); e *Orbignya eichleri* (coco-de-guriri). Entre as plantas gramínoideas: *Axonopus* spp. (grama-do-cerrado); *Andropogon* spp. (capim-do-cerrado); *Aristida pallens* (capim-barba-de-bode); *Echinolaena inflexa*; *Paspalum* spp.; *Trachypogon spicatus* (capim-redondo); *Schizachyrium* spp.; *Tristachya* spp. (capim-flechinha), destacam-se ainda muitas nanofanerófitas raquíticas das famílias Asteraceae,

Compositae, Myrtaceae, Melastomataceae, Malvaceae e outras de menor expressão fisionômica (IBGE, 2012).

No Maranhão, o bioma Cerrado ocupa aproximadamente 65% da área do estado (VALLADARES et al., 2007; SANO et al., 2008) (Figura 2). Entretanto, menos de 35% desse bioma ainda são cobertos por fisionomias savânicas.

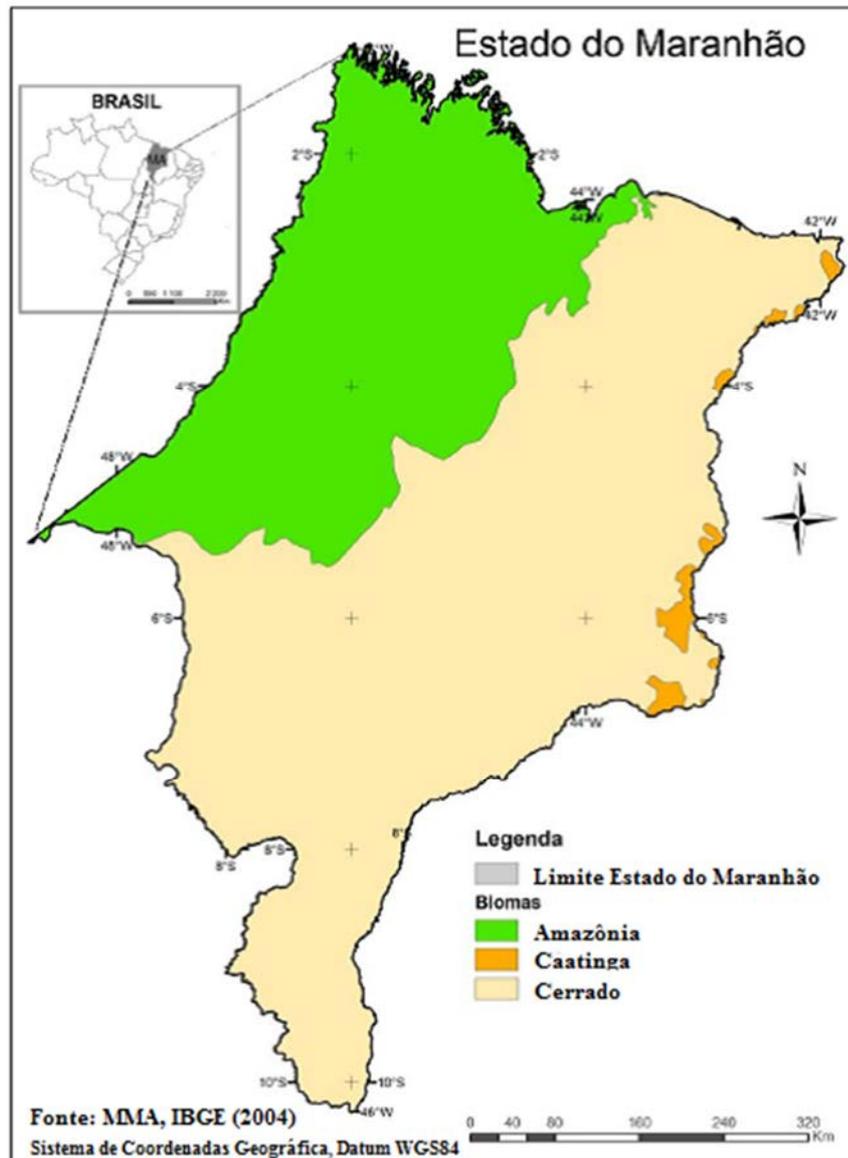


Figura 2: Mapa de biomas do estado do Maranhão. Fonte: IBGE (2004)

As formações savânicas no Maranhão estendem-se desde a região sul até o nordeste do estado, entrando em contato com manchas de caatinga na sua porção leste, com vegetação amazônica na região oeste e com os campos inundáveis na

região central, além das restingas e manguezais. Encontram-se aqui diferentes fisionomias desta formação, principalmente o Cerrado *stricto sensu* (Savana Arborizada, *sensu* IBGE, 2012) e o Cerradão (Savana Florestada, *sensu* IBGE, 2012). O Cerradão ocorre nas terras mais altas (platôs denominados localmente de “Chapadas”) entrecortadas por vales em cuja base de terreno úmido encontram-se abrigadas matas de galeria ou matas ciliares. O cerrado *stricto sensu* é encontrado mais ao sul do Estado e também próximo às regiões litorâneas.

Segundo SANO et al. (2008), baseado em dados de 2002, o Maranhão apresenta a segunda menor percentagem de supressão do cerrado (11%), ficando atrás apenas do Piauí (8%). Entretanto, nos últimos 10 anos, o avanço da sojicultura no sul e nordeste do estado tem elevado o nível de fragmentação do cerrado e comprometendo a diversidade local e regional.

Aliadas ao avanço da soja, as atividades atuais e pretéritas de exploração indiscriminada dos recursos naturais têm contribuído significativamente para o agravamento do processo de fragmentação, colocando em risco áreas que são praticamente desconhecidas pela comunidade científica.

2.2 Solos sob Cerrados

A geologia do bioma Cerrado é uma das mais diversificadas e complexas do País, compreendendo rochas que remontam do Pré-Cambriano ao Cenozóico, com a predominância das primeiras. O relevo exibe uma gama muito grande de feições morfológicas em níveis altimétricos diferenciados, constituindo unidades bem definidas, dentre as quais destacam-se planaltos, depressões e planícies. Predominam no bioma os planaltos, de topos planos, constituindo extensas chapadas com escassa rede de drenagem. A amplitude altimétrica varia de cerca de 50 m no litoral até os 2.000 m (IBGE 2004).

A grande maioria dos tipos de solos em regiões savânicas pelo mundo são os arenosos altamente lixiviados, os lateríticos e, em menor proporção, os solos montmoriloníticos ricos em bases (Cole 1986). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), até o ano de 1999, em seu Sistema de Classificação de Solos, incluía os Latossolos como solos lateríticos e os Vertissolos como

montmoriloníticos, sendo que este para este último não tem registros em áreas de cerrados (savanas) no Brasil (EMBRAPA, 1999).

O IBGE (2004) fala em mais de uma dezena de classes de solos representativas no bioma Cerrado, sendo eles, em sua maioria, distróficos, ácidos e com altos teores de alumínio trocável. Barros (2012) coloca os Latossolos e suas variações, principalmente o Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, como o principal tipo de solo que ocorre nas formações savânicas (cerrado sentido amplo), seguidos pelos Neossolos Quartzarênicos (textura areia ou areia franca), Argissolos (Horizonte B textural) e, em menor proporção, os Plintossolos e solos com características hidromórficas, como os Gleissolos.

Os Latossolos são solos constituídos por material mineral, com domínio de caulinita e óxidos de ferro e alumínio, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresentar mais que 150 cm de espessura (EMBRAPA, 2006; KER, 1997). Encontram-se amplamente distribuídos pelo Brasil, ocupando, como unidade dominante, cerca de um terço da superfície do território nacional, ocorrendo praticamente em todas regiões do País sob diferentes condições climáticas, relevo e material de origem. São considerados solos de mineralogia relativamente simples. Na sua fração grosseira (silte + areia) prevalece quartzo, com menores quantidades de muscovita e alguns feldspatos potássicos quando derivados de rochas ácidas. Magnetita e ilmenita com pequena proporção de quartzo prevalecem quando se desenvolvem a partir de rochas básicas, com destaque para o basalto, no caso do Brasil. A magnetita pode ser importante fonte de elementos traços. Na fração argila, são variadas as quantidades de caulinita, gibbsita, goethita e hematita, a depender do tipo de material de origem, da intensidade do intemperismo e drenagem do sistema, entre outros fatores. Menores proporções de vermiculita com hidróxi entre camadas, ilita, anatásio, rutilo, maghemita e mesmo haloisita, também são constatados com frequência em determinados Latossolos (KER, 1997).

Os Neossolos são solos pouco evoluídos constituídos por material mineral, ou por material orgânico, com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Horizontes glei, plíntico, vértico e A chernozêmico, quando presentes, não ocorrem em posição diagnóstica para as classes Gleissolos,

Plintossolos, Vertissolos e Chernossolos, respectivamente (EMBRAPA, 2006). Os Neossolos Quartzarênicos são solos sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) (EMBRAPA 2006).

Os Argissolos compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural, com argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (EMBRAPA 2006).

Os Plintossolos compreendem solos minerais formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, que se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintitização com ou sem petroplintita na condição de que não satisfaçam os requisitos estipulados para as classes dos Neossolos, Cambissolos, Luvisolos, Argissolos, Latossolos, Planossolos ou Gleissolos (EMBRAPA 2006).

Os Gleissolos são constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de horizonte A ou E, ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos, não apresentando horizonte vértico ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei, tampouco qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei, ou textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico. Horizonte plíntico, se presente, deve estar à profundidade superior a 200cm da superfície do solo (EMBRAPA 2006).

Os cerrados do estado do Maranhão desenvolvem-se, predominantemente, sob Latossolos, Plintossolos, Neossolos, Nitossolos e Argissolos. Na porção centro-sul do Estado, predominam Latossolo Amarelo, Neossolo Litólico, Nitossolo Vermelho, Plintossolo Háplico e Neossolo Quartzarênico. Na porção nordeste, ocorrem Plintossolo Pétrico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo quartzarênico e Plintossolo Háplico (GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO, 2002; SOUSA et al., 2012).

A área de estudo deste trabalho situa-se na porção nordeste do Estado, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (DANTAS, 2013), sobre afloramento da Formação Barreiras. No Maranhão, a Formação Barreiras aflora no nordeste do Estado, no triângulo formado pelos municípios de Brejo, Buriti, Urbano Santos e Araiões. Esta formação é constituída por sedimentos clásticos mal selecionados. As cores predominantes são o amarelo e o vermelho, variando, porém, de local para local. Por causa da ausência de fósseis sua datação não é precisa, admitindo-se que seja do Terciário por englobar o calcário fossilífero Pirabas que pertence ao Mioceno Inferior (GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO, 2002; SOUSA et al., 2012).

2.3 Fatores ambientais e a distribuição de fisionomias de cerrado

A ocorrência de uma espécie vegetal em um determinado ambiente natural pressupõe a existência de adaptações para sua sobrevivência. Desse modo, o nicho ecológico de uma espécie pode ser determinado por parâmetros físicos e químicos do ambiente onde ocorre (GOTELLI 2007). Essa demanda ecológica causa, além de variações na fisionomia, variação na composição florística, na fitossociologia e na produtividade desses ecossistemas (HARIDASAN 2000; RICKLEFS 2003).

Diferentes fatores ambientais têm sido relacionados à distribuição de fitofisionomias do bioma Cerrado. E, apesar de não haver consenso quanto aos fatores determinantes da distribuição da vegetação do Cerrado, fatores como diferenças climáticas, variação altitudinal, latitudinal e longitudinal, de profundidade e flutuação do lençol freático, de disponibilidade de água e nutrientes, de composição química e física do solo, de geomorfologia, da topografia, do histórico de queimadas, de pastejo e antropização têm sido frequentemente considerados de grande

importância na distribuição e estruturação de comunidades vegetais nesse bioma (COLE, 1992; RATTER; DARGIE, 1992; EITEN, 1994; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 1995; 2002; MORENO; SCHIAVINI, 2001; RIBEIRO; WALTER, 2008; BARROS, 2012).

A própria diversidade de tipos de solo do bioma Cerrado, por si só, poderia ser responsável pelas diferenças fitofisionômicas observadas nesse bioma, pois os fatores de formação dos solos dificilmente atuam com a mesma intensidade na sua gênese. Assim, até solos taxonomicamente semelhantes guardam diferenças químicas, mineralógicas e estruturais que podem ser determinantes na estruturação e na composição da comunidade biológica desenvolvida sobre eles, sobretudo comunidades vegetais. Entretanto, foi só a partir dos estudos de Alvim e Araújo em 1952 que o solo passou a ser considerado o fator ecológico mais importante na distribuição das savanas (RUGGIERO; PIVELLO, 2005). Desde então, diversos estudos de comunidades vegetais têm buscado detectar e descrever os padrões da composição florística, da estrutura e da distribuição dessas fisionomias, visando testar ou formular hipóteses sobre as possíveis relações entre as variações da vegetação e os atributos dos solos ou outros fatores ambientais (GOODLAND, 1971; EITEN, 1972; GOODLAND; POLLARD, 1973; LOPES; COX, 1977; FURLEY; RATTER, 1988; HARIDASAN; ARAÚJO, 1988; MARIMON-JUNIOR; HARIDASAN, 2005; CAMPOS et al., 2006; HARIDASAN, 2006; FERREIRA et al., 2007; MORENO; CARDOSO, 2008; BARROS, 2012; SANTANA et al., 2013; CASEIRO, 2013; FINGER; OESTREICH FILHO, 2014).

Para Haridasan (2000), fatores ambientais relacionados aos solos, como profundidade efetiva, presença de concreções no perfil, proximidade à superfície do lençol freático, drenagem e fertilidade são fatores determinantes no estabelecimento dessas fitofisionomias. Segundo Baruch et al. (1996), à medida em que aumentam a disponibilidade de água e de nutrientes essenciais, também aumenta o número de espécies lenhosas, particularmente as do estrato arbóreo. Assim, a distribuição do gradiente fisionômico, desde o mais aberto ao mais denso, também segue este padrão.

Para Campos et al. 2010, a constituição mineralógica, a disponibilidade hídrica e a textura do solo podem ser essenciais para o entendimento da ocorrência de

determinada vegetação, independentemente dos fatores climáticos. Rossi et al. (2005) atribui à capacidade de retenção de água no solo grande destaque como fator determinante da vegetação.

Para Botrel et al. (2002) e Resende et al. (2007), as condições de declividade existentes na superfície do terreno impõem uma dinâmica de transporte de material das partes mais altas para as mais baixas, condicionando um gradiente de fertilidade que aumenta das áreas mais altas para as mais baixas. Dessa forma, o fluxo de água convergente nas superfícies côncavas e divergente nas convexas possuem grande importância no estabelecimento do gradiente de fertilidade e, por consequência, podem produzir gradiente fisionômico na vegetação.

Para Oliveira-Filho e Ratter (2000), é provável que não só um, mas uma combinação de fatores ambientais determine a distribuição das fisionomias da vegetação de cerrado, entre os quais destacam a sazonalidade da precipitação, a fertilidade e classe de drenagem do solo, a ocorrência de incêndios e as variações climáticas do quaternário.

A análise da relação vegetação-ambiente, tendo como base parâmetros quantitativos de abundância, como a densidade, ou de produção, como área basal, volume e carbono, permite constatar a influência das condições do meio na estrutura da comunidade e suas populações (KENT; COKER, 1992; FELFILI et al., 2011).

2.4. Análises multivariadas como ferramenta para estudos ecológicos

A utilização de técnicas estatísticas multivariadas (Análise de componentes principais – PCA, Escalonamento não métrico multidimensional - NMDS, Análise de coordenadas principais – PCO, Análise de correspondência retificada – DCA, Análise de correspondência canônica – CCA, Análise de agrupamento) tem sido regularmente aplicadas em várias investigações científicas, sobretudo para correlação e ordenação entre parâmetros florestais (diversidade e similaridade florística e estrutura) e fatores ambientais (topografia, tipos de solos, composição química e física dos solos, drenagem, entre outros) e tem se constituído numa ferramenta cada vez mais empregada para a compreensão da dinâmica das formações vegetacionais (CORDEIRO, 2010).

As técnicas multivariadas são poderosas e permitem ao pesquisador manipular diversas variáveis simultaneamente. Entretanto, tanto sua estrutura teórica como metodológica operacional, são bastantes complexas. Em alguns casos, os testes estatísticos a serem utilizados exigem requisitos muito rígidos e em outros, não apresentam base estatística teórica, não havendo, desse modo, possibilidade de testes de significância.

Para Gauch (1982), as técnicas multivariadas podem ser classificadas, de acordo com o uso em estudos de ecologia de comunidades, em três grupos diferentes: Análise Direta de Gradiente; Classificação e Ordenação.

A análise direta de gradiente utiliza procedimentos gráficos simples para reduzir e revelar a estrutura dos dados multivariados. É usada para estudar a distribuição de espécies ao longo de gradientes ambientais conhecidos e facilmente medidos.

A classificação basicamente envolve o agrupamento de entidades similares em grupos ou “clusters”, sendo que esses grupos podem ou não ser arranjados hierarquicamente.

Os métodos de ordenação consistem basicamente em sintetizar, em um gráfico com eixos perpendiculares entre si (eixos de ordenação), a variação multidimensional dos dados a serem estudados. Descrevem o processo de produção de um pequeno número de variáveis que pode ser usado para descrever a relação entre um grupo de objetos, iniciando ou por uma matriz de distâncias ou similaridades entre os objetos, ou a partir de valores de um grande número de variáveis medidas sobre cada objeto (MANLY, 1994).

2.4.1 A Análise de Componente Principal (PCA)

Análise de Componente Principal é uma das mais antigas técnicas multivariadas e foi, talvez, o método de ordenação mais usado em ecologia, em razão principalmente da sua disponibilização nos programas de computador (VALENTIN, 1995). A PCA é um método linear de ordenação que permite a redução da dimensionalidade de uma matriz complexa. A análise tem como objetivo descrever ou compreender o padrão subjacente à variação da matriz. A técnica constrói novas variáveis sintéticas (componentes principais), obtidas pela combinação linear das

variáveis iniciais, por meio de fatores (BOUROCHE; SAPORTA, 1982). As novas variáveis sintéticas possuem dimensões equivalentes às originais, e a construção ocorre com perda mínima possível de informação e também buscando eliminar variáveis originais que possuam pouca informação. No gráfico da PCA, os escores de espécies resultantes são os valores de inclinação das retas geradas.

Em alguns estudos, a PCA pode ser utilizada como o final de um processo investigativo. Em outros, a maioria, consiste em uma ferramenta intermediária do processo de investigação, ou seja, presta-se fundamentalmente como um passo intermediário, não conclusivo, em grandes investigações científicas (PONTES, 2005).

2.4.2 A Análise de Correspondência Canônica (CCA)

A Análise de correspondência canônica é uma técnica de ordenação, baseada em análise de correspondência (CA), onde as curvas de respostas são unimodais e os escores de espécies podem ser considerados como centro, ou o “ótimo” da curva (GAUCH, 1982). A CCA é considerada uma análise de gradiente direto onde os eixos interpretativos são obtidos dentro do algoritmo iterativo de ordenação usando um conjunto de variáveis ambientais. É uma ordenação que considera a restrição extra de que os eixos de ordenação sejam combinações lineares de variáveis ambientais (MANLY, 1994).

A CCA tem sido usada para responder de forma mais direta as perguntas formuladas pela ecologia de comunidades. Estudos demonstram que essa ferramenta pode ser utilizada para detectar as relações entre as espécies e o ambiente e para investigar questões que tratam de como as espécies respondem às variáveis ambientais (TER BRAAK, 1987). Nesses estudos, dois conjuntos de dados são analisados simultaneamente: o primeiro contém a ocorrência de diferentes espécies e o segundo descreve as condições ambientais.

A maior vantagem da CCA sobre todos os outros métodos de análise multivariada é admitir um teste de significância das variáveis ambientais na determinação dos padrões ambientais, por meio do teste de Monte Carlo (HOPE, 1968), testando os eixos associados com as variáveis usando os autovalores como teste estatístico (SMITH, 1995).

Nos últimos dez anos muitos estudos têm utilizado a CCA para compreender as relações entre vegetação e atributos físicos e químicos dos ambientes onde ocorrem (DALANESI et al., 2004; CARDOSO et al., 2005; PINTO et al., 2005; KOTCHETKOFF-HENRIQUES et al., 2005; BUDKE et al., 2007; FAGUNDES et al., 2007; FERREIRA-JÚNIOR et al., 2007; RODRIGUES et al., 2007; CAMARGOS et al., 2008; GIEHL; JARENKOW, 2008; HAIDAR, 2008; DE SOUZA SIQUEIRA; DE ARAÚJO; SCHIAVINI, 2009; DE JESUS TEIXEIRA et. al., 2010; GONÇALVES et al., 2011; LINDOSO et al., 2012; OTONI et al., 2013; RODRIGUES; MONTEIRO DE ARAÚJO, 2013; PIRES et al., 2014; FINGER; OESTREICH FILHO, 2014).

2.4.3 O Escalonamento não métrico multidimensional (NMDS)

O escalonamento não métrico multidimensional é outra técnica de ordenação bastante usada por ecólogos. É baseado em uma matriz de distância (similaridade ou dissimilaridade) calculada a partir dos dados dos objetos (ou atributos). A técnica consiste na obtenção da ordenação de um algoritmo iterativo que envolve uma estimativa de ajuste que é denominada de "*stress*". Valores de estresse abaixo de 0,1 (10%) indicam uma excelente ordenação; entre 0,1 e 0,2 (20%) uma boa ordenação; e acima de 0,2, uma ordenação que não difere de um padrão completamente aleatório (CLARKE, 1993).

O algoritmo desta técnica tenta colocar os pontos de dados num sistema bi ou tridimensional de coordenadas de tal modo que as diferenças ranqueadas sejam preservadas, isto é, se a distância original entre os objetos *a* e *b* é a nona maior de todas as distâncias entre quaisquer dois objetos, os objetos *a* e *b* serão idealmente colocados de tal modo que a distância euclideana entre eles no plano 2D ou no espaço 3D continua sendo a nona maior. A técnica não leva em conta distâncias absolutas (HAMMER, 2013).

Esta técnica tem sido especialmente utilizada para ordenar as relações florísticas entre comunidades vegetais (CRUZ et al., 2013; HIGUCHI et al., 2013; FEITOZA, 2013; COSTA, 2013; MENDES et al., 2013; MEWS, 2014; ALMEIDA et al., 2014).

3. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. F.; FAGG, C. W.; DE OLIVEIRA, M. C.; RODRIGUES MUNHOZ, C. B.; DE LIMA, A. S.; DE OLIVEIRA, L. S. B. Mudanças florísticas e estruturais no cerrado sensu stricto ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. **Rodriguésia**, v. 65, n. 1, 2014.

ALVIM, P. T.; ARAÚJO, W. El suelo como factor ecológico en el desarrollo de la vegetación en Centro-Oeste del Brasil. *Turrialba*, n. 2(4), p. 153-160, 1952.

AQUINO, F. G.; PINTO, J. R. R.; RIBEIRO, J. F. Evolução histórica do conceito de savana e a sua relação com o Cerrado brasileiro. **ComCiência**, Campinas, n. 105. 2009.

BARROS, J. S. **Associação entre solos e vegetação nas áreas de transição cerrado-caatinga-floresta na bacia do Parnaíba: sub-bacia do rio Longá-PI**. Tese (Doutorado em Ecologia) Universidade de Brasília. 2012.

BARUCH, Z.; BELSKY, A. J.; BULLA, L.; FRANCO, C. A.; GARAY, I.; HARIDASAN, M.; LAVELLE, P.; MEDINA, E.; SARMIENTO, G. Biodiversity as regulator of energy flow, water use and nutrient cycling in savannas. In **Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes**. (pp. 175-194). Springer Berlin Heidelberg. 1996.

BOTREL, R. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; RODRIGUES, L. A.; CURI, N. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustivo de uma Floresta Estacional Semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, p. 195-213, 2002.

BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.

BRIDGEWATER, S.; RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F. Biogeographic patterns, b-diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. **Biodiversity and Conservation** v. 13, p. 2295-2318, 2004.

BUDKE, J. C.; JARENKOW, J. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Relationships between tree component structure, topography and soils of a riverside forest, Rio Botucaraí, Southern Brazil. **Plant Ecology** (Dordrecht), Dordrecht, v. 189, p. 187-200, 2007.

CAMARGOS, V. L.; DA SILVA, A. F.; MEIRA NETO, J. A.; MARTINS, S. V. Influência de fatores edáficos sobre variações florísticas na Floresta Estacional Semidecídua no entorno da Lagoa Carioca, Parque Estadual Rio Doce, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 22, p. 75-84, 2008.

CAMPOS, E. P.; DUARTE, T. G.; NERI, A. V.; SILVA, A. F.; MEIRA-NETO, J. A. A.; VALENTE, G. E. 2006. Composição florística de um trecho de cerrado *sensu stricto* e cerradão e sua relação com o solo na Floresta Nacional (FIONA) de Paraopeba, MG, Brasil. **Revista Árvore**, v. 30 (3): 471-479.

CAMPOS, P. M., LACERDA, M. P. C., SILVA, C. L. D., SÁ, M. A. C. D.; SOUSA, D. M. G. D. 2010. A drenagem interna como fator de diferenciação dos latossolos do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 306-314.

CARDOSO, D. A. de; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; VAN DEN BERG, E.; FONTES, M. A. L.; VILELA, E. de A.; MARQUES, J. J. G. de S.; CARVALHO, W. A. C. Variações florísticas e estruturais do componente arbóreo de uma floresta ombrófila altomontana às margens do rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. **Acta bot. bras.** São Paulo, v. 19, n. 1, p. 91-109, 2005.

CASEIRO, R. A. **O cerradão e o cerrado sentido restrito no Jardim Botânico de Brasília**. (tese) Universidade de Brasília. 2013.

CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. **Australian Journal of Ecology** 18: 117-143. 1993.

COLE, M. M. Influence of physical factors on the nature and dynamics of Forest-savanna boundaries. In **Nature and dynamics of forests-savanna boundaries**. Chapman & Hall, London. 1992.

COLE, M. M. **The savannas: biogeography and geobotany**. London: Academic Press, 1986. 438p.

CORDEIRO, J. **Compartimentação pedológica-ambiental e sua influência sobre a florística e estrutura de um remanescente de floresta ombrófila mista na Região Centro-Sul do Paraná**. Tese (Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. 2010.

COSTA, C. P. **Padrões da distribuição de plantas arbóreo-arbustivas em meso-escala no pantanal de Mato Grosso**. 2013. xvii, 100 f., il. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica** **20(1)**: 13-23. 2006.

CRUZ, A. R., SILVA, K. C.; NUNES-FREITAS, A. F. Estrutura e florística de comunidade arbórea em duas áreas de Floresta Ombrófila Densa em Macaé, RJ. **Rodriguésia**, **64(4)**, 791-805. 2013.

DALANESI, P. E.; OLIVEIRA FIHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Flora e estrutura do componente arbóreo da floresta do Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, Lavras, MG, e correlações entre a distribuição das espécies e variáveis ambientais. **Acta Botânica Brasilica**, v. 18, p. 737-757, 2004.

DANTAS, J.S. **Relação solo-paisagem e predição da erodibilidade de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros no Estado do Maranhão**. 2013. Tese (Programa de Pós Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP.

DE JESUS TEIXEIRA, L.; FELICIANO, A. L. P.; DE LUNA GALINDO, I. C.; MARTINS, C. M.; DE ALENCAR, A. L. Relações entre a florística arbórea e características do solo em um fragmento de floresta atlântica, Tamandaré-PE. **Floresta**, v. 40, n. 3, 2010.

DE SOUZA SIQUEIRA, A., DE ARAÚJO, G. M.; SCHIAVINI, I. Estrutura do componente arbóreo e características edáficas de dois fragmentos de floresta estacional decidual no vale do rio Araguari, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 1, p. 10-21, 2009.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review** **38(2)**: 201-338. 1972.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. Pp: 9-65. In: Pinto, M.N. Coord. **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectiva**. 2.ed. Brasília: UnB/SEMATEC. 1994.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

FAGUNDES, L. M.; L. M.; CARVALHO, D. A. de; VAN DEN BERG, E.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MACHADO, E. L. M. Florística e estrutura do estrato arbóreo de dois fragmentos de florestas decíduas às margens do rio Grande, em Alpinópolis e Passos, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 21, n. 1, 65-78. 2007.

FEITOZA, M. **Variações interanuais entre áreas preservada e antropogênica na assembleia de herbáceas na região semiárida do Nordeste do Brasil**. p. 34. Tese -Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE. 2013.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; LIBANO, A. M.; VENTUROLI, F.; PEREIRA, B. A. S.; MACHADO, E. L. M. Análise Multivariada: princípios e métodos em estudos da vegetação. In FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. (Eds.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos**. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2011.

FERREIRA, I. C. M; COELHO, R. M; TORRES, R. B; BERNACCI L. C. 2007. Solos e vegetação nativa remanescente no Município de Campinas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 42**: 1319-1327.

FERREIRA-JÚNIOR, W. G.; SILVA, A. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MEIRA NETO, J. A. A.; DIAS, A. S.; IGNÁCIO, M.; MEDEIROS, M. C. M. P. Influence of soils and topographic gradients on tree species distribution in a Brazilian Atlantic tropical. **Edinburgh Journal of Botany**. v. 64, n. 2, p. 137-57, 2007.

FINGER, Z.; OESTREICH FILHO, E. Efeitos do solo e da altitude sobre a distribuição de espécies arbóreas em remanescentes de cerrado sensu stricto. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n1, p. 27-33, 2014.

FREDERICO, S. Agricultura científica globalizada e fronteira agrícola moderna no Brasil. **Confins[Online]**. 2013. Disponível em <http://confins.revues.org/8153>; DOI: 10.4000/confins.8153 (Acesso em 01/06/2014).

FURLEY, P. A. The influence of slope on the nature and distribution of soils and plant communities in the Central Brazilian cerrado. In: ANDERSON, M. G.; BROOKS, S. M. (ed). **Advances in hillslope processes** v, 1. John Wiley & Sons. 1996. p. 327-346.

FURLEY, P. A., & RATTER, J. A. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography** **15(1)**: 97-108. 1988.

GAUCH, H.G. **Multivariate analysis in community ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. 263p.

GIEHL, E. L. H.; JARENKOW, J. A. Gradiente estrutural no componente arbóreo e relação com inundações em uma floresta ribeirinha, rio Uruguai, sul do Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 22, n. 3, 2008.

GONÇALVES, I. S, DIAS, H. C. T., MARTINS, S. V.; DE SOUZA, A. L. Fatores edáficos e as variações florísticas de um trecho de Mata Ciliar do Rio Gualaxo do Norte, Mariana, MG. **Revista Árvore**, 35(6), 1235-1243. 2011.

GOODLAND, R. The cerrado oxisols of the Triângulo Mineiro, central Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** **43**: 407-414. 1971.

GOODLAND, R.; POLLARD, R. The Brazilian cerrado vegetation: a fertility gradient. **Journal of Ecology** **61**: 219-224. 1973.

GOTELLI, N.J. **Ecologia**. 3.ed. Londrina: Editora Planta. 2007.

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Gerencia de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Universidade Estadual do Maranhão. **Atlas do Maranhão**. São Luís: GEPLAN. 2002.

Haidar, R. F. **Fitossociologia, diversidade e sua correlação com variáveis ambientais em florestas estacionais do bioma Cerrado no Planalto Central e Nordeste do Brasil**. 2008. 254p. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2008.

HAMMER, Ø. PAST PAleontological Statistics version 3.0. Reference Manual. **Natural History Museum, University of Oslo Norway**, 2013.

HARIDASAN, M. & ARAÚJO, G.M. 1988. Aluminium-acumulating species in two forest communities in the cerrado region of central Brazil. **Forestry Ecology Management**, v. 24:15-26.

HARIDASAN, M. Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerrado? 2006. Pp: 1-10. In: Prado, CHBA; Casali, CA. **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Barueri, editora Manole.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. 2000. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v,12: 54-64.

HIGUCHI, P., DA SILVA, A. C., DE ALMEIDA, J. A., DA COSTA BORTOLUZZI, R. L., MANTOVANI, A., DE SOUZA FERREIRA, T., ... & DA SILVA, K. M. Florística e estrutura do componente arbóreo e análise ambiental de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana no município de Painel, SC. **Ciência Florestal**, 23(1), p.153-164. 2013.

HOPE, A., 1968. A simplified monte carlo significance test procedure. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 30B, p.582–598.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. 2a ed. IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 2012.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE. 2004.

KENT, M.; COKER, P. **Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach**. Chichester, UK. John Willey. 1992.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. **GEONOMOS**, 5(1):17-40. 1997.

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**, São Paulo, v. 28, n. 3, 2005.

LINDOSO, G. D. S.; FELFILI, J. M.; SILVA, L. D. C. R. Variações ambientais e relações florísticas no cerrado sensu stricto sobre areia (Neossolo Quartzarênico) da Chapada Grande Meridional, Piauí. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 8, n. 2, p. 1-12, 2012.

LOPES, A.S.; COX, F. R. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. **Agronomy Journal** v. 69, p.828-831. 1977.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Solos sob cerrado**: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. São Paulo, ANDA, (2a edição). 62p. (boletim técnico, 5). 1994.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda de área do cerrado brasileiro**. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

MANLY, B.F.J. **Multivariate statistical methods**. London, Chapman & Hall, 1994.

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 Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 4, 2005.

MEINZER, F. C., GOLDSTEIN, G., FRANCO, A. C., BUSTAMANTE, M., IGLER, E., JACKSON, P.; CALDAS, L; RUNDEL, P. W. Atmospheric and hydraulic limitations on transpiration in Brazilian cerrado woody species. **Functional Ecology**, 13(2), 273-282. 1999.

MENDES, M. R. A, MUNHOZ, C. B. R., DA SILVA JÚNIOR, M. C., & CASTRO, A. A. J. F. Relação entre a vegetação e as propriedades do solo em áreas de campo limpo úmido no Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. **Rodriguésia**, 63(4), 971-984. 2013.

MENDONÇA, R.C., FELFILI, J.M., WALTER, B.M.T., SILVA-JUNIOR, M.C., REZENDE, A.V., FILGUEIRAS, T.S., NOGUEIRA, P.E. & FAGG, C.W. 2008. Flora Vascular do bioma Cerrado: *checklist* com 12.356 espécies. In: S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro (eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Embrapa Cerrados, Planaltina, 2008. p.421-1181.

MEWS, H.A. **O Cerrado sentido restrito sobre dois substratos no Brasil Central: padrões da flora lenhosa e correlações com variáveis geodafoclimáticas**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Publicação PPG/EFL. TD. 032/2014. 2014. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 78 p.

MORENO, M.I.C.; CARDOSO, E. Fatores edáficos influenciando na estrutura de fitofisionomias do cerrado. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 25, p.173-194. 2008.

MORENO, M. I. C.; SCHIAVINI, I. Relação entre vegetação e solo em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia (MG). **Revista Brasileira de Botânica**, v.24, n.4, p.21-35. 2001.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. D.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n., p. 853-858, 2000.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 52, n. 2, p. 141–194, 1995.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; RATTER, J. A. 2000. Padrões florísticos das matas ciliares da região do cerrado e a evolução das paisagens do Brasil Central durante o Quaternário Tardio. In: Rodrigues, R.R.; Leitão, H. F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Universidade de São Paulo. p. 73-89.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Eds.). **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91–120.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. D.; SHEPHERD, G. J.; MARTINS, F. R.; STUBBLEBINE, W. H. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of cerrado in central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n, 04, p. 413-431. 1989.

OTONI, T. J. O.; PEREIRA, I. M.; OLIVEIRA, M. L. R. D.; MACHADO, E. L. M.; FARNEZI, M. M.; MOTA, S. D. L. L. Arboreal component, phytosociology structure and environmental relations in a remnant of cerradão, Curvelo-MG. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 201-211, 2013.

PINTO, J. R. R.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; HAY, J. D. V. Influence of soil and topography on the composition of a tree community in a central brazilian valley forest. **Edinburgh Journal of Botany**, Inglaterra, v. 62, n. 1/2, p. 69-70, 2005.

PIRES, G. G.; DOS SANTOS, R. M.; TRISTÃO, R. A.; PIFANO, D. S.; REIS, C. A.; DOMINGOS, D. Q. Influência de variáveis ambientais na comunidade arbórea de inselbergs. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 97-104, 2014.

PIVELLO, V. R.; COUTINHO, L. M. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. **Forest Ecology and Management**, v, 87, n, 1, p. 127-138. 1996.

PONTES, A. C. F. **Análise de variância multivariada com utilização de testes não-paramétricos e componentes principais baseados em matrizes de postos**. 2005. 117p. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Agronomia – Estatística e experimentação) Escola Superior de Agricultura da Universidade de São Paulo.

RATTER, J. A.; DARGIE, T. C. D. An analysis of the floristic composition of 26 cerrado areas in Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 49, n. 02, p. 235–250, 1992.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras, Editora da UFLA. 2007.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp: 151-212. In: S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, (eds). **Cerrado: ecologia e flora**. Embrapa Cerrados, Planaltina. 2008.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp: 87-166. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P; (ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Brasília: Embrapa Cerrados. 1998.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. 5.ed. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 2003.

RODRIGUES, L. A.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; CARVALHO, D. A.; SILVA, E. A.; BOTREL, R. T. Efeitos de solo e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual em Luminárias-MG. **Revista Árvore**, v. 31, n.1, p.10-25, 2007.

RODRIGUES, R. F.; MONTEIRO DE ARAUJO, G. Estrutura da vegetação e características edáficas de um cerradão em solo distrófico e em solo mesotrófico no Triângulo Mineiro= Vegetation structure and soil characteristics of a dystrophic and a mesotrophic cerradão in the Triângulo Mineiro. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, 2013.

ROSSI, M.; MATTOS, I.F. de A.; COELHO, R.M.; DEMARIA, I.C.; FERREIRA, I.C. de M. Parque Estadual de Porto Ferreira, São Paulo: a influência do solo na ocorrência da vegetação natural. **O Agrônomo**, v.57, p.15-18, 2005.

RUGGIERO, P.G.C.; PIVELLO, V.R. O Solo e a Comunidade Vegetal. Pp: 173-188. In: Pivello, V.R. & Varanda, E.M. (orgs.). **O Cerrado Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga, SP) - Ecologia e Conservação**. São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 2005.

RUGGIERO, P.G.C.; PIVELLO, V.R.; SPAROVEK, G.; TERAMOTO, E.; PIRES NETO, A.G. Relação entre solo, vegetação e topografia em área de cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP): como se expressa em mapeamentos? **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 383-394, 2006.

SANO, E. E.; FERREIRA, L.G.; ASNER, G.P.; STEINKE, E.T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, p.2739-2752. 2007.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43(1): 153-156. 2008.

SANTANA, O. A.; ENCINAS, J. I.; INÁCIO, E. D. S. B.; DE AMORIM, L. B.; VILAVERDE, J. L. J. Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de cerrado. **Ciência Florestal**, **23(4)**: 783-794. 2013.

SMITH, M. L. Community and edaphic analysis of upland northern hardwood communities, central Vermont, USA. **Forest Ecology and Management**, v.72, p.267-74, 1995.

SOUSA, C. S.; KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; LOPES, E. C. S.; TEIXEIRA, S. G.; OLIVEIRA, J. K. M.; MOURA, E. M.; LEÃO M. H. B. Mapa Geológico e Recursos Minerais do Estado do Maranhão. In: Klein, E. L. & Sousa, C. S. (organizadores).

Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG, Escala 1:750.000. Belém: CPRM, 2012.

TER BRAAK, C. J. F. The analysis of vegetation-environment relationship by canonical correspondence analysis. **Vegetatio** 69: 69-77. 1987.

VALENTIN, J. L. Agrupamento e ordenação. Pp. 25-55. In: Peres-Neto, PN, JL Valentin & FAS Fernandez (Eds.). **Tópicos em tratamento de dados biológicos. Oecologia Brasiliensis**, V. II, Rio de Janeiro, PPGE-UFRJ. 1995.

VALLADARES, G. S.; QUARTAROLI, C. F.; HOTT, M. C.; MIRANDA, E. E.; NUNES, R. S.; KLEPKER, D.; LIMA, G. P. **Mapeamento da aptidão agrícola das terras do Estado do Maranhão.** Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2007. 25p. Disponível em: <http://www.aptidaoma.cnpm.embrapa.br/conteudo/publicacoes.htm>.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do Bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas.** 2006. Tese (Programa de Pós Graduação em Ecologia). Universidade de Brasília. 2006.

CAPÍTULO 2 - Diferenças florísticas, fitossociológicas e edáficas observadas em fragmentos de cerrado (*lato sensu*) no nordeste do estado do Maranhão, Brasil

Fredgardson Costa Martins^{1,4}; José Marques Júnior²; Nivaldo de Figueiredo³.

¹ Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Centro de Ciências Agrárias e Ambientais - Campus de Chapadinha, BR 222 km 04, s/n - 65500-000 Chapadinha, MA.

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Fac. de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Dep. de Solos e Adubos, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900 Jaboticabal, SP.

³ Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde – Cidade Universitária, Av. dos Portugueses, s/n - 65080-000 São Luís, MA.

⁴ Autor para correspondência: fred@ufma.br

(Diferenças florísticas, fitossociológicas e edáficas observadas em fragmentos de Cerrado *lato sensu* no nordeste do estado do Maranhão, Brasil)

RESUMO

Fatores que determinam a distribuição das fisionomias do cerrado estão em constante debate. Assim, com objetivo de responder às perguntas: existem diferenças florísticas e estruturais na vegetação e nos atributos do solo entre fragmentos de diferentes fisionomias de cerrado? o cerradão ocorre em solos mais férteis e/ou em condições físicas mais amenas que o cerrado ralo? Comparamos atributos físicos e químicos do solo e parâmetros fitossociológicos de três fragmentos (cerradão, cerradão degradado e cerrado ralo), localizados muito próximos um do outro e sobre solo distrófico no nordeste do Maranhão. Para as análises do solo, coletamos 49 amostras, por fragmento, na camada de 0-0,10 m de profundidade. Realizamos levantamento fitossociológico em 49 parcelas circulares, cujo centro foi o mesmo ponto de coleta de solo. Utilizamos o escalonamento não métrico multidimensional (NMDS) para ordenamento dos dados de vegetação. A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para ordenar os pontos amostrais em função dos atributos do solo. A análise fitossociológica e a NMDS sugerem distinção na estrutura e composição florista dos fragmentos. A PCA explicou 91,58% da variância dos dados e evidenciou diferenças entre os fragmentos. O cerradão, quando comparado ao cerrado ralo, ocorre em solo mais fértil e em condições físicas menos restritivas.

Palavras chave: atributo do solo, fitossociologia, NMDS, PCA, savana

(Floristic, phytosociological and edaphic variation observed in cerrado *sensu lato* fragments in Northeastern Maranhão, Brazil)

ABSTRACT

The determining factors on the cerrado physiognomies distribution have been continuously in question. So, two questions follow: is there any floristic and structural difference in both vegetation and soil attributes among different fragments of cerrado physiognomies? Does cerradão occur on more fertile soils and/or in mild physical conditions than the cerrado-ralo? In order to find appropriate information for answering these questions, physical and chemical soil attributes and the main phytosociological parameters of three near fragments (cerradão, cerradão degradado and cerrado-ralo), which occur in dystrophic soils in Northeastern Maranhão, were compared. For soil analysis, 49 samples were taken in each fragment in the 0-0.10m soil profile. Phytosociological survey was carried out in 49 circular plots, in which center

the soil sample points were located. The non-metric multidimensional scaling analysis (nMDS) was used to ordinate the vegetation data. The principal component analysis (PCA) was applied to ordinate the sampling plots in function of the soil attributes. The phytosociological and nMDS analysis suggest that the structure and floristic composition of the fragments are distinct. The PCA accounted for 91.58% of the variance and showed differences between the fragments. Cerradão occur in more fertile soils and in mild physical conditions than cerrado-ralo.

Keywords: soil attribute, phytosociology, PCA, nMDS, savanna

1. Introdução

O bioma Cerrado ocupa mais de dois milhões de quilômetros quadrados, distribuindo-se na direção sudeste-nordeste desde o Pantanal Mato-grossense até a faixa litorânea maranhense, interpondo-se entre os biomas Amazônia, Mata Atlântica, Pantanal e Caatinga (IBGE 2004; 2012).

A vegetação do bioma Cerrado é predominantemente constituída por fisionomias savânicas (*cerrado lato sensu*), que recobrem cerca de 70% dessa área (Coutinho 2006). De um modo geral, as formações savânicas incluem fisionomias variando de aspecto florestal, como o cerradão, até formas mais campestres, como o campo limpo. Encontramos ainda formações como a Floresta Estacional, estabelecida em áreas com solos mais férteis, como nos interflúvios e ao longo da rede de drenagem, além das formações ciliares que acompanham e margeiam rios e nascentes (Eiten 1994; IBGE 2004; Ruggiero & Pivello 2005; Coutinho 2006).

Diversos estudos de comunidades vegetais têm buscado descrever e explicar a ocorrência destes padrões florísticos e fisionômicos do cerrado através das relações entre a vegetação e os atributos dos solos ou de outros fatores ambientais (Goodland 1971a, b; Eiten, 1972; Goodland & Pollard 1973; Lopes & Cox 1977; Furley & Ratter 1988; Haridasan & Araújo 1988; Oliveira-Filho & Ratter 2002; Marimon-Júnior & Haridasan 2005; Campos *et al.* 2006; Haridasan 2006; Ferreira *et al.* 2007; Moreno & Cardoso 2008; Mendes *et al.* 2012; Rodrigues & Araújo 2013; Santana *et al.* 2013; Caseiro 2013; Finger & Oestreich Filho 2014).

Neste sentido, a ocorrência do cerradão tem sido relacionada ao gradiente de fertilidade do solo, em que o cerradão estaria ocupando sítios onde o solo possui fertilidade mais acentuada, mas não o suficiente para serem considerados solos mesotróficos, e as fisionomias mais campestres ocorreriam em solos de baixa fertilidade (Alvim & Araújo 1952; Goodland 1971a, b; Goodland & Pollard 1973; Lopes & Cox 1977; Oliveira-Filho & Ratter 2002). Entretanto, muitos outros estudos não têm encontrado esse alinhamento. Ratter (1971) e Ratter *et al.* (1973) reconheceram cerradão ocorrendo tanto em solos de alta fertilidade como em solos de baixa fertilidade em áreas no leste de Mato Grosso. Ribeiro & Haridasan (1984), Costa & Araújo (2001) e Marimon-Júnior & Haridassan (2005) encontraram cerradão e cerrado *sensu stricto* em solos de fertilidade igualmente baixa. Marimon-Júnior & Haridassan (2005) sugerem ainda que a granulometria do solo poderia ter papel mais importante na distribuição das diferentes fisionomias do cerrado que a própria fertilidade do solo. Assim, conforme sugerem Oliveira-Filho & Ratter (2000), é provável que não só um, mas uma combinação de fatores

ambientais determine a distribuição das fisionomias da vegetação de cerrado, entre as quais eles destacam a precipitação sazonal, a baixa fertilidade dos solos, drenagem moderada a alta, incêndios e as variações climáticas do quaternário.

Neste estudo, comparamos a comunidade lenhosa de três fragmentos de Cerrado (*lato sensu*) no nordeste do estado do Maranhão e amostramos as principais características de seus solos com o objetivo de investigar os padrões florísticos (riqueza e composição de espécies) e estruturais (densidade, área basal, entre outros) que os distinguissem, e as respectivas características edáficas associadas, buscando responder às seguintes perguntas: 1) existem diferenças florísticas e estruturais entre os três fragmentos estudados? 2) As diferenças, se presentes, também são acompanhadas por variações nos atributos físicos e químicos do solo? 3) As formações florestais do cerrado ocorrem em solos mais férteis e/ou com condições físicas menos restritivas que aquelas onde ocorrem as formações mais campestres? Para isso, comparamos a vegetação de três fragmentos de cerrados localizados muito próximos um do outro, em solos de mesma classe taxonômica e, portanto, sujeitos a semelhantes influências ambientais, inclusive pedogenéticas. Também analisamos e comparamos os atributos físicos e químicos do solo sob os três fragmentos.

2. Material e Métodos

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo situa-se na Fazenda Typuana, nas proximidades das coordenadas geográficas de 3°36'80'' S e 42°52'50'' W (Fig. 1-A), no município de Brejo, no nordeste do Estado do Maranhão. O clima, segundo a classificação climática de Thornthwaite, é do tipo C2W2A'a' (clima Súb-úmido), com moderada deficiência de água no inverno. A estação chuvosa está concentrada entre os meses de dezembro e maio, com precipitação anual entre 1600 e 2000 mm. A temperatura média anual fica acima dos 27 °C, e a umidade relativa anual, entre 70 e 73% (Governo do Estado do Maranhão, 2002). A vegetação natural da região é o cerrado (*lato sensu*), sendo o cerradão (Savana Florestada), a fisionomia predominante, e encontrado em diferentes estados de degradação, ocorrendo ainda manchas de até o cerrado ralo (Savana Arborizada) (IBGE 2012), que se desenvolvem sobre Argissolo Amarelo Distrocoeso típico, com material de origem relacionado à Formação Barreiras (Dantas 2013) e relevo predominantemente plano e suavemente ondulado.

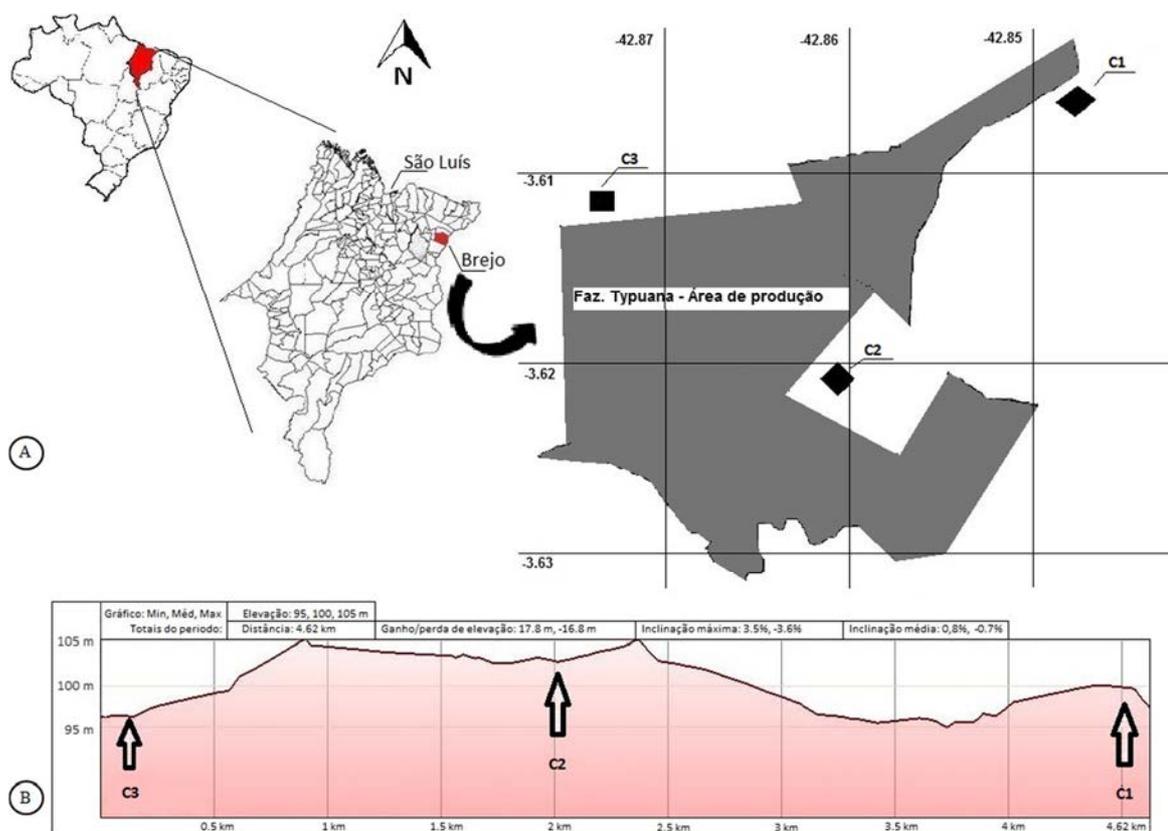


Figura 1. Área de Estudo. A - Localização do município de Brejo-MA e das áreas de amostragens. B – Perfil de elevação das áreas de amostragens (Baseado em Imagem Landsat, Image © 2014DigitalGlobe – GoogleEarth). C1 (Cerrado ralo), C2 (Cerradão) e C3 (Cerradão degradado) – parcelas amostrais instaladas em áreas remanescentes da vegetação de Cerrado *lato sensu*.

Para o estudo, foram selecionados três fragmentos fisionomicamente distintos e representativos do cerrado da região, denominados fragmento C1, C2 e C3 (Fig. 1-A e B). O fragmento C1 corresponde ao cerrado ralo (Savana Arborizada, *sensu* IBGE 2012), onde o componente arbóreo-arbustivo é bem esparsa e o gramínoide mais evidente. A altura média das árvores fica em torno dos 4 m. Esta área está localizada em pedofoma convexa e relevo suave ondulado. O fragmento C2 corresponde ao cerradão (Savana Florestada, *sensu* IBGE 2012), onde a fisionomia é mais florestal e as árvores têm altura média em torno dos 7-8 m. Esta área está localizada em pedofoma côncava e relevo suave ondulado. O fragmento C3 apresenta fisionomia semelhante ao C2, entretanto, apresentando um nível de perturbação antrópica maior (“Cerradão degradado”). A altura média das árvores é de 5-6 m. Também está localizada em pedofoma côncava e relevo suave ondulado.

Todos os fragmentos estão inseridos num mosaico de paisagem constituída por remanescentes de cerrados com diferentes fisionomias e níveis de degradação, constituindo

fragmentos com tamanho e forma variados, cortados por estradas vicinais e ladeados por plantações de soja, principalmente.

A caracterização química e mineralógica dos solos nesses fragmentos pode ser vista na Tab. 1.

Tabela 1. Teores dos óxidos do ataque sulfúrico (SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3), relações entre eles e índices de desordenamento e cristalinidade da caulinita de perfis dos solos de três fisionomias de cerrado no Município de Brejo-MA. C1 – Cerrado ralo; C2 – Cerradão e C3 - Cerradão degradado.

Fragmento	Horizonte	Óxidos do Ataque Sulfúrico			Relações		IK	HB
		SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	Ki	Kr		
C1	A1	45,5	7,9	100	0,8	0,7	-	-
	BA	110,5	12,3	175	1,0	1,0	1,44	6,86
	Bt1	126,5	13,4	210	1,0	1,0	1,44	6,65
	Bt2	145,0	17,7	230	1,0	1,0	1,26	6,55
C2	A1	32,0	3,3	85	0,6	0,6	-	-
	AB	79,5	7,2	125	1,0	1,0	1,50	6,20
	BA	89,0	7,9	160	1,0	1,0	1,50	6,18
	Bt2	113,5	12,3	185	1,0	1,0	1,39	6,19
C3	Bt3	134,5	13,0	225	1,0	1,0	-	-
	A1	64,5	3,3	80	1,4	1,3	-	-
	AB	52,5	5,6	115	0,8	0,7	1,53	6,53
	BA	83,5	6,7	125	1,1	1,1	1,51	7,17
	Bt2	120,5	8,8	195	1,0	1,0	1,29	6,27
	Bt3	133,0	16,8	235	1,0	0,9	-	-

Ki – índice de intemperismo do solo; IK - índice de desordenamento estrutural das caulinitas e HB - índice de cristalinidade das caulinitas. Valores de SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 expressos em g kg^{-1} . Dados adaptados de DANTAS (2013).

2.2 Delineamento amostral e coleta de dados

2.2.1 Estudo da vegetação

Em cada fragmento de cerrado, foi selecionada uma área visualmente uniforme em relação ao componente arbóreo-arbustivo e topográfico e instalada uma parcela amostral de 100x100 m. Para representar cada fitofisionomia, 49 subparcelas amostrais foram sistematicamente alocadas no cruzamento entre linhas de uma malha amostral quadrada de espaçamento regular de 15 metros. Cada ponto de cruzamento entre linhas constituiu-se no centro de uma subparcela circular com raio de 5 m. No processamento dos dados considerou-se cada subparcela como sendo uma parcela individualizada. Desse modo, cada parcela tinha área aproximada de 78,54 m^2 , e cada fitofisionomia teve uma área total amostrada de 3.848,46 m^2 . Para todas as parcelas amostradas, foram tomadas as coordenadas geográficas com o auxílio de um GPS de navegação. Nas parcelas, foram medidos, com o auxílio de fita métrica, os caules dos indivíduos arbóreo-arbustivos vivos ou mortos não tombados, inclusive cipós, com circunferência ao nível do solo (CAS) maior ou igual a 10 cm, ou quando a soma dos perímetros

das ramificações obedecesse a este critério. Para efeito de cálculos, estas medidas foram transformadas em diâmetro a altura do solo (DAS). Desse modo, embora os cálculos de área basal sejam realizados com o diâmetro tomado a 1,30 m acima do nível do solo, adotou-se, neste caso, a medição do DAS. As alturas totais foram estimadas visualmente, sempre pelo mesmo observador. Todos os indivíduos amostrados foram etiquetados com plaquetas de PVC, numeradas sequencialmente.

Os indivíduos mortos, assim como os indivíduos não identificados, foram incluídos nas categorias Morta e Indeterminada, respectivamente. Para todo indivíduo amostrado foi coletado materiais botânicos férteis e não férteis para fins de comparação com a literatura especializada e posterior identificação, sendo posteriormente herborizados conforme as técnicas usuais de herborização (Bridson & Forman 1998) e depositados como coleção testemunho no herbário do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão. O sistema de classificação botânica adotado foi baseado no Angiosperm Phylogeny Group III (APG III 2009). Para abreviações dos nomes de autores dos binômios específicos utilizou-se Brummit & Powell (1992).

O estudo fitossociológico foi conduzido entre os meses de janeiro de 2012 e maio de 2013. As análises de diversidade florística foram realizadas por meio dos índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') e de equabilidade de Pielou (J') (Krebs 1989). Esses cálculos foram realizados por meio do software Fitopac 2.1 (Shepherd 2010).

Para a análise da estrutura fitossociológica foram obtidos os principais parâmetros fitossociológicos: densidade, frequência e dominância absolutas e relativas, área basal e valor de importância (VI) para as espécies (Müller-Dombois & Ellenberg 1974; Magurran 1988). Adicionalmente, para cada parcela, calculamos o valor médio da área basal por indivíduo (AB/Ind). As médias dos principais parâmetros fitossociológicos dos três fragmentos foram comparadas entre si pelo método não paramétrico de Kruskal-Wallis com nível de significância de 5%. Estas comparações foram realizadas com o software InfoStat versão 2013 (Di Rienzo *et al.* 2013). Também avaliamos a estrutura da vegetação por meio da construção de curvas de distribuição dos indivíduos por classes de diâmetro com intervalos de classes calculados pela fórmula $IC=A/nc$, onde: IC é o intervalo de classe, A corresponde à amplitude dos dados e nc ao algoritmo de Sturges: $1+3,33 \log n$, onde n é o número de dados (Spiegel 1993).

Análises exploratórias dos dados referentes à similaridade florística entre os fragmentos foram determinadas qualitativamente (dados de presença e ausência), utilizando-se o índice de

Jaccard e Sorensen (Müller-Dombois & Ellenberg 1974) e com dados quantitativos (abundância das espécies), pelo índice de Bray-Curtis (Czekanowski) (Kent & Coker 1994). Para ordenar as relações florísticas entre os fragmentos no espaço multidimensional, foi utilizado o Método de Escalonamento Não-métrico Multidimensional (NMDS) (Kruskal 1964), baseado em uma matriz de distância calculada pelo índice de similaridade de Bray-Curtis, para dados de abundância, e pelo índice de similaridade de Jaccard, para dados de presença e ausência. Os gráficos dessas ordenações foram gerados após a estabilização do stress, o que ocorreu ao final das interações, indicando estabilidade nas soluções encontradas (McCune & Grace 2002). Para testar a significância dos eixos do NMDS, foi realizado o teste de permutação de Monte Carlo (Cox & Cox 2001). Também utilizamos, na matriz de similaridade de Jaccard e de Bray-Curtis, o teste não paramétrico ANOSIM unifatorial (One-way ANOSIM – ANalysis Of SIMilarities) para verificar a significância das diferenças florísticas entre os fragmentos definidas pelo NMDS. A ordenação pelo NMDS e o teste de Monte Carlo foram realizados com o software PC-ORD for Windows 4.1 (McCune & Meffod 1999) e o ANOSIM foi realizado pelo software PAST 3.1 (Hammer *et al.* 2001).

Para avaliar a representatividade da amostragem obteve-se a curva de rarefação (curva de acumulação de espécies) para cada fragmento analisado. A curva foi implementada com a solução analítica de *Mao Tau*, com desvio padrão. No gráfico, o erro padrão é convertido para intervalo de confiança de 95% (Colwell *et al.* 2004).

2.2.2 Estudo do solo

Para as análises físicas e químicas do solo, o ponto central da parcela do estudo da vegetação constituiu-se no ponto de coleta de solo. Desta forma, foram coletadas 49 amostras por fragmento estudado, totalizando 147 amostras de solo coletadas. As amostras foram coletadas na camada de 0-0,1 m de profundidade. Todas as coletas de solo foram realizadas entre os meses de abril e maio de 2013.

A análise granulométrica foi realizada utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico, e agitação, com aparato de baixa rotação, por 16 horas. A argila, a areia e o silte foram calculados conforme proposto por Camargo *et al.* (2009).

As determinações de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e volume total de poros (VTP) ocorreram conforme descrito pela Embrapa (2011), utilizando amostras preservadas de solo coletadas em anéis de volume conhecido e com auxílio do amostrador de Uhland.

A leitura da resistência do solo à penetração (RP) foi realizada nas mesmas amostras utilizadas para as determinações de Ds, Macro e Micro. As análises foram efetuadas com as amostras em equilíbrio de tensão de $6 \cdot 10^{-3}$ MPa. Foi utilizado o penetrômetro eletrônico estático, com velocidade constante de 4 mm min^{-1} , com registro de uma leitura por segundo, cone com semiângulo de 30° e área de base de $12,566 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, equipado com uma célula de carga de 200 N.

O índice de avermelhamento do solo (IAV) foi calculado conforme Barrón *et al.* (2000) com base nos valores Munsell de matiz, croma e valor, gerados por meio do programa Munsell Conversion, versão 6.5.1, tomando por base os valores de triestímulo XYZ, definidos pela Comision Internacional de L'Eclairage-CIE (Wyszecki & Stiles 1982), obtidos a partir da leitura dos espectros de reflectância difusa das amostras de solo. Para a análise de espectroscopia de reflectância difusa foi utilizado o sensor de laboratório Lambda 950, e os valores de reflectância foram determinados em espectrofotômetro equipado com esfera integradora de 80 mm, a cada 1 nm, com um tempo de integração de 0,2 segundo, com varredura no intervalo de 380 a 770 nm.

Nas análises químicas, foram determinados: MO (Matéria orgânica), pH (pH em H₂O), P, K, Ca, Mg, H+Al e Al (Raij *et al.* 2001). Com base nestes resultados, foi calculada a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC), a percentagem de saturação por bases (V) e a percentagem de saturação por alumínio (m).

A comparação entre as médias dos atributos do solo dos fragmentos foi realizada com análise de variância (ANOVA). Quando necessário, a análise foi complementada com o teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5%.

Para ordenar as parcelas amostrais, com base nos dados dos atributos físicos e químicos dos solos no espaço multidimensional, foi utilizada uma análise indireta de gradiente, a Análise de Componente Principal (PCA), realizada por meio do software PC-ORD for Windows 4.1 (McCune & Mefford 1999). Com o objetivo de obter o máximo de explicação da inércia total dos dados em apenas três eixos da PCA, utilizamos apenas as variáveis com maior correlação com os primeiros eixos de ordenação de uma série de PCAs preliminares, onde foram utilizadas diversas combinações das variáveis físicas e químicas obtidas no estudo do solo. A PCA final foi gerada com as seguintes variáveis (atributos do solo): densidade (Ds), índice de avermelhamento (IAV), teor de silte (Sil), resistência à penetração (RP) e teor de argila (Arg),

volume total de poros (VTP), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica (MO).

3. Resultados e discussão

3.1 Diversidade, florística e estrutura fitossociológica

Considerando os três fragmentos estudados, foram amostrados 1596 indivíduos, distribuídos em 47 espécies e 22 famílias botânicas, incluindo os indivíduos mortos como única espécie e considerando o grupo das indeterminadas e mortas como famílias (Tab. 2 e 3). O número de espécies e famílias está dentro da amplitude que tem sido relatada para os cerrados do Maranhão (Silva *et al.* 2008), considerando o tamanho amostral e a proximidade das amostras. A curva de acumulação de espécies apresentou tendência à estabilização nos três fragmentos (Fig. 3), apesar de, no fragmento C3, a assíntota tender a ser alcançada mais tardiamente. Este padrão demonstra que, em todos os fragmentos, o número de parcelas foi suficiente para estimar a realidade da composição vegetal, como consequência há a necessidade de um grande aumento amostral para o ingresso de novas espécies na amostragem, não compensando o esforço dispendido pelo resultado alcançado, evidenciando alta significância estatística dos dados (Ferreira & Cardoso 2013) e menor diversidade beta entre as parcelas de cada fragmento.

O número de espécies registrado nos três fragmentos, bem como os índices de diversidade de Shannon (H'), equabilidade de Pielou (J), além dos principais parâmetros fitossociológicos, são apresentados na Tab. 3. Os valores dos índices de diversidade (H') obtidos nos três fragmentos amostrados foram menores que os encontrados em outros trabalhos para os cerrados maranhenses, que apresentaram valores variando de 2,9 a 3,7 nat ind^{-1} (Ferreira 1997; Conceição 2000; Walter *et al.* 2000; Aquino *et al.* 2007a; Silva *et al.* 2008). Para outras áreas de cerrado do Brasil Central os valores encontrados variaram 3,4 e 3,7 nat ind^{-1} (Felfili *et al.* 2004), sendo o fragmento C2 o que mais se aproximou desses valores. Foi também no fragmento C2 que a equabilidade (J) foi mais alta, indicando que, nesse fragmento, existe uma distribuição mais uniforme do número de indivíduos entre as espécies existentes. Os valores mais baixos dos índices de diversidade neste trabalho podem ser justificados, principalmente, por diferenças nos critérios de inclusão e de intensidade amostral, mas ainda podem estar refletindo a própria natureza florística e fitossociológica que algumas fisionomias de cerrado apresentam, como, por exemplo, alta homogeneidade localizada, determinada pela dominância de poucas espécies, refletindo baixas diversidades alfa e beta, como é o caso do cerrado ralo.

Tabela 2. Número de indivíduos (NI), Densidade relativa (DeRel), Frequência relativa (FrRel), Dominância relativa (DoRel), Altura máxima (AltMax) e Valor de Importância (VI) das espécies amostradas em três fisionomias de Cerrado, no município de Brejo – MA. C1 – Cerrado ralo, C2 – Cerradão e C3 – “Cerradão degradado”.

Fragmento	Espécies	Espécies	NI	RelDe	RelFr	RelDo	MaxAlt	VI
C1	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L) Rich.	Malpighiaceae	126	35,10	24,42	14,81	5,00	74,33
	<i>Byrsonima subterranea</i> Brade & Markgr.	Malpighiaceae	82	22,84	13,95	9,94	0,70	46,73
	<i>Salvertia convallariaeodora</i> St. Hil.	Vochysiaceae	26	7,24	9,30	19,84	13,00	36,38
	<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	34	9,47	13,37	11,53	6,50	34,37
	<i>Ouratea hexasperma</i> (St. Hil.) Baill	Ochnaceae	33	9,19	10,47	12,82	3,50	32,48
	Myrtaceae sp.	Myrtaceae	17	4,74	8,72	16,44	6,50	29,90
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae	21	5,85	9,88	9,84	5,50	25,57
	<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke.	Fabaceae	3	0,84	1,74	1,73	3,80	4,31
	<i>Davilla flexuosa</i> A. St-Hil.	Dilleniaceae	4	1,11	2,33	0,33	3,00	3,77
	<i>Ouratea</i> sp.1	Ochnaceae	3	0,84	1,16	1,70	5,00	3,70
	<i>Byrsonima correifolia</i> A. Juss.	Malpighiaceae	4	1,11	1,16	0,40	1,30	2,67
	<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Apocynaceae	2	0,56	1,16	0,15	1,30	1,87
	<i>Himatanthus drasticus</i> (Mart.) Plumel	Apocynaceae	1	0,28	0,58	0,22	1,40	1,08
	<i>Senna</i> sp.	Fabaceae	1	0,28	0,58	0,09	1,40	0,95
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	Fabaceae	1	0,28	0,58	0,09	1,70	0,95	
<i>Microlicia</i> sp.	Melastomataceae	1	0,28	0,58	0,08	1,40	0,94	
C2	<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	50	13,19	11,45	17,64	17,00	42,28
	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L) Rich.	Malpighiaceae	51	13,46	10,69	7,16	9,00	31,31
	<i>Psidium myrsinites</i> DC.	Myrtaceae	47	12,40	9,92	5,95	9,00	28,27
	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Fabaceae	42	11,08	11,45	4,89	12,00	27,42
	<i>Stryphnodendron coriaceum</i> Benth.	Fabaceae	36	9,50	8,02	5,28	13,00	22,80
	<i>Caryocar coriaceum</i> Wittm.	Caryocaraceae	8	2,11	3,05	13,94	15,00	19,10
	<i>Parkia platycephala</i> Benth.	Fabaceae	10	2,64	3,05	11,19	16,00	16,88
	<i>Dimorphandra gardneriana</i> Tul.	Fabaceae	19	5,01	4,96	2,64	15,00	12,61

Fragmento	Espécies	Espécies	NI	RelDe	RelFr	RelDo	MaxAlt	VI
C2	<i>Curatella americana</i> L.	Dilleniaceae	11	2,90	4,20	5,06	15,00	12,16
	<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	Simaroubaceae	13	3,43	4,58	3,04	13,00	11,05
	<i>Ouratea hexasperma</i> (St. Hil.) Baill	Ochnaceae	12	3,17	3,44	3,07	9,00	9,68
	<i>Anacardium microcarpum</i> Ducke	Anacardiaceae	5	1,32	1,91	5,02	15,00	8,25
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae	10	2,64	3,82	1,30	16,00	7,76
	<i>Platonia insignis</i> Mart.	Clusiaceae	9	2,37	1,15	4,06	18,00	7,58
	<i>Himatanthus drasticus</i> (Mart.) Plumel	Apocynaceae	6	1,58	1,91	3,41	13,00	6,90
	<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Fabaceae	7	1,85	2,29	2,59	13,00	6,73
	L.G.Lohmann	Bignoniaceae	8	2,11	3,05	0,30	1,40	5,46
	<i>Annona coriacea</i> Mart.	Annonaceae	6	1,58	1,53	1,21	4,20	4,32
	Ipê 1	Bignoniaceae	5	1,32	1,91	0,63	10,00	3,86
	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Salicaceae	6	1,58	1,15	0,19	3,50	2,92
	<i>Salvertia convallariaeodora</i> St. Hil.	Vochysiaceae	3	0,79	1,15	0,59	11,00	2,53
	Morta	Morta	3	0,79	1,15	0,24	9,00	2,18
	Cipó2	Indeterminada	3	0,79	1,15	0,05	2,80	1,99
	<i>Combretum</i> sp	Combretaceae	3	0,79	0,76	0,13	3,50	1,68
	<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.	Opiliaceae	2	0,53	0,76	0,20	6,00	1,49
	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	Sapotaceae	2	0,53	0,76	0,05	4,00	1,34
	Cipó escada	Indeterminada	1	0,26	0,38	0,16	8,00	0,80
Mororo	Fabaceae	1	0,26	0,38	0,01	2,80	0,65	
C3	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L) Rich.	Malpighiaceae	204	23,75	12,95	14,67	8,00	51,36
	<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	192	22,35	12,40	14,28	10,00	49,02
	<i>Salvertia convallariaeodora</i> St. Hil.	Vochysiaceae	89	10,36	9,09	18,58	15,00	38,03
	Morta	Morta	70	8,15	10,47	13,49	5,50	32,10
	<i>Psidium myrsinites</i> DC.	Myrtaceae	60	6,98	9,64	4,11	6,10	20,74
	<i>Rourea induta</i> Planch.	Connaraceae	57	6,64	8,54	1,07	4,00	16,25

Fragmento	Espécies	Espécies	NI	RelDe	RelFr	RelDo	MaxAlt	VI
	<i>Stryphnodendron coriaceum</i> Benth.	Fabaceae	37	4,31	6,34	5,21	9,00	15,86
	<i>Curatella americana</i> L.	Dilleniaceae	29	3,38	5,23	4,57	7,50	13,18
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae	26	3,03	5,51	4,07	9,00	12,60
	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Fabaceae	20	2,33	4,13	4,80	6,50	11,26
	<i>Platonia insignis</i> Mart.	Clusiaceae	9	1,05	1,38	7,25	13,00	9,68
	<i>Parkia platycephala</i> Benth.	Fabaceae	6	0,70	1,65	1,47	6,00	3,82
	<i>Anacardium microcarpum</i> Ducke	Anacardiaceae	4	0,47	0,83	2,22	11,00	3,52
	<i>Himatanthus drasticus</i> (Mart.) Plumel	Apocynaceae	4	0,47	1,10	0,55	7,00	2,12
	<i>Casearia sylvestris</i> Swartz	Salicaceae	5	0,58	1,10	0,11	3,10	1,79
	Cipó	Indeterminada	8	0,93	0,55	0,28	8,00	1,76
	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	Sapotaceae	3	0,35	0,83	0,57	6,00	1,74
	<i>Byrsonima subterranea</i> Brade & Markgr	Malpighiaceae	4	0,47	1,10	0,10	0,60	1,67
	<i>Eugenia florida</i> D.C.	Myrtaceae	4	0,47	0,83	0,05	4,80	1,34
C3	<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	Fabaceae	2	0,23	0,55	0,43	11,00	1,22
	Peludinha	Myrtaceae	3	0,35	0,55	0,17	3,50	1,07
	<i>Annona coriacea</i> Mart.	Annonaceae	2	0,23	0,55	0,23	8,00	1,01
	<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	Simaroubaceae	2	0,23	0,55	0,20	5,00	0,98
	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl) DC.	Myrtaceae	4	0,47	0,28	0,12	3,50	0,86
	<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	Fabaceae	2	0,23	0,55	0,05	1,60	0,83
	<i>Dimorphandra gardneriana</i> Tul.	Fabaceae	1	0,12	0,28	0,39	4,00	0,79
	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. Et Schldl.) K. Schum.	Rubiaceae	1	0,12	0,28	0,39	4,50	0,78
	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Lecythidaceae	2	0,23	0,28	0,03	2,20	0,54
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex. Hayne	Fabaceae	1	0,12	0,28	0,13	5,20	0,52
	<i>Senna</i> sp.	Fabaceae	1	0,12	0,28	0,06	3,20	0,45
	Fedegoso	Fabaceae	1	0,12	0,28	0,03	1,30	0,42
	Myrtaceae sp.	Myrtaceae	1	0,12	0,28	0,03	1,40	0,42

Fragmento	Espécies	Espécies	NI	RelDe	RelFr	RelDo	MaxAlt	VI
C3	<i>Vitex aff. sellowiana</i> Cham.	Lamiaceae	1	0,12	0,28	0,02	3,60	0,41
	<i>Adenocalymma pedunculatum</i> (Vell.) L.G.Lohmann	Bignoniaceae	1	0,12	0,28	0,02	1,30	0,41
	<i>Combretum</i> sp.	Combretaceae	1	0,12	0,28	0,01	2,00	0,40
	Mororo	Fabaceae	1	0,12	0,28	0,01	4,00	0,40

Valores de DeRel, FrRel e DoRel estão em percentagem (%), os de AltMax em metros.

Tabela 3. Principais características fitossociológicas de três fisionomias de cerrado no município de Brejo – MA. C1 – Cerrado ralo; C2 – Cerradão e C3 – Cerradão degradado.

Fragmento	Nind	Nspp	De	AB	AB/Ind	Diâm	Alt	H'	J
C1	359	16	933,32a	3,77a	4,33x10 ⁻³ a	6,04a	1,28a	1,92	0,693
C2	379	28	985,31a	20,74b	23,01x10 ⁻³ c	12,58c	4,83c	2,81	0,843
C3	858	36	2233,21b	19,49b	9,31x10 ⁻³ b	8,59b	2,70b	2,40	0,665

NInd – número total de indivíduos; Nspp – número total de espécies; De – Densidade total de indivíduos; AB – Área basal total; AB/Ind – área basal média por indivíduo; Diâm – diâmetro médio; Alt – altura média; H' – índice de diversidade de Shannon-Wiener; J - índice de equabilidade de Pielou. Os valores de De estão em Indivíduos ha⁻¹, os de AB em m² ha⁻¹, os de AB/Ind em m², e os de H' em nats indivíduo⁻¹. Valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferem ao nível 5% no teste de Kruskal-Wallis.

A densidade total dos indivíduos (De) no fragmento C3 foi cerca de duas vezes superior aos valores dos fragmentos C1 e C2, não sendo verificadas diferenças entre estes dois últimos. Entretanto, os maiores valores para área basal total (AB) do fragmento C2 o diferencia do fragmento C1. Quando analisamos o parâmetro área basal por indivíduo (AB/Ind), verificamos diferenças marcantes entre os três fragmentos, com o fragmento C1 apresentando o menor valor e o fragmento C2 o maior, sugerindo um gradiente de biomassa (por indivíduo) que aumenta no sentido C1, C3 e C2. Esse mesmo comportamento também foi observado para os parâmetros diâmetro médio (Diâm) e altura média (Alt). No geral, estes resultados expressam padrões característicos para as fisionomias que cada fragmento representa, Savana Arborizada (Cerrado ralo) do fragmento C1, Savana Florestada (Cerradão) do fragmento C2 e “Cerradão degradado” do fragmento C3, e os valores obtidos estão dentro das variações conhecidas para áreas de cerrados (Andrade *et al.* 2002; Silva *et al.* 2008; Marimon-Júnior & Haridasan 2005; Aquino *et al.* 2007a; Aquino *et al.* 2007b; Moreno *et al.* 2008; Gomes *et al.* 2011, Solórzano *et al.* 2012). A maior densidade, o maior número de espécies, a menor relação área basal por indivíduo e a menor diversidade encontrados no fragmento C3, comparativamente ao fragmento C2, ambos representantes da fisionomia de cerradão, corroboram o comportamento esperado em áreas mais degradadas, em função do próprio processo sucessional (Connell 1978; Brancalion *et al.* 2009), neste caso, o fragmento C3.

A distribuição de indivíduos por classe de diâmetro resultou, nos três fragmentos, em uma curva semelhante a uma exponencial negativa (J-invertido), evidenciando altas concentrações de indivíduos nas classes iniciais de diâmetro, como esperado numa população em regeneração contínua (Felfili & Silva-Júnior 1988). Entretanto, a ausência de indivíduos em

algumas das classes de maior diâmetro, verificada em todos os fragmentos, sugere a existência de corte seletivo de indivíduos (Fig. 4-A, B e C).

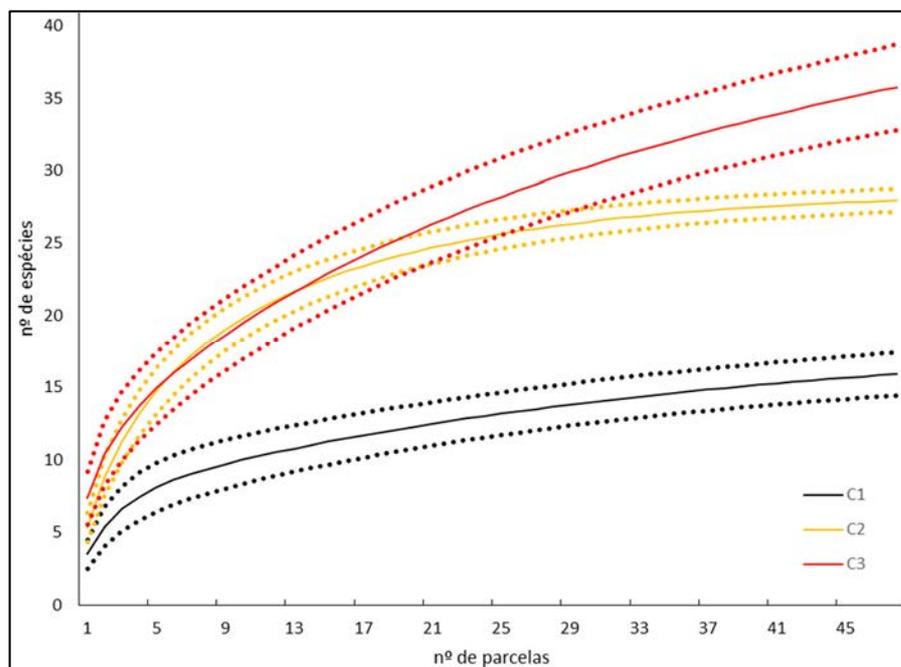


Figura 2. Curva de acumulação de espécies de três fisionomias de cerrado no município de Brejo - MA. C1 – Cerrado ralo, C2 – Cerradão e C3 – Cerradão degradado.

A análise fitossociológica resultou em ordenação distinta das espécies nos fragmentos (Tab. 2). Verificou-se que, além da troca na posição da maioria das espécies, com boa parte deles ocupando posições diferentes ou não aparecendo entre as mais importantes nos outros fragmentos, o peso relativo que cada espécie tem nos fragmentos também difere (exceção feita a *Byrsonima crassifolia* e *Salvertia convallariaeodora* que permaneceram, respectivamente, como primeira e terceira espécie mais importante no fragmento C1 e C3).

Assim, no cerrado ralo (C1), apenas cinco espécies representaram cerca de 75% do VI total: *Byrsonima crassifolia*, *Byrsonima subterranea*, *Salvertia convallariaeodora*, *Qualea parviflora* e *Ouratea hexasperma*, em ordem de VI. No cerradão (C2) é necessário o dobro do número de espécies para atingir 75% do VI total. São elas: *Qualea parviflora*, *Byrsonima crassifolia*, *Psidium myrsinites*, *Plathymenia reticulata*, *Stryphnodendron coriaceum*, *Caryocar coriaceum*, *Parkia platycephala*, *Dimorphandra gardneriana*, *Curatella americana* e *Simarouba versicolor*; destas, as oito últimas não figuram sequer entre as dez mais importantes do fragmento C1. No “cerradão degradado” (C3), sete espécies perfazem 75% do

VI total; são elas: *Byrsonima crassifolia*, *Qualea parviflora*, *Salvertia convallariaeodora*, o grupo das “Mortas”, *Psidium myrsinites*, *Rourea induta* e *Stryphnodendron coriaceum*; destas, as três primeiras aparecem entre as primeiras do fragmento C1 e apenas *S. convallariaeodora*, o grupo das “Mortas” e *R. induta* não aparecem entre as 10 mais importantes no fragmento C2. Assim, a análise fitossociológica apontou diferenças estruturais entre os fragmentos estudados, sugerindo, entretanto, que o fragmento C3 apresenta características intermediárias entre os fragmentos C1 e C2.

A composição de espécies dos três fragmentos também diferiu da encontrada para outras áreas de cerrado do Maranhão; apenas três das espécies de maior VI deste estudo (*Salvertia convallariaeodora*, *Qualea parviflora* e *Ouatea hexasperma*) figuram entre as mais importantes em outros estudos para o cerrado maranhense (Ferreira 1997; Aquino *et al.* 2007a, b; Silva *et al.* 2008).

Os valores de similaridade entre os fragmentos, determinados pelos índices de Jaccard, Sorensen e Bray-Curtis (Czekanowski), apontam maiores semelhanças entre os fragmentos C2 e C3 (Tab. 4). A menor similaridade pelos índices de Jaccard e Bray-Curtis (Czekanowski) foi entre o fragmento C1 e C2 e, pelo índice de Sorensen, foi entre C1 e C3. Müller-Dombois e Ellenberg (1974) consideram floristicamente distintas as fitofisionomias cujo valor do índice de similaridade não ultrapassa 0,25, e Magurran (2004) considera valores de similaridade maiores que 0,5 muito altos. Assim, o fragmento C1 é floristicamente distinto de C2 e C3, e estes últimos, mais similares entre si.

As análises explanatórias de similaridade, realizadas com o NMDS para dados quantitativos, resultaram em um stress de 19,82, para soluções em três eixos, e explicaram grande parte das distâncias originais, pois o teste de Monte Carlo foi significativo para os três eixos ($p=0,032$), indicando que a ordenação foi satisfatória e não foi encontrada meramente ao acaso (Fig. 3-A). Para dados qualitativos, a ordenação NMDS também explicou grande parte das distâncias originais e resultaram em valor de stress um pouco melhor (18,61), também para soluções em três eixos, e o teste de Monte Carlo produziu valores significativos para todos os eixos ($p=0,023$) (Fig. 3-B). A estatística ANOSIM também resultou em valores altamente significativos, tanto para dados quantitativos quanto para dados qualitativos ($R=0,466$ e $R=0,475$, respectivamente; $p=0,0003$ para ambos) reforçando a significância das ordenações NMDS. Esses resultados evidenciam a formação de três grupos consistentes, tanto com base na matriz de composição qualitativa quanto com base na abundância das espécies. As ordenações

sugerem ainda maior homogeneidade no fragmento C3, onde as parcelas estão mais agrupadas umas às outras, e maior heterogeneidade no C2. A ordenação NMDS quantitativa sugere ainda maior dissimilaridade entre C1 e C2 e reforça o padrão transicional do fragmento C3.

Tabela 4. Índices de similaridade entre as três fisionomias de cerrado no município de Brejo-MA. C1 – Cerrado ralo, C2 – Cerradão e C3 – Cerradão degradado

Fragmentos	Índices de Similaridade		
	Jaccard	Sorensen	Bray-Curtis (Czekanowski)
C1 x C2	0,189	0,378	0,309
C1 x C3	0,209	0,209	0,353
C2 x C3	0,488	0,429	0,435

3.2 Fertilidade do Solo

Os três fragmentos estudados apresentam solos pobres, ácidos e com baixa saturação por bases (Tab. 5). Estas características são mencionadas em muitos trabalhos em fisionomias de cerrados (Haridasan 2006), apresentando, entretanto, variações relevantes para a distinção entre eles. Apenas os teores de K não variaram entre os três fragmentos, mas encontram-se dentro da amplitude descrita para áreas de cerrados (Furley & Ratter 1988; Marimon-Júnior & Haridasan 2005; Caseiro 2013).

Os teores de cálcio e magnésio encontram-se abaixo de $2 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$, inferiores ao limite usado como critério para separar solos mesotróficos de solos distróficos (Ratter *et al.* 1978; Haridasan & Araújo 1988), corroborando a condição distrófica destes solos.

Entre os fragmentos, o C2 apresentou teores de Ca e Mg, em média, duas vezes superiores aos valores encontrados nos fragmentos C1 e C3. Também no fragmento C2 os teores de MO são duas vezes superiores aos do fragmento C1; contudo, as diferenças para o C3 são menores.

A acidez trocável (Al^{3+}), seguindo critérios de Alvarez *et al.* (1999), foi considerada baixa para o fragmento C1 e média para C2 e C3. Entretanto, a alta saturação por alumínio (m) no fragmento C3, condição mais importante no contexto da fitotoxicidade do que a quantidade absoluta de Al^{3+} (Haridasan 2006), aliada a condição de muito baixa saturação por bases nesse fragmento, pode estabelecer condições desfavoráveis para algumas espécies e representar o aumento da abundância de outras consideradas acumuladoras de alumínio (*sensu* Haridasan 2006), provocando mudanças florísticas e estruturais nessas comunidades.

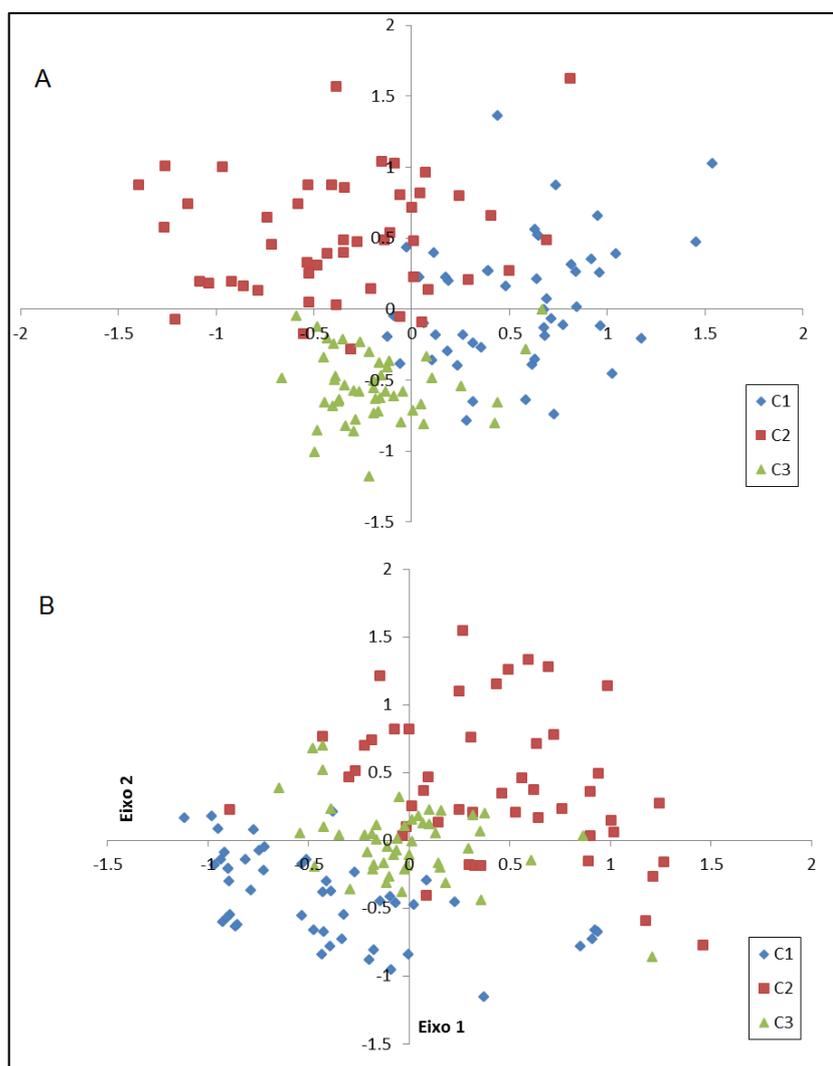


Figura 3. Ordenações NMDS para composição e abundância de espécies de três fisionomias de cerrado do município de Brejo – MA. A- ordenação baseada na presença e ausência das espécies (Jaccard) B – Ordenação baseada na abundância das espécies (Bray-Curtis). C1 – Cerrado ralo, C2 – Cerradão e C3 – Cerradão degradado.

Os valores de acidez ativa (pH) estão dentro dos limites de acidez média de Alvarez *et al.* (1999) e também dentro da variação encontrada para o cerrado (Furley & Ratter 1988). Os valores mais baixos (acidez mais elevada) foram encontrados no fragmento C3. Os fragmentos C2 e C1 não apresentaram diferenças entre si.

Dessa forma, as diferenças apontadas na composição florística e na estrutura das comunidades dos fragmentos estudados podem ser atribuídas, pelo menos em parte, às condições de fertilidade diferenciada nesses fragmentos, concordando com os resultados de Alvim & Araújo (1952), Goodland (1971a; b), Goodland & Pollard (1973), Lopes & Cox

(1977) e Mews (2014) e indo de encontro aos de Ratter (1971), Ratter *et al.* (1973), Ribeiro & Haridasan (1984), Costa & Araújo (2001) e Marimon-Júnior & Haridassan (2005). É importante ressaltar que as condições de fertilidade dos fragmentos, por si só, não podem ser apontadas como o principal requisito para o estabelecimento de uma ou outra fisionomia de cerrado. Muito provavelmente, é a combinação de diversos fatores que regem esse processo, embora o solo seja, sem dúvida, um dos mais importantes, quer seja por sua fertilidade ou por sua condição física ou hidrológica, ou todas elas.

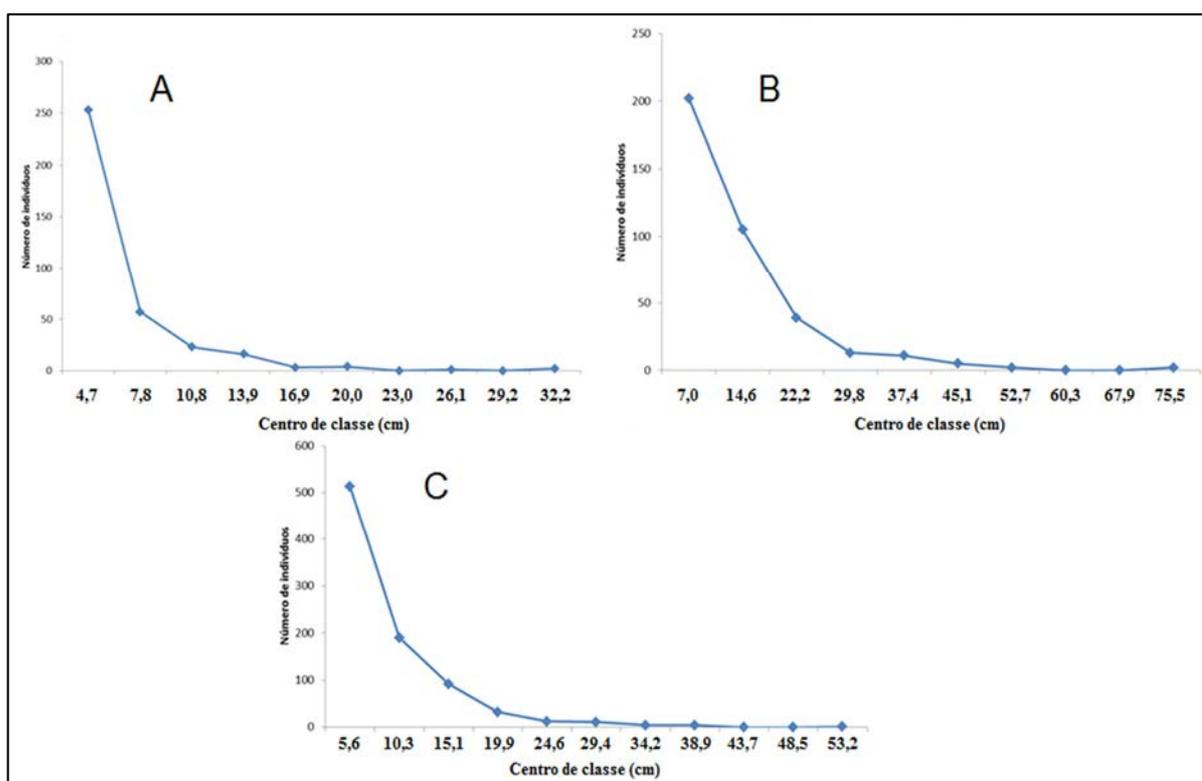


Figura 4. Distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro em três fragmentos de cerrados no município de Brejo MA. A – Cerrado ralo (C1), intervalo fixo de 3,0 cm; B – Cerradão (C2), intervalo fixo de 7,6 cm e C – Cerradão degradado (C3), intervalo fixo de 4,8 cm.

3.3 Física do solo

As frações granulométricas do solo (argila, silte e areia) também revelaram padrões diferenciados entre os três fragmentos (Tab. 5). As frações argila, silte e areia total do fragmento C1 foram diferentes de C2 e C3, apresentando valores maiores para argila e silte e menores para areia total (AT). As frações de areia (AMF, AF, AM, AG e AMG) do fragmento C1 também foram diferentes de C2 e C3. O fragmento C2 não diferiu do C3 em relação ao teor de argila,

mas apresentou menores teores de silte e maiores de teores de areia total em relação a este último. Marimon-Júnior & Haridasan (2005), em estudo comparativo de solos sob cerradão e cerrado *sensu stricto*, não encontraram diferenças na fertilidade dos solos, mas encontraram variações relevantes na composição granulométrica e sugeriram mais estudos relacionados à importância desse atributo na distribuição das diferentes fisionomias de cerrado. Esses autores propõem ainda a investigação sobre o material de origem dos solos nessas fitofisionomias, o que, segundo eles, poderia indicar a história geológica de ambos e o papel desta no fornecimento diferencial de nutrientes no passado.

Nos solos da área deste estudo, os padrões granulométricos podem estar relacionados a dois fatores: 1 - à gênese do solo, incluindo o material de origem (Moreau *et al.* 2006), pois, como explica Resende (2013), a Formação Barreiras apresenta cobertura sedimentar depositada por sistemas fluviais entrelaçados, que apresentam granulometria variada com cascalho e areias grossas e finas com intercalações de microclastos de argila; desse modo, variações na textura em ambientes formados nessas condições são esperadas; 2 - ao sistema deposicional de sedimentos, que, conforme explicam Sanchez *et al.* (2009) difere de acordo com os diferentes declives e formas da paisagem (côncava e convexa), que influenciam no fluxo de água, convergente nas pedoformas côncavas e divergente nas convexas. Dessa forma, independentemente dos fatores responsáveis pelas diferenças granulométricas encontrados na área, esses padrões remontam ao passado e, ao longo de milhares de anos, podem refletir condições diferenciadas, tanto físicas quanto nutricionais, para as comunidades vegetais que se estabelecem sobre eles.

Em relação aos atributos Ds, VTP, Micro, Macro, RP e IAV, todos os fragmentos mostraram-se diferentes entre si. O fragmento C1 apresentou os valores mais altos de Ds, RP e IAV e mais baixos de VTP, Micro e Macro. O fragmento C3 apresentou valores intermediários entre o C1 e o C2, exceção feita para a Micro, onde o C3 apresentou os maiores valores. A relação Macro/VTP oferece uma medida de distribuição da porosidade no solo (Kiehl 1979), sendo que, neste estudo, apenas o fragmento C2 apresentou proporção considerada adequada (40%), o C3 atingiu cerca de 32% e o C1 apenas 25% (Kiehl 1979). Como a porosidade, em especial a macroporosidade, está diretamente relacionada com a infiltração de água no solo, com a movimentação de solutos e com o crescimento de raízes (De Sousa 2008), o fragmento C2 é o que apresenta as melhores condições de infiltração e desenvolvimento de raízes,

condições necessárias para o desenvolvimento de uma comunidade florestal mais desenvolvida, neste caso, o Cerradão.

Tabela 5. Valores médios dos atributos químicos e físicos de solos de três fisionomias de cerrado, tomadas na camada de 0,0-0,1m no Município de Brejo-MA. C1 – Cerrado ralo, C2 - Cerradão e C3 – Cerradão degradado

Atributo do solo	Fragmento								
	C1			C2			C3		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV
P	2,9b	0,4	14,6	4,1a	2,0	48,3	4,1a	3,1	75,2
MO	14,4c	2,0	13,5	29,1a	9,6	32,9	24,3b	6,8	27,9
pH	5,5a	0,2	3,0	5,4a	0,2	3,9	5,1b	0,2	3,0
K	0,5a	0,1	21,3	0,5a	0,1	26,6	0,4a	0,1	25,4
Ca	4,4b	1,5	34,3	8,8a	6,9	78,3	4,5b	2,0	44,4
Mg	2,6b	0,7	26,6	6,0a	3,7	61,5	2,9b	1,5	49,3
H+Al	22,1b	3,0	13,5	56,9a	15,6	27,4	55,6a	14,3	25,7
Al	3,9c	1,0	26,8	6,8b	3,1	45,6	9,2a	2,7	29,9
SB	7,4b	2,2	29,1	15,3a	10,4	68,4	7,9b	3,4	43,0
CTC	29,5c	4,0	13,7	72,1a	19,4	27,0	63,5b	15,0	23,6
V%	24,9a	5,2	20,7	20,5b	10,3	50,4	12,7c	5,2	41,0
m	35,0b	9,0	25,7	35,4b	18,4	51,9	54,5a	13,8	25,3
Arg	154,3a	15,8	10,3	130,2b	19,1	14,7	129,5b	16,6	12,9
Sil	166,1a	16,4	9,9	97,6c	13,1	13,4	116,5b	7,1	6,1
AT	679,6c	25,2	3,7	772,2a	18,0	2,3	754,0b	17,9	2,4
AMF	193,2a	16,9	8,7	138,6c	16,4	11,8	185,1b	14,6	7,9
AF	350,0b	20,4	5,8	412,9a	17,6	4,3	406,6a	24,3	6,0
AM	98,2c	14,0	14,3	157,4a	15,6	9,9	112,9b	15,6	13,8
AG	24,2c	5,6	22,9	52,0a	10,3	19,8	37,6b	5,9	15,7
AMG	14,1a	6,7	47,3	11,3b	5,0	43,8	11,8b	4,1	34,5
Ds	1,83a	0,04	2,18	1,56c	0,09	5,57	1,69b	0,06	3,52
VTP	27,97c	1,34	4,80	37,77a	2,41	6,39	34,08b	2,09	6,12
Micro	20,97c	0,59	2,82	22,61b	1,68	7,41	23,28a	1,25	5,36
Macro	6,99c	1,36	19,47	15,17a	2,59	17,06	10,80b	1,69	15,59
RP	1,58a	0,42	26,48	0,88c	0,40	45,73	1,18b	0,30	25,07
IAV	0,43a	0,02	4,65	0,25c	0,03	13,12	0,29b	0,02	6,89

CV – coeficiente de variação (%); DP – desvio-padrão; Arg – argila; Sil – silte; AT - areia total; AMF - areia muito fina; AF - areia fina; AM - areia média; AG - areia grossa e AMG - areia muito grossa; Ds – densidade; VTP – Volume total de poros; Micro – microporosidade; Macro – macroporosidade; RP – resistência do solo à penetração; IAV – índice de avermelhamento do solo; P-res – fósforo em resina; MO – matéria orgânica; pH – pH em água; SB – soma de bases; H+Al – Acidez potencial; Al – Acidez trocável (Al^{+3}); CTC – capacidade de troca de cátions; V - saturação por bases; m – saturação por alumínio. Os valores de MO são expressos em $g\ dm^{-3}$, de P-res em $mg\ dm^{-3}$, de K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB e CTC em $mmol\ c\ dm^{-3}$, de V%, VTP, Micro, Macro e m em percentagem, de Ds em $g\ cm^{-3}$ e de RP em Mpa. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Os valores de RP foram, no geral foram baixos. Valores superiores a 2,0 Mpa, comumente aceito como impeditivo ao crescimento radicular (Taylor *et al.* 1966), só foram encontrados em amostras do fragmento C1, apesar de a média ser inferior a esse valor.

Os valores mais baixos do IAV nos fragmentos C2 e C3, em relação ao C1, podem estar relacionados às diferenças nas formas do relevo. Para Resende *et al.* (2007), por favorecer o armazenamento de água, a pedoforma côncava torna o ambiente redutor; sendo assim, o Fe^{3+} , que confere a cor vermelha do solo, é reduzido a Fe^{2+} , mais solúvel, que é retirado do sistema, ficando o solo com coloração mais amarelada e, por consequência, os valores de IAV mais baixos (Resende *et al.* 2007). Santana *et al.* (2013), citando outros autores, mencionam que a cor do solo sobre áreas com vegetação mais densa é mais escura por causa da influência da matéria orgânica acumulada na superfície desse solo. Dessa maneira, a serapilheira, o húmus e os organismos vivos, especialmente bactérias, desempenham um importante papel na remoção e redução do ferro (Fe^{3+} é reduzido para Fe^{2+}) e do manganês (Mn^{4+} é reduzido para Mn^{2+}), modificando a cor do solo. Os teores de óxido de ferro (Fe_2O_3) encontrados por Dantas (2013) (Tab. 1) reforçam essas premissas.

3.4 Ordenação dos atributos do solo

A ordenação das parcelas amostrais em função dos atributos físicos e químicos do solo pela PCA (Fig. 5) reproduziu em três eixos 91,58% da inércia total do sistema e evidenciou a formação de pelo menos dois grupos bem distintos. O primeiro e mais homogêneo, formado pelas parcelas do fragmento de cerrado ralo (C1) e o segundo, mais heterogêneo, formado pelas parcelas do fragmento de cerradão (C2) e cerradão degradado (C3). Apenas a primeira componente incluiu 71,50% da inércia total, positivamente correlacionada com as variáveis densidade do solo (Ds), índice de avermelhamento do solo (IAV), teor de silte (Sil), resistência do solo à penetração (RP) e teor de argila (Arg), e negativamente correlacionada com o volume total de poros (VTP), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica (MO). A segunda componente incluiu 12,90% da inércia total e correlacionou-se negativamente apenas com o volume total de poros (VTP) e positivamente com todos os demais atributos do solo utilizados na ordenação.

As parcelas do fragmento C1 estão positivamente associadas aos maiores valores de densidade, índice de avermelhamento, teor de silte, resistência a penetração e teor de argila, e negativamente associadas com volume total de poros, acidez potencial, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica, comportamento oposto às parcelas do fragmento C3 e da maioria

das parcelas do fragmento C2. O posicionamento das parcelas do fragmento C1 corrobora as premissas estabelecidas por Rosolem *et al.* (1999) apud Roque *et al.* (2003) em que solos com maiores teores de argila e maiores densidades apresentam maior resistência à penetração. O posicionamento da maioria das parcelas do fragmento C3, assim como sugerem as ordenações NMDS para dados quantitativos das espécies, aponta condições físicas e químicas intermediárias neste fragmento.

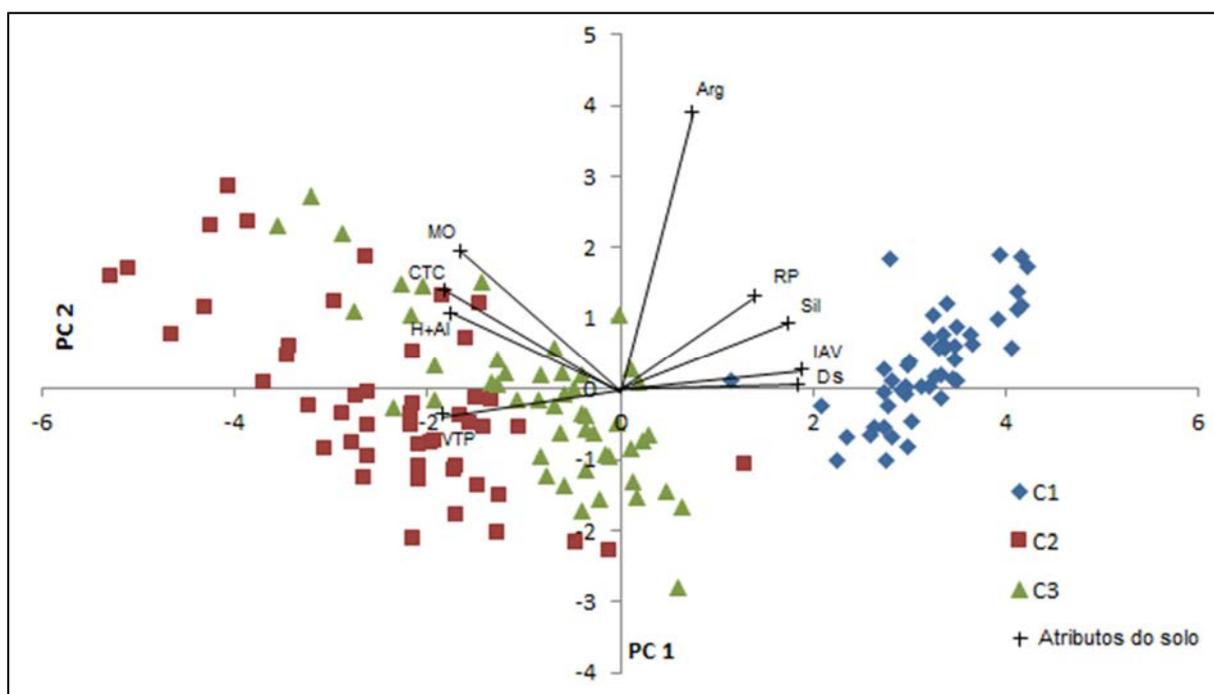


Figura 5. Diagrama de ordenação produzida pela análise de componentes principais (PCA), baseada em atributos do solo de três fragmentos de cerrado no Município de Brejo-MA. Os atributos do solo estão abreviados por: Arg - argila, CTC – capacidade de troca catiônica, Ds - densidade do solo, H+Al – acidez potencial, IAV - índice de avermelhamento do solo, MO - matéria orgânica, RP - resistência do solo a penetração, Sil - silte e VTP – volume total de poros. C1 – Cerrado ralo, C2 – Cerradão, C3 – Cerradão degradado.

O padrão de ordenação das parcelas produzido pela PCA, aliado aos resultados das análises de variância dos atributos físicos e químicos dos solos, e o da ordenação dos dados de vegetação pela NMDS, sugerem associação entre padrões encontrados nas fitofisionomias e as características físicas e químicas do solo desses fragmentos.

4. Conclusões

Os três fragmentos de cerrados apresentam diferenças florísticas e estruturais suficientes para considerá-los como fisionomias distintas entre si;

Os atributos físicos e químicos dos solos estudados evidenciam padrões distintos nos três fragmentos, reforçando as diferenças entre os fragmentos.

O cerradão, quando comparado ao cerrado ralo, ocorre em solos mais férteis e condições físicas melhores.

5. Agradecimentos

À Capes, pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor.

6. Referências

- Alvarez V.V.H.; Novais, R.F.; Barros, N.F.; Catarutti, R.B. & Lopes, A.S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. Pp: 25-32. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G. & Alvarez V.V.H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.
- Alvim, P.T. & Araújo, W.A. 1952. El suelo como fator ecológico en el desarrollo de la vegetación en el centrooeste del Brasil. **Turrialba** 2(4): 153-160.
- Andrade, L. A.; Felfili, J. M. & Violatti, L. 2002. Fitossociologia de uma área de cerrado denso na RECOR-IBGE, Brasília-DF, Brazil. **Acta Botanica Brasilica** 16(2): 225-240.
- APG III - Angiosperm Phylogeny Group III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. **Botanical Journal of the Linnean Society** 161(2): 105-121,
- Aquino, F. D. G.; Walter, B.M.T. & Ribeiro, J.F. 2007a. Woody community dynamics in two fragments of " cerrado" stricto sensu over a seven-year period (1995-2002), MA, Brazil. **Brazilian Journal of Botany** 30(1): 113-121.
- Aquino, F.D.G.; Walter, B.M.T. & Ribeiro, J.F. 2007b. Dinâmica de populações de espécies lenhosas de cerrado, Balsas, Maranhão. **Revista Árvore** 31(5): 793-803.
- Barrón, V.; Mello, J.W.V. & Torrent, J. 2000. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. Pp: 139-162. In: NOVAIS, R.F.; Alvarez V., V.H. & Schaefer, C.E.G.R., eds. **Tópicos de Ciência do Solo**. v. 2. Viçosa, SBCS.
- Brancalion, P.H.S.; Isernhagen, I.; Gandolfi, S. & Rodrigues, R.R. 2009. Plantio de árvores nativas brasileiras fundamentado na sucessão florestal. In: Rodrigues, R.R; Brancalion, P.H.S. & Isernhagen, I. (orgs.). **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica.
- Bridson, D. & Forman, L. 1998. **The herbarium handbook**. 3.ed. Great Brain: Whistable Litho Printers, 334 p.
- Brummitt, R.K. & Powell, C.E. 1992. **Authors of plant names**. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Camargo, O.A.; Moniz, A.C.; Jorge, J.A. & Valadares, J.M.A.S. 2009. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).

- Campos, E.P.; Duarte, T.G.; Neri, A.V.; Silva, A.F.; Meira-Neto, J.A.A. & Valente, G.E. 2006. Composição florística de um trecho de cerrado *sensu stricto* e cerrado e sua relação com o solo na Floresta Nacional (FLONA) de Paraopeba, MG, Brasil. **Revista Árvore** 30 (3): 471-479.
- Caseiro, R.A. 2013. **O cerrado e o cerrado sentido restrito no Jardim Botânico de Brasília**. (tese) Universidade de Brasília.
- Colwell, R.K.; Mao, C.X. & Chang, J. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. **Ecology** 85: 2717-2727.
- Conceição, G.M. **Florística e fitossociologia de uma área de cerrado marginal, Parque Estadual do Mirador, Mirador, Maranhão**. 2000. 148p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Depto. de Botânica, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2000.
- Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rainforest and coral reefs. **Science** 199:1302-1310.
- Costa, A.A. & Araújo, G.M. 2001. Comparação da vegetação arbórea de cerrado e de cerrado na Reserva do Panga, Uberlândia, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica** 15 (1): 63-72.
- Coutinho, L.M. 2006. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica** 20(1): 13-23.
- Cox, T.F. & Cox, M.A.A. 2001. **Multidimensional Scaling**. Chapman & Hall.
- Dantas, J.S. 2013. **Relação solo-paisagem e predição da erodibilidade de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros no Estado do Maranhão**. 2013. Tese (Programa de Pós Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP.
- De Sousa, J.V. 2008. **Desenvolvimento inicial de leguminosas arbóreas nativas em várzea sob diferentes condições de drenagem na regeneração de matas ciliares**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. **InfoStat versión 2013**. InfoStat Group, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review** 38(2): 201-338.
- Eiten, G. 1994. Vegetação do Cerrado. Pp: 9-65. In: Pinto, M.N. Coord. **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectiva**. 2.ed. Brasília: UnB/SEMATEC.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. 2011. Donagema, G. K. et al. (Orgs.). **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Felfili, J.M.; Silva Júnior, M.C.; Sevilha, A.C.; Fagg, C.W.; Walter, B.M.T.; Nogueira, P.E. & Rezende, A.V. 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. **Plant Ecology** **175**(1): 37-46.
- Felfili, J.M. & Silva-Júnior, M.C. 1988. Distribuição dos diâmetros numa faixa de cerrado na Fazenda Água Limpa (FAL) em Brasília-DF. **Acta Botanica Brasilica** **2**: 85-104.
- Ferreira, F.S.O. & Cardoso, E. 2013. Estrutura fitossociológica de campo sujo no município de Catalão-GO. **Caminhos de Geografia**, **14**(45): 110-119.
- Ferreira, I.C.M.; Coelho, R.M.; Torres, R.B & Bernacci L.C. 2007. Solos e vegetação nativa remanescente no Município de Campinas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **42**: 1319-1327.
- Ferreira, K.B. 1997. **Estudo fitossociológico em uma área de cerrado marginal no município de Afonso Cunha-MA**. 69p. Monografia de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Depto. Biologia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Maranhão, São Luis-MA.
- Finger, Z. & Oestreich Filho, E. 2014. Efeitos do solo e da altitude sobre a distribuição de espécies arbóreas em remanescentes de cerrado sensu stricto. **Advances in Forestry Science** **1**(1): 27-33.
- Furley, P.A., & Ratter, J.A. 1988. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography** **15**(1): 97-108.
- Gomes, L.; Lenza, E.; Maracahipes, L.; Marimon, B.S. & Oliveira, E.A. 2011. Comparações florísticas e estruturais entre duas comunidades lenhosas de cerrado típico e cerrado rupestre, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **25**(4): 865-875.
- Goodland, R. & Pollard, R. 1973. The Brazilian cerrado vegetation: a fertility gradient. **Journal of Ecology** **61**: 219-224.
- Goodland, R. 1971a. The cerrado oxisols of the Triângulo Mineiro, central Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** **43**: 407-414.
- Goodland, R. 1971b. A physiognomic analysis of the cerrado vegetation of central Brazil. **Journal of Ecology** **59**: 411-419.
- Governo do Estado do Maranhão. 2002. Gerencia de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Universidade Estadual do Maranhão. **Atlas do Maranhão**. São Luís: GEPLAN.

- Hammer, O.; Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. **PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp
- Haridasan, M. & Araújo, G.M. 1988. Aluminium-accumulating species in two forest communities in the cerrado region of central Brazil. **Forestry Ecology Management** 24:15-26.
- Haridasan, M. Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerrado? 2006. Pp: 1-10. In: Prado, CHBA; Casali, CA. **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Barueri, editora Manole.
- IBGE. 2004. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE.
- IBGE. 2012. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. 2a ed. IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- Kent, M. & Coker, P. 1994. **Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach**. Chichester, UK. John Willey.
- Kiehl, E.J. 1979. **Manual de Edafologia, relação solo-planta**. São Paulo: Ceres.
- Krebs, C.J. 1989. **Ecological methodology**. New York, USA: Harper & Row publ., 654p.
- Kruskal, J.B. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. **Psychometrika** 29(2): 115-129.
- Lopes, A.S. & Cox, F.R. 1977. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. **Agronomy Journal** 69: 828-831.
- Magurran, A.E. 2004. **Measuring Biological Diversity**. Blackwell Science, Malden, MA, USA 256p.
- Magurran, A.E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. London: Croom Hell Limited.
- Marimon-Júnior, B.H. & Haridasan, M. 2005. 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** 1: 913-926.
- Mccune, B. & Mefford, M.J. 1999. PC-ORD. **Multivariate Analysis of Ecological Data**, Version 4.1 MjM Software Design. Oregon, Glenden Beach, USA.

- McCune, B. & Grace, J.B. 2002. **Analysis of ecological communities**. MjM software design, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Mendes, M.R.A.; Munhoz, C.B.R.; Silva Júnior, M.C. & Castro, A.A.J.F. 2012. Relação entre a vegetação e as propriedades do solo em áreas de campo limpo úmido no Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. **Rodriguésia** **63**(4): 971-984.
- Moreau, A.M.S.S.; Ker, J.C.; Costa, L.M. & Gomes, F.H. 2006. Caracterização de solos de duas toposequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** **30**: 1007-1019.
- Moreno, M.I.C. & Cardoso, E. 2008. Fatores edáficos influenciando na estrutura de fitofisionomias do cerrado. **Caminhos de Geografia** **9**(25): 173-194.
- Müeller-Dombois, D. & Ellenberg, H. 1974. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 547p.
- Mews, H.A. 2014. **O Cerrado sentido restrito sobre dois substratos no Brasil Central: padrões da flora lenhosa e correlações com variáveis geodafoclimáticas**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Publicação PPG/EFL. TD. 032/2014, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 78 p.
- Oliveira Filho, A.T. & Ratter, J.A. 2000. Padrões florísticos das matas ciliares da região do cerrado e a evolução das paisagens do Brasil Central durante o Quaternário Tardio. In: Rodrigues, R.R.; Leitão, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Universidade de São Paulo. p. 73-89.
- Oliveira-Filho, A.T. & Ratter, J.A. 2002. **Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome**. The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press.
- Raij, B.; Andrade, J.C.; Cantarella, H. & Quaggio, J.A. 2001. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico.
- Ratter, J.A. 1971. Some notes on two types of cerradão occurring in northeastern MatoGrosso. Pp.110-112. In: M.G. Ferri. **III Simpósio Sobre o Cerrado**. São Paulo, EDUSP/ Edgard Blücher.
- Ratter, J.A.; Askew, G.P.; Montgomery, R.F. & Gifford, D.R. 1978. Observations on forests of some mesotrophic soils in central Brazil. **Revista Brasileira de Botânica** **1**: 47-58.
- Ratter, J.A.; Richards, P.W.; Argent, G. & Gifford, D.R. 1973. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, I the woody vegetation types of the Xavantina-Cachimbo

- Expedition area. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London** **226**: 449-492.
- Resende, J.M.A. 2013. **Caracterização Pedométrica de atributos de Argissolos coesos do Leste Maranhense**. Tese (Programa de Pós Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B. & Corrêa, G.F. 2007. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras, Editora da UFLA.
- Ribeiro, J.F. & Haridasan, M. 1984. Comparação fitossociológica de um cerrado denso e um cerradão em solos distróficos no Distrito Federal. In: **Anais do 35º Congresso Nacional Botânica**, Manaus.
- Rodrigues, R.F. & de Araújo, G.M. 2013. Estrutura da vegetação e características edáficas de um cerradão em solo distrófico e em solo mesotrófico no Triângulo Mineiro. **Bioscience Journal** **29**(6): 2013-2029.
- Roque, C.G.; Centurion, J.F.; Alencar, G.V.; Beutler, N.A.; Pereira, G.T. & Andrioli, I. 2003. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Acta Scientiarum Agronomy** **25**: 53-57.
- Ruggiero, P.G.C. & Pivello, V.R. 2005. **O Solo e a Comunidade Vegetal. Pp: 173-188. In Pivello, V.R. & Varanda, E.M. (orgs.) O Cerrado Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga, SP) - Ecologia e Conservação**. São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente.
- Sanchez, R.B.; Marques Júnior, J.; Pereira, G.T.; Souza, Z.M. & Martins Filho, M.V. 2009. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia** **68**: 873-884.
- Santana, O.A.; Encinas, J.I.; Inácio, E.D.S.B.; de Amorim, L.B. & Vilaverde, J.L.J. 2013. Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de cerrado. **Ciência Florestal**, **23**(4): 783-794.
- Shepherd, G.J. 2010. **Fitopac 2.1** – Campinas: Departamento de Botânica, Universidade Estadual de Campinas.
- Silva, H.G.; Figueiredo, N.D. & Andrade, G. V. D. 2008. Estrutura da vegetação de um cerradão e a heterogeneidade regional do cerrado no Maranhão, Brasil. **Revista Árvore** **32**(5): 921-930.

- Solórzano, A.; Pinto, J.R.R.; Felfili, J.M. & Hay, J.D.V. 2012. Perfil florístico e estrutural do componente lenhoso em seis áreas de cerradão ao longo do bioma Cerrado. **Acta Botanica Brasilica** **26**: 328-341.
- Spiegel, M.R. 1993. **Estatística**. 3^a ed. Makron Books, São Paulo, 643p.
- Taylor, H.M.; Robertson, G.M. & Parker, J.J. 1966. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science** **102**:18-22.
- Walter, B.M.T.; Ribeiro, J.F. & Guarino, E.S.G. 2000. Dinâmica da comunidade lenhosa em reservas de cerrado sentido restrito adjacente à agricultura, Gerais de Balsas-MA: Estudos Ambientais no PRODECER III - Balsas, MA. 2000. Relatório Técnico Final. Belém-PA: EMBRAPA, p.69-121.
- Wyszecki, G. & Stiles, W.S. 1982. **Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae**. (2. ed.). John Wiley & Sons. New York.

CAPÍTULO 3 - Atributos do solo e suas relações com a distribuição de espécies arbóreo-arbustivas em fisionomias de cerrado no Nordeste do Maranhão, Brasil

Fredgardson Costa Martins^{1,4}; José Marques Júnior²; Nivaldo de Figueiredo³.

¹ Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Centro de Ciências Agrárias e Ambientais - Campus de Chapadinha, BR 222 km 04, s/n - 65500-000 Chapadinha, MA.

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Fac. de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Dep. de Solos e Adubos, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900 Jaboticabal, SP.

³ Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde – Cidade Universitária, Av. dos Portugueses, s/n - 65080-000 São Luís, MA.

⁴ Autor para correspondência: fred@ufma.br

(Atributos do solo e suas relações com a distribuição de espécies arbóreo-arbustivas em fisionomias de cerrado no Nordeste do Maranhão, Brasil)

RESUMO

Com o objetivo de verificar se existe influência de atributos do solo na distribuição de espécies de fisionomias de cerrado, foi realizado levantamento fitossociológico e dos atributos físicos e químicos de solos em três fragmentos com diferentes fisionomias de cerrado no nordeste do Maranhão. Os ambientes estudados estão inseridos num mosaico de paisagem constituído por remanescentes de áreas de cerrados em níveis diferenciados de degradação. Para as análises do solo, em cada fisionomia do cerrado, foram retiradas 49 amostras do solo na camada de 0-0,10 m de profundidade, distribuídas em um grid amostral quadrado com espaçamento regular de 15 m. O levantamento fitossociológico foi realizado nas mesmas áreas das amostras de solo, em 49 parcelas circulares. O critério de inclusão das espécies foi de ≥ 3 cm de circunferência ao nível do solo. Foi usada a análise de correspondência canônica (CCA) para correlacionar as variáveis do solo com a abundância das dez espécies de cada fragmento com maior valor de importância (VI) e a categoria de indivíduos mortos. A CCA explicou 26,6% da variância total dos dados e indica que a distribuição da abundância das espécies é influenciada pelos atributos físicos e químicos do solo estudados e confirma a premissa de que essas áreas seriam três fisionomias bem definidas.

Palavras-chave: análise de correspondência canônica, relação solo-vegetação, fitossociologia, savana

(Soil attributes and their relationships with the distribution of tree and shrub species in cerrado physiognomies in northeastern Maranhão, Brazil)

ABSTRACT

A phytosociological study together with soil attributes was carried out in three cerrado physiognomies in northeastern Maranhão to evaluate the influence of soil on the distribution of the arboreal and shrub species of cerrado. The studied areas are in a mosaic landscape composed of remnants of cerrado in different levels of degradation. For soil analysis, 49 samples were taken in each cerrado physiognomy, at 0-0.10 m profile, distributed in a regular square sampling grid, with grid squares measuring 15 m. The phytosociological survey was conducted in the same areas of soil samples in 49 circular plots. The inclusion criteria considered the species

with circumference at ground level ≥ 3 cm. The canonical correspondence analysis (CCA) was used to correlate the soil variables with the abundance of ten species of highest Importance Value (VI) and the category of dead individuals. The CCA accounted 26.6% of the variance and indicates that the distribution of species abundances are influenced by physical and chemical soil properties and corroborates the assumption that the studied environments would be well-defined habitats.

Key words: canonical correspondence analysis, soil-vegetation relationship, phytosociology, savanna

1. Introdução

O bioma Cerrado ocupa aproximadamente 2.034.448 km², distribuindo-se na direção sudeste-nordeste desde o Pantanal Mato-grossense até a faixa litorânea maranhense, interpondo-se entres os biomas Amazônia, Mata Atlântica, Pantanal e Caatinga (IBGE 2004; 2012). Está representado nos estados do Goiás, Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Maranhão, Tocantins, São Paulo e no Distrito Federal (Ribeiro & Walter 1998; IBGE 2004).

A geologia do bioma Cerrado é uma das mais diversificadas e complexas do País. As rochas remontam do Pré-Cambriano ao Cenozóico. O relevo exibe uma gama muito grande de feições morfológicas em níveis altimétricos diferenciados, constituindo unidades bem definidas, dentre as quais se destacam planaltos, depressões e planícies. Os planaltos, de topos planos, são as feições predominantes e constituem extensas chapadas com escassa rede de drenagem. A amplitude altimétrica varia de cerca de 50 m no litoral até os 2.000 m nas áreas mais elevadas (IBGE 2004).

Mais de uma dezena de classes de solos são representadas no bioma Cerrado, incluindo, em sua maioria, solos distróficos, ácidos e com altos teores de alumínio trocável (IBGE 2004). Os Latossolos e suas variações, principalmente o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Vermelho, são tidos como os principais, seguidos pelos Neossolos Quartzarênico, Argissolos e, em menor proporção, os Plintossolos e os solos com características hidromórficas, como os Gleissolos (Walter 2006).

A cobertura vegetal predominante no bioma Cerrado é constituída por fisionomias savânicas (cerrado *lato sensu*), incluindo as formações mais florestais como o cerradão até as mais campestres como o campo limpo, ocorrendo ainda formações como a Floresta Estacional, estabelecida áreas com solos mais férteis que ocorrem nos interflúvios e ao longo da rede de drenagem, além das formações ciliares que acompanham e margeiam rios e nascentes (Eiten 1994; IBGE 2004; Ruggiero & Pivello 2005; Coutinho 2006).

A ocorrência das fisionomias savânicas, em comparação às outras fisionomias, como as florestais, tem sido atribuída principalmente à sazonalidade do clima e a fatores ambientais. Entretanto, segundo Ruggiero & Pivello (2005), foi a partir dos estudos de Alvim e Araújo em 1952, que o solo passou a ser considerado o fator ecológico mais importante na distribuição das savanas. Desde então, muitos estudos foram iniciados no intuito de esclarecer as possíveis relações entre os parâmetros vegetacionais do cerrado e as propriedades dos solos (Goodland

1971; Goodland & Pollard 1973; Lopes & Cox 1977; Campos *et al.* 2006; Ferreira *et al.* 2007; Rodrigues & Araújo 2013; Finger & Oestreich Filho 2014).

Apesar de muito estudados, os fatores determinantes na distribuição e na manutenção das diferentes fisionomias do bioma Cerrado ainda não estão totalmente esclarecidos e continuam despertando grande interesse, principalmente por apresentar aspectos aparentemente paradoxais. A relação solo-vegetação é um desses pontos controversos. Por estarem intimamente associados, é intuitivo esperar uma relação de causa e consequência entre solo e vegetação. No entanto, é, ao mesmo tempo, difícil reconhecer os efeitos que um tem sobre o outro (Ruggiero & Pivello 2005).

A própria diversidade de tipos de solo desse ambiente, por si só, poderia ser responsável pelas diferenças fitofisionômicas observadas nesse bioma, pois os fatores de formação dos solos dificilmente atuam com a mesma intensidade na sua gênese. Assim, até solos semelhantes taxonomicamente, guardam diferenças químicas, mineralógicas e estruturais que podem ser determinantes na estruturação e na composição da comunidade biológica desenvolvida sobre eles, sobretudo comunidades vegetais. Entretanto, essa lógica também não tem sido encontrada, seja pelo reducionismo metodológico empregado nos estudos, nas suas interpretações ou simplesmente pela inexistência de um padrão único para todas as fisionomias do cerrado. Esta última colocação reforça a importância de estudos localizados na tentativa de entender a relação solo/planta nesses ambientes.

A ocorrência de uma espécie vegetal em um determinado ambiente natural pressupõe a existência de adaptações para sua sobrevivência. Desse modo, o nicho ecológico de uma espécie pode ser determinado por parâmetros físicos e químicos do ambiente onde ocorre (Gotelli 2007). Essa demanda ecológica causa, além de variações na fisionomia, variação na composição florística, na fitossociologia e na produtividade desses ecossistemas (Haridasan 2000; Ricklefs 2003). Conhecer os parâmetros ambientais relacionados ao ponto ótimo da distribuição de uma determinada espécie pode auxiliar no entendimento dos fatores que influenciam o estabelecimento das diferentes fitofisionomias do cerrado e, conseqüentemente, ajudar a esclarecer as limitações e potencialidades dessas áreas.

Atualmente, o Cerrado é a principal região brasileira produtora de grãos, apresentando os maiores índices de produtividade em diversas culturas (Frederico 2013). Contudo, os índices de produtividade não são homogêneos. A “nova expansão da fronteira agrícola”, no início dos anos de 1990, introduziu os cerrados nordestinos, com terras de baixo custo de aquisição, solos

de fertilidade marginal e altamente intemperizados, ao sistema produtivo nacional (Resende 2013; Frederico 2013). A baixa produtividade nessas áreas tem sido compensada com o incremento da área plantada, comprometendo a manutenção dos remanescentes naturais da vegetação de cerrado.

O aumento na área de produção e não da produtividade tem sido justificado pelo baixo nível de conhecimento existente sobre esses ambientes no nordeste brasileiro, sobretudo para a região do presente estudo. As técnicas aqui utilizadas são frutos de adaptações produzidas por “tentativa e erro” da aplicação das técnicas empregadas no eixo sul-sudeste do País.

A manutenção de parte dos remanescentes das formações savânicas desta região está diretamente relacionada ao nível de conhecimento sobre a dinâmica dos processos que regem a relação solo-planta, sobretudo aqueles fundamentais na seleção de áreas que irão dispende menores recursos econômicos e ambientais.

Nesse sentido, o presente estudo, apoiado na hipótese de que há estreita relação entre as características do solo e as espécies e fitofisionomias que se desenvolvem sobre eles, teve como objetivo caracterizar e associar os atributos físicos e químicos de solos da formação Barreiras às diferentes fisionomias da vegetação de cerrado e à distribuição da abundância de espécies arbóreo-arbustivas nessas fisionomias. Os resultados do presente trabalho podem introduzir novos elementos para auxiliar a indicação de áreas com diferentes potenciais de uso.

2. Material e métodos

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo situa-se na Fazenda Typuana, nas proximidades das coordenadas geográficas 3°36'80" S e 42°52'50" W (Fig. 1-A), no município de Brejo, nordeste do Maranhão. O clima, segundo a classificação climática de Thornthwaite, é do tipo C2W2A'a' (clima Súb-úmido), com moderada deficiência de água no inverno. A estação chuvosa está concentrada entre os meses de dezembro e maio, com precipitação pluvial anual entre 1600 e 2000 mm. A temperatura média anual fica acima dos 27 °C e a umidade relativa anual, entre 70 e 73% (Governo do Estado do Maranhão 2002). A vegetação natural predominante é o cerrado (*lato sensu*), passando do cerradão (Savana Florestada), encontrado em diferentes estados de degradação, até o cerrado ralo (Savana Arborizada) (IBGE 2012), que se desenvolvem sobre Argissolo Amarelo Distrocoeso típico, com material de origem relacionado à Formação Barreiras (Dantas 2013) e relevo predominantemente plano e suavemente ondulado.

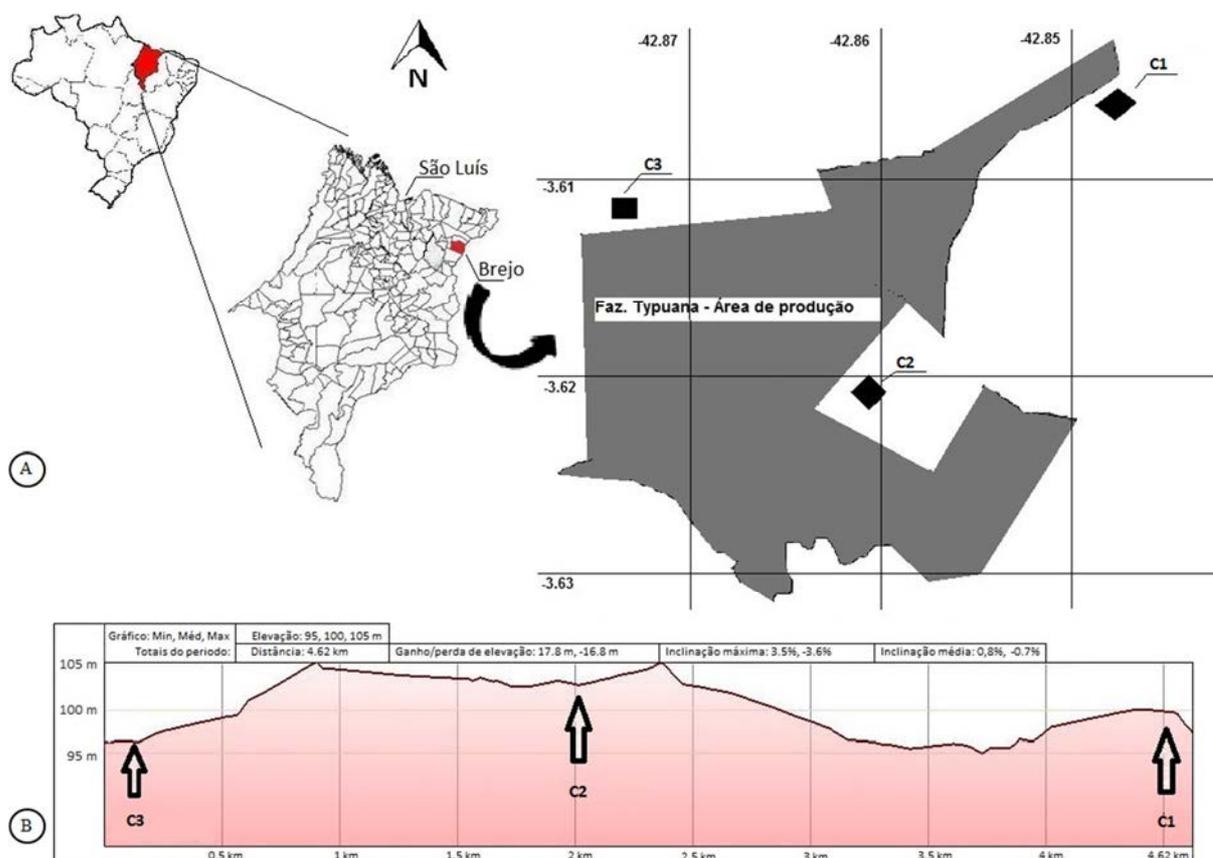


Figura 1. Área de Estudo. A - Localização do município de Brejo-MA e das áreas de amostragens. B – Perfil de elevação das áreas de amostragens (Baseado em Imagem Landsat, Image©2014DigitalGlobe – GoogleEarth). C1 (Cerrado ralo), C2 (Cerradão) e C3 (Cerradão degradado) – parcelas amostrais instaladas em áreas remanescentes da vegetação de Cerrado *lato sensu*.

Para o estudo foram selecionadas três áreas com fitofisionomias distintas e representativas do cerrado da região, denominadas ambientes C1, C2 e C3 (Fig. 1-A e B). O ambiente C1 corresponde ao cerrado ralo (Savana Arborizada, *sensu* IBGE 2012), onde o componente arbóreo-arbustivo é bem esparso e o gramínoide mais evidente. A altura média das árvores fica em torno dos 4 m. Esta área está localizada em pedofoma convexa e relevo suave ondulado. O ambiente C2 corresponde ao cerradão (Savana Florestada, *sensu* IBGE 2012), onde a fisionomia é mais florestal e as árvores têm altura média em torno dos 7-8 m. Esta área está localizada em pedofoma côncava e relevo suave ondulado. O ambiente C3 apresenta fisionomia semelhante ao C2, entretanto, aparentando um nível de perturbação antrópica maior (“Cerradão degradado”). A altura média das árvores é de 5-6 m. Também está localizado em pedofoma côncava e relevo suave ondulado.

Todos os ambientes estão inseridos num mosaico de paisagem constituída por remanescentes de cerrados com diferentes fisionomias e níveis de degradação, constituindo fragmentos com tamanho e forma variados, cortados por estradas vicinais e ladeados por plantações de soja, principalmente.

A caracterização química e mineralógica dos ambientes pode ser vista na Tab. 1.

Tabela 1. Teores dos óxidos do ataque sulfúrico (SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3), relações entre eles e índices de desordenamento e cristalinidade da caulinita de perfis dos solos de três fisionomias de cerrado no Município de Brejo-MA. C1 – Cerrado ralo; C2 – Cerradão e C3 - Cerradão degradado.

Ambiente	Horizonte	Óxidos do Ataque Sulfúrico			Relações		IK	HB
		SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	Ki	Kr		
C1	A1	45,5	7,9	100	0,8	0,7	-	-
	BA	110,5	12,3	175	1,0	1,0	1,44	6,86
	Bt1	126,5	13,4	210	1,0	1,0	1,44	6,65
	Bt2	145,0	17,7	230	1,0	1,0	1,26	6,55
C2	A1	32,0	3,3	85	0,6	0,6	-	-
	AB	79,5	7,2	125	1,0	1,0	1,50	6,20
	BA	89,0	7,9	160	1,0	1,0	1,50	6,18
	Bt2	113,5	12,3	185	1,0	1,0	1,39	6,19
	Bt3	134,5	13,0	225	1,0	1,0	-	-
C3	A1	64,5	3,3	80	1,4	1,3	-	-
	AB	52,5	5,6	115	0,8	0,7	1,53	6,53
	BA	83,5	6,7	125	1,1	1,1	1,51	7,17
	Bt2	120,5	8,8	195	1,0	1,0	1,29	6,27
	Bt3	133,0	16,8	235	1,0	0,9	-	-

Ki e Kr – índices de intemperismo do solo; IK - índice de desordenamento estrutural das caulinitas e HB - índice de cristalinidade das caulinitas. Valores de SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 expressos em g kg^{-1} . Dados adaptados de Dantas (2013).

2.2 Delineamento amostral e coleta de solo

Em cada fitofisionomia do cerrado, foi selecionada uma área visualmente uniforme em relação ao componente arbóreo-arbustivo e topográfico e instalada uma parcela amostral de 100x100 m. Para cada fitofisionomia, os pontos de coleta de solo foram sistematicamente alocados no cruzamento entre linhas de uma malha amostral quadrada de espaçamento regular de 15 metros, de modo que cada parcela fosse constituída por 49 pontos amostrais. Para as análises físicas e químicas do solo, foram utilizadas 147 amostras de solo coletadas na camada de 0-0,1 m de profundidade. As coletas de solo foram realizadas entre os meses de abril e maio de 2013.

2.3 Análises físicas e químicas do Solo

A análise granulométrica foi realizada utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação com aparato de baixa rotação, por 16 horas. A argila (Arg), a areia total (AT) e o silte (Sil) foram calculados conforme proposto por Camargo *et al.* (2009).

As determinações de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e volume total de poros (VTP) foram realizadas conforme Embrapa (2011), utilizando amostras preservadas de solo coletadas em anéis de volume conhecido e com auxílio do amostrador de Uhland.

A leitura da resistência do solo à penetração (RP) foi realizada nas mesmas amostras utilizadas para as determinações de Ds, Macro e Micro. As análises foram efetuadas com as amostras em equilíbrio de tensão de 6.10^{-3} MPa. Foi utilizado o penetrômetro eletrônico estático, com velocidade constante de 4 mm.mim^{-1} , com registro de uma leitura por segundo, cone com semiângulo de 30° e área de base de $12,566.10^{-6} \text{ m}^2$, equipado com uma célula de carga de 200 N.

O índice de avermelhamento do solo (IAV) foi calculado conforme Barrón *et al.* (2000) com base nos valores Munsell de matiz, croma e valor, gerados por meio do programa Munsell Conversion, versão 6.5.1, tomando por base os valores de triestímulo XYZ, definidos pela Comision Internacional de L'Eclairage-CIE (Wyszecki & Stiles 1982), obtidos a partir da leitura dos espectros de reflectância difusa das amostras de solo. Para a análise de espectroscopia de reflectância difusa, foi utilizado o sensor de laboratório Lambda 950, e os valores de reflectância foram determinados em espectrofotômetro equipado com esfera integradora de 80 mm, a cada 1 nm, com um tempo de integração de 0,2 segundo, com varredura no intervalo de 380 a 770 nm.

Nas análises químicas, foram determinados: MO (Matéria orgânica), pH (pH em H₂O), P, K, Ca, Mg, H+Al e Al (Raij *et al.* 2001). Com base nestes resultados, foi calculada a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC), a percentagem de saturação por bases (V) e a percentagem de saturação por alumínio (m).

2.4 Estudo da vegetação

Para o estudo fitossociológico cada ponto de amostragem de solo constituiu-se no centro de uma parcela circular com raio de 5 m, totalizado 49 parcelas por ambiente. Desse modo, cada parcela tinha área aproximada de $78,54 \text{ m}^2$, e cada fitofisionomia teve uma área total amostrada de $3.848,46 \text{ m}^2$. Nas parcelas, foram medidos os caules dos indivíduos arbóreo-

arbustivos vivos ou mortos não tombados, inclusive cipós, desde que tivessem circunferência ao nível do solo (CAS) maior ou igual a 3 cm. Os indivíduos mortos não tombados foram incluídos em uma categoria denominada Morta. Os principais parâmetros fitossociológicos foram obtidos conforme Müller-Dombois e Ellenberg (1974) e Magurran (1988) e calculados por meio do software Fitopac 2.1 (Shepherd 2010). Apenas os dados de abundância das 10 espécies mais importantes (maior Valor de Importância - VI) de cada área e da categoria Morta foram utilizados nas análises de ordenação. O estudo fitossociológico foi conduzido entre os meses de janeiro de 2012 e maio de 2013.

2.5 Análise estatística

Para comparação entre médias dos atributos do solo nas três fitofisionomias estudadas, foi utilizada a análise de variância (ANOVA). Quando necessário, a análise foi complementada com o teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5%. Estas análises foram realizadas por meio do software InfoStat versión 2013 (Di Rienzo *et al.* 2013). O coeficiente de variação (CV) foi utilizado para inferir sobre padrões de variabilidade espacial dos atributos do solo nos ambientes (Pimentel-Gomes & Garcia 2002).

Para a análise das interações entre as espécies e os atributos do solo, foram construídas duas matrizes de dados, uma de abundância de espécies e outra de variáveis ambientais, que foram analisadas por meio da análise de correspondência canônica (CCA) (ter Braak 1987). Foi utilizado o teste de permutação de Monte Carlo para verificar a significância das relações espécies-ambiente e dos eixos de ordenação gerados pela CCA (ter Braak & Prentice 1988).

A matriz de abundância de espécies foi constituída do número de indivíduos por espécie em cada uma das 147 parcelas do estudo da vegetação, considerando apenas as 10 espécies mais importantes (maiores VI's) e a categoria "Morta". O parâmetro VI foi utilizado por ser considerado muito útil tanto para separar tipos diferentes de florestas como para relacioná-las a fatores ambientais, incluindo as relações entre a distribuição de espécies e os fatores abióticos (Martins 1991; Pinheiro & Durigan 2012). Adicionalmente, a utilização do VI serviu como critério para eliminar das análises as espécies raras ou de baixa densidade (ter Braak 1987). A categoria Morta foi utilizada para inferir sobre possíveis distúrbios que possam estar afetando desigualmente esses ambientes. Os valores de abundância de cada espécie (n) foram transformados pela expressão $\ln(n + 1)$ para compensar os desvios causados por eventuais valores muito elevados (ter Braak 1995).

A matriz de variáveis ambientais foi composta pelos atributos: AT, Ds, IAV, RP, MO, pH, Ca, Mg e Al. Os atributos AT, Ds, IAV, RP e MO foram selecionados por apresentarem maiores correlações com os primeiros eixos de ordenação em uma análise de componentes principais (PCA) realizada previamente com todos os atributos do solo avaliados neste estudo. Os atributos pH, Ca, Mg e Al foram utilizados por serem comuns em estudos semelhantes a este e por estarem associados à fertilidade (Ca, Mg) e à toxicidade (Al) de solos. As análises foram realizadas no programa PC-ORD for Windows 4.1 (McCune & Mefford 1999).

3. Resultados e discussão

3.1 Caracterização física

A classe textural dos solos das três fitofisionomias estudadas variou de franco a franco-arenoso no ambiente C1 e franco-arenoso nos ambientes C2 e C3. Os resultados da granulometria e física do solo (Tab. 2), no geral, são condizentes aos de Dantas (2013) em descrições de perfis na mesma área deste estudo. As frações argila, silte e areia total do ambiente C1 foram diferentes de C2 e C3, apresentando valores maiores para argila e silte e menores para areia total (AT). As frações de areia (AMF, AF, AM, AG e AMG) do ambiente C1 também foram diferentes de C2 e C3. Em relação ao teor de argila, o ambiente C2 não diferiu do C3, mas apresentou menores teores de silte e maiores de areia total em relação a este último.

A relação silte/argila, quando tomada no horizonte subsuperficial B, tem sido utilizada como índice que auxilia na mensuração do grau de intemperização dos solos. Os valores encontrados neste estudo, para a camada 0-0,10m, foram maiores no ambiente C1 (1,08) que nos ambientes C2 (0,75) e C3 (0,90). Os menores valores da relação silte/argila para o ambiente C2 são consonantes aos valores de Ki e Kr apresentados por Dantas (2013) (Tab. 1). Entretanto, os valores de Ki e Kr para os demais ambientes não seguem o mesmo alinhamento. Convém ressaltar que, para Moreau *et al.* (2006), os baixos valores da relação silte/argila dos Argissolos Amarelos devem-se ao fato de serem produtos da alteração de sedimentos pré-intemperizados e edafizados e, portanto, próprios do material de origem, não expressando bem a maturidade genética do solo.

As diferenças encontradas nos padrões granulométricos das três áreas, mesmo estando sobre solos da mesma classe taxonômica, devem estar relacionadas às formas de paisagem e declives (Sanchez *et al.* 2009), uma vez que a distribuição de atributos granulométricos está associada, além da gênese do solo, ao sistema deposicional de sedimentos (Daniels & Hammer

1992). Deste modo, os padrões granulométricos mais similares encontrados nos ambientes C2 e C3 são esperados, pois estão sobre pedoforma côncava, enquanto que o ambiente C1 está em pedoforma convexa. Por outro lado, esses resultados também podem estar relacionados à natureza do material de origem, como explica Resende (2013), uma vez que a Formação Barreiras apresenta cobertura sedimentar depositada por sistemas fluviais entrelaçados, que apresentam granulometria variada com cascalho e areias grossas e finas com intercalações de microclastos de argila.

Tabela 2. Valores médios dos atributos granulométricos e físicos de solos de três fisionomias de cerrado tomados na camada de 0-0,1m no Município de Brejo-MA. C1 - Cerrado ralo; C2 – Cerradão e C3 - Cerradão degradado.

Atributo do solo	Ambiente								
	C1			C2			C3		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Arg	154,3a	15,8	10,3	130,2b	19,1	14,7	129,5b	16,6	12,9
Sil	166,1a	16,4	9,9	97,6c	13,1	13,4	116,5b	7,1	6,1
AT	679,6c	25,2	3,7	772,2a	18,0	2,3	754,0b	17,9	2,4
AMF	193,2a	16,9	8,7	138,6c	16,4	11,8	185,1b	14,6	7,9
AF	350,0b	20,4	5,8	412,9a	17,6	4,3	406,6a	24,3	6,0
AM	98,2c	14,0	14,3	157,4a	15,6	9,9	112,9b	15,6	13,8
AG	24,2c	5,6	23,0	52,0a	10,3	19,8	37,6b	5,9	15,7
AMG	14,1a	6,7	47,3	11,3b	5,0	43,8	11,8b	4,1	34,5
Ds	1,83a	0,04	2,18	1,56c	0,09	5,57	1,69b	0,06	3,52
VTP	27,97c	1,34	4,80	37,77a	2,41	6,39	34,08b	2,09	6,12
Micro	20,97c	0,59	2,82	22,61b	1,68	7,41	23,28a	1,25	5,36
Macro	6,99c	1,36	19,47	15,17a	2,59	17,06	10,80b	1,69	15,59
RP	1,58a	0,42	26,48	0,88c	0,40	45,73	1,18b	0,30	25,07
IAV	0,43a	0,02	4,65	0,25c	0,03	13,12	0,29b	0,02	6,89

CV – coeficiente de variação (%); DP – desvio-padrão; Arg – argila; Sil – silte; AT - areia total; AMF - areia muito fina; AF - areia fina; AM - areia média; AG - areia grossa e AMG - areia muito grossa; Ds – densidade; VTP – Volume total de poros; Micro – microporosidade; Macro – macroporosidade; RP – resistência do solo à penetração; IAV – índice de avermelhamento do solo. Valores de Arg, Sil, AT, AMF, AF, AG e AMG, expressos em g kg^{-1} , de Ds g cm^{-3} , VTP, Micro e Macro em percentagem e RP em MPa. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De acordo com Pimentel-Gomez & Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada baseada na magnitude do coeficiente de variação (CV), que pode ser: baixa, quando menor que 10 %; média, quando entre 10 e 20 %; alta, quando entre 20 e 30 %; e muito alta, se maior que 30 %. Assim, a variabilidade dos atributos granulométricos do solo foi, para a argila, média nos três ambientes, para o silte, baixa no ambiente C1 e C3 e média no ambiente

C2 e para a areia total, baixa nos três ambientes. Os baixos valores dos CVs apresentados para areia podem estar relacionados à maior estabilidade deste atributo, ou seja, modifica-se pouco ao longo do tempo por ação do intemperismo (Sanchez *et al.* 2009).

Convém ressaltar que os critérios de classificação de CV não são uniformes na literatura e que a utilização individualizada desta estatística não tem sido considerada uma boa ferramenta indicadora de variabilidade espacial dos atributos do solo (Sanchez *et al.* 2009). Entretanto, estes resultados, aliados aos obtidos nas análises de variância, reforçam a ideia de uniformidade dos atributos granulométricos em cada área e as diferenças entre elas.

Para todos os atributos (Ds, VTP, Micro, Macro, RP e IAV) os ambientes mostraram-se diferentes entre si (Tab. 2). O ambiente C1 apresentou os valores mais altos de Ds, RP e IAV e mais baixos de VTP, Micro e Macro. O ambiente C3 apresentou valores intermediários entre o C1 e o C2, exceção feita para a Micro, onde o C3 apresentou os maiores valores.

Apesar dos baixos valores de Micro para o ambiente C1, é nele onde a relação Micro/Macro é maior, 3,0 contra 1,46 e 2,15 de C2 e C3, respectivamente. Esses resultados indicam que no ambiente C1 pode ter havido diminuição do tamanho médio dos poros em decorrência do preenchimento do espaço poroso com partículas menores, ocasionado pelo maior intemperismo em ambientes de pedoformas convexas.

A relação Macro/VTP, segundo critérios de Kiehl (1979), foi considerada adequada apenas no ambiente C2 (40%); o C3 atingiu cerca de 32% e o C1, apenas 25%. A porosidade, em especial a macroporosidade, está diretamente relacionada com a infiltração de água no solo, com a movimentação de solutos e com o crescimento de raízes (De Souza 2008).

Os valores mais baixos de RP nos ambientes C2 e C3 (pedoforma côncava), em relação a C1 (pedoforma convexa), corroboram as premissas estabelecidas por Rosolem *et al.* (1999) apud Roque *et al.* (2003), em que solos com maiores teores de argila e maiores densidades apresentam maior resistência à penetração. Na literatura, têm sido considerados críticos valores de RP que variam de 1,5 a 4 MPa, conforme o tipo de solo e a espécie vegetal considerada, sendo, em geral, o valor de 2 MPa aceito como impeditivo ao crescimento radicular (Taylor *et al.* 1966). Neste estudo, valores superiores a 2 Mpa só foram encontrados em amostras do ambiente C1, apesar de a média ser inferior a esse valor.

Os valores mais baixos do IAV nos ambientes C2 e C3, em relação ao C1, também foram encontrados por Resende (2013), em trabalho na mesma área deste estudo. Ele relacionou esses valores às diferentes formas do relevo. Por favorecer o armazenamento de água, a

pedoforma côncava torna o ambiente redutor; sendo assim, o Fe^{3+} , que confere a cor vermelha do solo, é reduzido a Fe^{2+} , mais solúvel, que é retirado do sistema, ficando o solo com coloração mais amarelada e, por consequência, os valores de IAV mais baixos (Resende *et al.* 2007). Os teores de óxido de ferro (Fe_2O_3) encontrados por Dantas (2013) (Tab. 1) reforçam a consistência destes dados. Santana *et al.* (2013), citando outros autores, mencionam que a cor do solo sobre áreas com vegetação mais densa é mais escura por causa da influência da matéria orgânica acumulada na superfície desse solo. Dessa maneira, a serapilheira, o húmus e os organismos vivos, especialmente bactérias, desempenham um importante papel na remoção e redução do Ferro (Fe^{3+} é reduzido para Fe^{2+}) e manganês (Mn^{4+} é reduzido para Mn^{2+}), modificando a cor do solo.

Estes resultados indicam que o ambiente C1, comparativamente, é o que apresenta a maior limitação, em relação aos atributos físicos do solo, ao desenvolvimento de uma comunidade florestal de elevada biomassa, e o ambiente C2, o que oferece as melhores condições. Os valores de área basal (AB) (estimador de biomassa) encontrados (Tab. 2) alinham-se com estes resultados, pois o maior valor de área basal ocorreu no ambiente C2 e o menor no ambiente C1. Dantas (2013) chega a conclusões parecidas e associa esses resultados à maior expressividade do caráter coeso do solo nos ambientes de pedoforma côncava.

3.2 Análises químicas

Os resultados das análises químicas do solo, no geral, indicam que os solos são pobres, ácidos, com baixa saturação por bases e apresentam características que nos permitem a distinção entre os três ambientes (Tab. 3).

O caráter ácido de solos sob fisionomias de cerrado, assim como a baixa fertilidade natural e teor elevado de Al^{3+} , é mencionado em muitos trabalhos (Haridasan 2006).

Os valores da acidez trocável (Al^{3+}), seguindo critérios de Alvarez *et al.* (1999), são considerados baixos no ambiente C1 e médios no C2 e C3. Entretanto, a alta saturação por alumínio (m) no ambiente C3, condição mais importante no contexto da fitotoxicidade do que a quantidade absoluta de Al^{3+} (Haridasan 2006), aliado a condição de muito baixa saturação por bases nesse ambiente, pode estabelecer condições desfavoráveis para muitas espécies não tolerantes, assim como pode representar o aumento da abundância de espécies consideradas acumuladores de alumínio (*sensu* Haridasan 2006). Nesse sentido, alterações na composição florística e na estrutura de comunidades podem ser evidenciadas em função das diferentes condições desses atributos.

Tabela 3. Valores médios dos atributos químicos dos solos de três fisionomias de cerrado, tomadas na camada de 0-0,1m no Município de Brejo-MA. C1 - Cerrado ralo; C2 – Cerradão e C3 - Cerradão degradado.

Atributo do solo	Ambiente								
	C1			C2			C3		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV
P	2,9b	0,4	14,6	4,1a	2,0	48,3	4,1a	3,1	75,2
MO	14,4c	2,0	13,5	29,1a	9,6	32,9	24,3b	6,8	27,9
pH	5,5a	0,2	3,0	5,4a	0,2	3,9	5,1b	0,2	3,0
K	0,5a	0,1	21,3	0,5a	0,1	26,6	0,4a	0,1	25,4
Ca	4,4b	1,5	34,3	8,8a	6,9	78,3	4,5b	2,0	44,4
Mg	2,6b	0,7	26,6	6,0a	3,7	61,5	2,9b	1,5	49,3
H+Al	22,1b	3,0	13,5	56,9a	15,6	27,4	55,6a	14,3	25,7
Al	3,9c	1,0	26,8	6,8b	3,1	45,6	9,2a	2,7	29,9
SB	7,4b	2,2	29,1	15,3a	10,4	68,4	7,9b	3,4	43,0
CTC	29,5c	4,0	13,7	72,1a	19,4	27,0	63,5b	15,0	23,6
V%	24,9a	5,2	20,7	20,5b	10,3	50,4	12,7c	5,2	41,0
M	35,0b	9,0	25,7	35,4b	18,4	51,9	54,5a	13,8	25,3

DP – desvio-padrão; CV – coeficiente de variação (%); P-res – fósforo em resina; MO – matéria orgânica; pH – pH em água; SB – soma de bases; H+Al – Acidez potencial; Al – Acidez trocável (Al+3); CTC – capacidade de troca de cátions; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio. Os valores de MO são expressos em g dm⁻³, de P-res em mg dm⁻³, de K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB e CTC em mmolc dm⁻³, de V e m em percentagem. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Os teores de Ca e Mg, no ambiente C2, são em média duas vezes superiores aos teores desses elementos nos ambientes C1 e C3. Os teores de MO no ambiente C2 também foram duas vezes superiores aos do ambiente C1; contudo, as diferenças para o C3 foram menores. Dantas (2013) e Resende (2013), em trabalhos na mesma área deste estudo, encontraram resultados semelhantes e atribuíram à pedoforma côncava dos ambientes C2 e C3 esses resultados. Resende (2013) ainda associou a área de pedoforma convexa (C1) ao menor potencial de resposta ao manejo da soja cultivada nesse ambiente.

Para Botrel *et al.* (2002) e Resende *et al.* (2007), as condições de declividade existentes em pedoformas côncavas e convexas impõem uma dinâmica de transporte de material das partes mais altas para as mais baixas, condicionando um gradiente de fertilidade que aumenta das áreas mais altas para as mais baixas. Dessa forma, o fluxo convergente nas pedoformas côncavas e o fluxo divergente nas pedoformas convexas possuem grande importância no estabelecimento do gradiente de fertilidade.

Os valores de SB nos três ambientes foram baixos; entretanto, o ambiente C2 apresentou valores superiores aos encontrados por Barros (2012) em solos sob diferentes fisionomias de cerrado do Complexo vegetacional de Campo Maior, PI.

Por definição os solos Argissolos Amarelos Distrocosos possuem baixa fertilidade natural, com saturação por bases menor que 50% (Embrapa, 2006). Deste modo, a ocorrência de formação florestal nesses ambientes pressupõe uma eficiente estratégia de ciclagem de nutrientes e espécies adaptadas a essas deficiências (Rodrigues *et al.* 1989).

Analisando os CVs da Tab. 3, podemos observar que os maiores valores são encontrados nos ambientes C2 e C3 (pedoforma côncava), indicando maior variabilidade dos atributos nesses ambientes em relação ao ambiente C1 (pedoforma convexa). Estes resultados são concordantes aos encontrados por Sanchez *et al.* (2009) em estudo para identificação de padrão de variabilidade condicionada pelas formas do relevo.

De modo geral, a maior fertilidade foi encontrada no ambiente C2 (Cerradão -Savana Florestada), concordando com os resultados verificados por Alvim & Araújo (1952), Goodland (1971), Goodland & Pollard (1973) e Lopes & Cox (1977) em outras localidades do bioma Cerrado, em que os autores concluíram por uma maior fertilidade nos solos sob cerradão. Para Haridasan (1992; 2000) e Marimon Júnior & Haridasan (2005), é possível que solos de maior fertilidade já existissem no passado nas áreas onde hoje ocorrem os cerradões, sendo mantidos até o presente por meio da ciclagem de nutrientes.

3.3 Distribuição das espécies

A análise fitossociológica resultou em ordenamento distinto das espécies nas diferentes fitofisionomias (Tab. 4). Verificou-se que, além da troca na posição da maioria das espécies, exceção feita a *Qualea parviflora* que permaneceu como espécie mais importante nos ambientes C2 e C3, boa parte das espécies que aparecem como mais importantes em um ambiente não figuram entre as mais importantes em outro. Assim, a distinção entre os ambientes, apontada pelos atributos do solo, se confirma na análise fitossociológica.

3.4 Relação entre distribuição das espécies e os atributos físicos e químicos do solo

Os resultados da análise de correspondência canônica estão apresentados na Tab. 5 e na Fig. 2 (A e B). Os autovalores obtidos para os dois primeiros eixos da ordenação, 0,425 para o eixo 1 e 0,206 para o eixo 2, são considerados baixos ($< 0,5$, *sensu* ter Braak 1995), indicando a existência de gradientes curtos, ou seja, com poucas substituições de espécies ao longo dos eixos e predominância da variação nas abundâncias das espécies.

A baixa substituição de espécies ao longo dos eixos apontada pela CCA pode estar relacionada às maiores semelhanças, tanto de natureza física e química do solo quanto de composição de espécies, existente entre os ambientes C2 e C3. Desta forma, esses baixos autovalores obtidos para os eixos canônicos não comprometem a premissa sobre a alteração da composição florística ao longo do gradiente da vegetação. Tanto é verdade que as relações dos dados ambientais (atributos do solo) com a abundância das espécies não foram prejudicadas e produziram altas correlações nos dois primeiros eixos, 0,933 para o eixo 1 e 0,767 para o eixo 2, com o teste de permutação de Monte Carlo produzindo proporções muito baixas para ocorrência ao acaso ($p = 0,001$), para os dois eixos.

Os dois primeiros eixos da CCA explicam, respectivamente, 17,9% e 8,7% da inércia contida nos dados das espécies (acumulado: 26,6%), ou seja, muita variância remanescente não explicada pelos atributos do solo. Entretanto, o teste de permutação de Monte Carlo indicou que os autovalores dos eixos 1 e 2 apresentam baixa proporção de ocorrência ao acaso ($p = 0,001$), ou seja, baixa probabilidade de encontrar ao acaso um autovalor igual ou maior que o obtido pelos eixos de ordenação canônica, utilizando o mesmo número de variáveis.

Botrel *et al.* (2002), Martins *et al.* (2003), Dalanesi *et al.* (2004), Carvalho *et al.* (2005) e Camargos *et al.* (2008) em estudos em Floresta Estacional Semidecidual de Minas Gerais, encontraram diferentes percentuais de explicação para os dois principais eixos de ordenação (27,2%, 33,4%, 16,5%, 27,1% e 65%, respectivamente). De Souza *et al.* (2007) e Fagundes *et al.* (2007) encontraram valores menos expressivos (15,2% e 18,3%, respectivamente) para floresta decídua também de Minas Gerais. Campos *et al.* (2006) em trabalho sobre gradiente de “cerradão” e “cerrado *sensu stricto*”, encontraram, para os dois eixos, 36,1% de explicação da variância total. Finger & Oestreich Filho (2014), trabalhando em cerrado *stricto sensu* de Mato Grosso, encontraram apenas 10,1% de explicação da variância total. Abreu *et al.* (2012) encontraram 38,8% em fisionomia de cerrado típico e cerrado rupestre de Goiás. Ferreira *et al.* (2007), estudando remanescentes de cerrados e de florestas encontraram 31% de explicação da variância total dos dados. Assim, de um modo geral, baixas porcentagens de explicação da variância total são esperadas em ordenações de dados ecológicos, tendo em vista a complexidade dos fatores envolvidos na determinação da composição florística e estrutural de formações vegetais (ter Braak 1995).

Ambiente	Espécies	Nomes abreviados	Parâmetros específicos					Parâmetros da comunidade						
			NInd	DeRel	FrRel	DoRel	VI	NInd	Nspp	De	AB	Diâm	H'	J
C3	<i>Psidium myrsinites</i> DC.	Psi myr	175	10,81	9,20	4,38	24,40							
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Bow vir	46	2,84	5,93	4,02	12,79							
	<i>Stryphnodendron coriaceum</i> Benth	Str cor	44	2,72	4,91	5,06	12,68							
	<i>Curatella americana</i> L.	Cur ame	40	2,47	4,70	4,44	11,61							
	<i>Platonia insignis</i> Mart.	Pla ins	19	1,17	1,84	7,02	10,03							
	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Pla ret	20	1,24	3,07	4,62	8,92							

NInd – número total de indivíduos da espécie; Nspp – número total de espécies; DeRel – Densidade relativa; FrRel – Frequência relativa; DoRel – Dominância relativa; De – Densidade total de indivíduos; AB – Área basal total; Diâm – diâmetro médio; H' - índice de diversidade de Shannon-Wiener; J - índice de equabilidade de Pielou. Os valores de De estão em Indivíduos.ha⁻¹, os de AB em m².ha⁻¹, e os de H' em nats.indivíduo⁻¹.

As variáveis com maiores coeficientes de correlação com o eixo 1 foram, em ordem decrescente, IAV, AT, Ds e MO (Tab. 5). Para o segundo eixo, pH foi a variável com maior correlação, seguida por Al e Mg.

A ordenação das parcelas nos dois primeiros eixos da CCA (Fig. 2-A) mostra nítida distinção entre os três ambientes, reforçando a premissa de que essas áreas seriam habitats bem definidos e com espécies variando, ao menos, em suas abundâncias. Observam-se as parcelas do ambiente C2 ocupando a porção mais extrema à esquerda do eixo 1, e as parcelas do ambiente C1 posicionadas no extremo à direita desse mesmo eixo. Esse arranjo evidencia um gradiente relacionado principalmente à física e à granulometria do solo, com as parcelas do ambiente C1 associadas a maiores valores do IAV, de Ds e da RP, e as parcelas do ambiente C2 e C3 associadas a maiores valores de AT. O ambiente C3, em relação ao eixo 1, apresenta-se mais próximo do ambiente C2, entretanto, distinguindo-se deste em relação ao eixo 2. A proximidade desses dois ambientes evidencia as maiores semelhanças entre seus descritores físicos representados pelo eixo 1, principalmente IAV, AT e DS. O ambiente C2 é o que apresenta maior relação com valores mais altos de fertilidade do solo (MO, Mg e Ca), e o ambiente C3, o que mais se relaciona a maiores teores de alumínio.

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre os atributos físicos e químicos do solo e os dois primeiros eixos da análise de correspondência canônica (CCA). Valores obtidos de solos de três fisionomias de cerrado tomados na camada de 0-0,1m no Município de Brejo-MA.

Atributo do solo	Eixo 1	Eixo 2
Densidade (Ds)	0,819	0,273
Areia total (AT)	-0,912	0,125
Resistência a penetração (RP)	0,584	0,069
Matéria orgânica (MO)	-0,635	-0,107
pH em água (pH)	0,151	-0,756
Cálcio (Ca)	-0,330	-0,440
Magnésio (Mg)	-0,446	-0,517
Alumínio (Al)	-0,412	0,578
Índice de avermelhamento do solo (IAV)	0,949	-0,143

A ordenação das espécies pela CCA (Fig. 2-B) sugere nítida dispersão das espécies por meio da média ponderada de suas abundâncias, apesar de os autovalores serem considerados baixos e indicarem baixa substituição ao longo dos eixos (ter Braak 1995).

As espécies *D. flexuosa*, *Microlicia* sp., *Myrtaceae* sp. 2 e *B. subterranea* tendem a ser mais abundantes nas parcelas com maiores valores de IAV, Ds e RP e menores teores de AT, Al e MO. As parcelas com essas características são encontradas no ambiente C1.

As espécies *C. coriaceum*, *D. gardneriana*, *Combretum* sp. e *A. pedunculatum* estão associadas às parcelas com os maiores valores de Mg, Ca, MO e AT e aos menores valores de Ds, RP e Al. Estas características estão presentes no ambiente C2. A tendência dessas espécies serem mais abundantes neste ambiente (o de maior fertilidade) sugere que elas possam ser utilizadas como indicadoras de fertilidade do solo.

A espécie *R. induta* e a categoria “Morta” tendem a ser mais abundantes nas parcelas com teores mais altos de alumínio e baixos valores de pH, características do ambiente C3. Finger & Oestreich Filho (2014) também encontraram *R. induta* associada a ambientes de cerrado com alta saturação por alumínio, indicando que esta espécie pode ser beneficiada em solos com características álicas. A tendência de maiores valores da média ponderada da categoria “Morta” no ambiente C3 sugere a existência de algum fator que esteja provocando uma mortalidade diferenciada nesse ambiente.

Algumas espécies, especialmente *P. platycephala*, *S. coriaceum*, *P. reticulata*, *O. hexasperma*, *B. crassifolia*, *B. virginioides* e *S. convallariaeodora*, apesar de não estarem associadas unicamente a um dos ambientes, apresentam altas correlações com algum atributo do solo. *P. platycephala* e *S. coriaceum* estão correlacionadas com altos teores de MO, *P. reticulata* com Ca e Mg, *O. hexasperma* com valores mais elevados de pH e mais baixos de alumínio, *B. crassifolia* e *B. virginioides* com valores maiores de RP e menores de MO e AT, e *S. convallariaeodora* com menores teores de Ca e Mg.

As espécies *Q. parviflora*, *P. insignis* e *V. macrocarpa* tendem a ser indiferentes à variação da maioria dos atributos do solo ou, em última análise, tendem a ter preferência a ambientes com características intermediárias das condições físicas e químicas do ambiente.

A variação não explicada para as demais espécies, ou até mesmo parte da variação das espécies já mencionadas, pode estar associada a outras variáveis não-analisadas, como, por exemplo, as condições físicas e químicas das camadas do solo inferiores à deste estudo, o histórico de perturbações nas áreas, como a ocorrência de fogo, pastoreio por animais, o padrão de distribuição agregado de algumas espécies, além de um complexo conjunto de fatores que estão envolvidos na determinação da composição da vegetação.

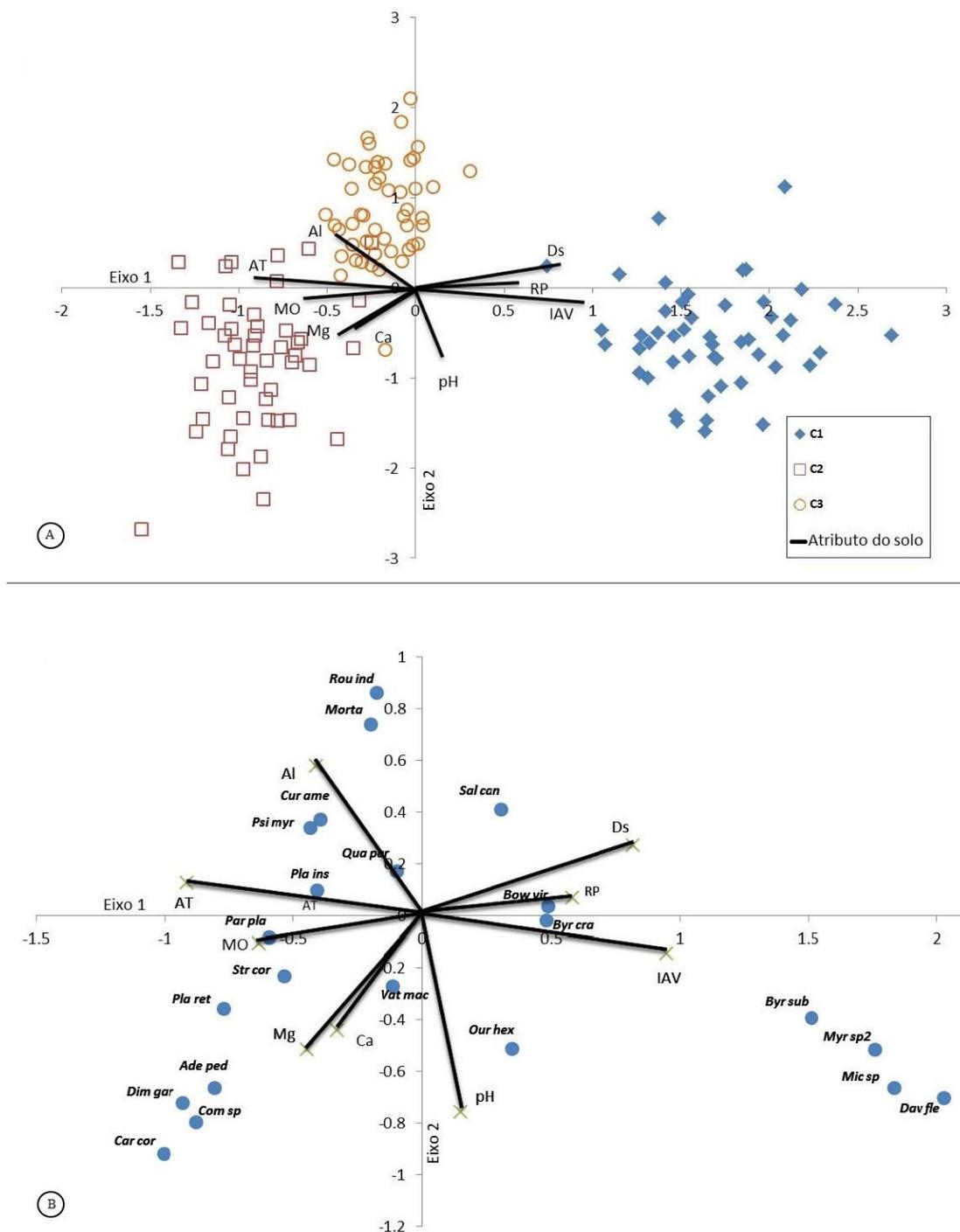


Figura 2. Diagrama de ordenação produzida pela análise de correspondência canônica (CCA), baseada em atributos do solo e na distribuição da abundância de 22 espécies arbóreo-arbustivo de maior valor de importância (VI) a categoria de indivíduos mortos em três fisionomias de cerrado no Município de Brejo-MA. A – ordenação das parcelas e B – ordenação das espécies. As espécies são apresentadas pelos seus nomes abreviados (correspondência com nomes completos na Tab. 5). Os atributos do solo são abreviados por: Al – alumínio, AT – areia total, Ca – cálcio, Ds - densidade do solo, IAV – índice de avermelhamento do solo, MO – matéria orgânica, Mg – Magnésio, pH – pH em água e RP – resistência do solo à penetração.

4. Conclusões

Os atributos físicos e químicos dos solos analisados permitem a distinção entre os três ambientes estudados e confirmam a premissa de que essas áreas seriam três fisionomias bem definidas.

A distribuição das espécies é influenciada pelos atributos físicos e químicos do solo analisados.

Os atributos físicos do solo índice de avermelhamento do solo, teor total de areia e a densidade do solo foram os principais descritores das diferenças entre os ambientes estudados.

Os atributos físicos e químicos analisados, por serem bons descritores das diferenças entre os ambientes, podem ser utilizados como preditores das potencialidades de uso desses ambientes.

As espécies *D. flexuosa*, *Microlicia* sp., *Myrtaceae* sp. 2, *B. subterrânea*, *C. coriaceum*, *D. gardneriana*, *Combretum* sp., *A. pedunculatum* e *R. induta* são as que apresentam maior associação com as características do seu local de ocorrência.

5. Agradecimentos

À Capes, pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor.

6. Referências

- Abreu, M. F.; Pinto, J. R. R.; Maracahipes, L.; Gomes, L.; Oliveira, E. A. D.; Marimon, B. S.; Marimon-Junior, B. H.; Farias, J. & Lenza, E. 2012. Influence of edaphic variables on the floristic composition and structure of the tree-shrub vegetation in typical and rocky outcrop cerrado areas in Serra Negra, Goiás State, Brazil. **Brazilian Journal of Botany** 35(3): 259-272.
- Alvarez V.V.H.; Novais, R.F.; Barros, N.F.; Catarutti, R.B. & Lopes, A.S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. Pp: 25-32. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G. & Alvarez V., V.H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.
- Alvim, P.T. & Araújo, W.A. 1952. El suelo como fator ecológico en el desarrollo de la vegetación en el centrooeste del Brasil. **Turrialba** 2(4): 153-160.
- Barrón, V.; Mello, J.W.V. & Torrent, J. 2000. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. Pp: 139-162. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. **Tópicos de Ciência do Solo**. v. 2. Viçosa, SBCS.
- Barros, J. S. **Associação entre solos e vegetação nas áreas de transição cerrado-caatinga-floresta na bacia do Parnaíba: sub-bacia do rio Longá-PI**. 2012. Tese (Doutorado em Ecologia) Universidade de Brasília.
- Botrel, R.T.; Oliveira Filho, A.T; Rodrigues, L.A. & Curi, N. 2002. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustivo de uma Floresta Estacional Semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Brasileira de Botânica** 25: 195-213.
- Camargo, O.A.; Moniz, A.C.; Jorge, J.A.; Valadares, J.M.A.S. 2009. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).
- Camargos, V.L.; Da Silva, A.F.; Meira Neto, J.A. & Martins, S.V. 2008. Influência de fatores edáficos sobre variações florísticas na Floresta Estacional Semidecídua no entorno da Lagoa Carioca, Parque Estadual Rio Doce, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasilica** 22: 75-84.
- Campos, E.P; Duarte, T.G.; Neri, A.V.; Da Silva, A.F.; Meira Neto, J.A. & Valente, G.E. 2006. Composição florística de um trecho de cerradão e cerrado sensu stricto e sua relação com o solo na floresta nacional (flona) de paraopeba, MG, Brasil. **Revista Árvore** 30: 471-479.

- Carvalho, D.A.; Oliveira Filho, A.T.O.; Vilela, E.A.; Curi, N.; Van Den Berg, E.; Fontes, M.A.L. & Botezelli, L. 2005. Distribuição de espécies arbóreo-arbustivas ao longo de um gradiente de solos e topografia em um trecho de floresta ripária do Rio São Francisco em Três Marias, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** **28**: 329-345.
- Coutinho, L. M. 2006. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica** **20**(1): 13-23.
- Dalanesi, P.E.; Oliveira Filho, A.T. & Fontes, M.A.L. 2004. Flora e estrutura do componente arbóreo da floresta do Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, Lavras, MG, e correlações entre a distribuição das espécies e variáveis ambientais. **Acta Botânica Brasilica** **18**: 737-757.
- Daniels, R.B. & Hammer, R.D. 1992. **Soil Geomorphology**. New York: John Wiley.
- Dantas, J.S. 2013. **Relação solo-paisagem e predição da erodibilidade de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros no Estado do Maranhão**. 2013. Tese (Programa de Pós Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.
- De Sousa, J. V. **Desenvolvimento inicial de leguminosas arbóreas nativas em várzea sob diferentes condições de drenagem na regeneração de matas ciliares**. 2008. Dissertação de Mestrado. Dissertação em Agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração Gestão de Recursos Agroambientais. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP.
- De Souza J. P.; Araújo, G.M. & Haridasan, M. 2007. Influence of soil fertility on the distribution of tree species in a deciduous forest in the Triângulo Mineiro region of Brazil. **Plant Ecology** **191**: 253–263.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M. & Robledo C.W. **InfoStat versión 2013**. InfoStat Group, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Eiten, G. 1994. Vegetação do Cerrado. Pp: 9-65. In: Pinto, M.N. Coord. **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectiva**. 2.ed. Brasília: UnB/SEMATEC.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. CNPS. 2006. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. 2011. Donagema, G. K. et al. (Orgs.). **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Fagundes, L.M.; Carvalho, D.; Van Den Berg, E.; Melo Marques, J.J.G.S. & Machado, E.L.M. 2007. Florística e estrutura do estrato arbóreo de dois fragmentos de florestas decíduais às

- margens do rio Grande, em Alpinópolis e Passos, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasilica** **21**: 65-78.
- Ferreira, I. C. M; Coelho, R. M; Torres, R. B & Bernacci L. C. 2007. Solos e vegetação nativa remanescente no Município de Campinas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **42**: 1319-1327.
- Finger, Z. & Oestreich Filho, E. 2014. Effects of the soil and altitude on the distribution of tree species in remainders of sensu stricto cerrado. **Advances in Forestry Science** **1**(1): 27-33.
- Frederico, S. 2013. **Agricultura científica globalizada e fronteira agrícola moderna no Brasil**. *Confins*[Online]. Disponível em <http://confins.revues.org/8153>; DOI: 10.4000/confins.8153 (Acesso em 01/06/2014).
- Goodland, R. & Pollard, R. 1973. The Brazilian cerrado vegetation: a fertility gradient. **Journal of Ecology** **61**: 219-224.
- Goodland, R. 1971. A physiognomic analysis of the cerrado vegetation of central Brazil. **Journal of Ecology** **59**: 411-419.
- Gotelli, N.J. 2007. **Ecologia**. 3.ed. Londrina: Editora Planta.
- Governo do Estado do Maranhão. 2002. Gerencia de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Universidade Estadual do Maranhão. **Atlas do Maranhão**. São Luís: GEPLAN.
- Haridasan, M. 1992. Observations on soils, foliar nutrient concentration and floristic composition of cerrado sensu stricto and cerradão communities in central Brazil. Pp.171-184. In: P.A. Furley; J. Proctor & J.A. Ratter (eds.). **Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries**. London, Chapman & Hall Publishing.
- Haridasan, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. 2000. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** **12**: 54-64.
- Haridasan, M. Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerrado? 2006. Pp: 1-10. In: Prado, C.H.B.A.; Casali, C.A. **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Barueri, editora Manole.
- IBGE. 2004. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE.
- IBGE. 2012. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. 2a ed. IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- Kiehl, E.J. 1979. **Manual de Edafologia, relação solo-planta**. São Paulo: Ceres.

- Lopes, A.S. & Cox, F.R. 1977. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. **Agronomy Journal** **69**: 828-831.
- Magurran, A. E. 1988. **Ecological diversity and its measurements**. Cambridge, Harvard University.
- Marimon-Junior, B.H. & Haridasan, M. 2005. 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** **1**: 913-926
- Martins F.R. 1991. **Estrutura de uma floresta mesófila**. Campinas: Ed. UNICAMP.
- Martins, S. V.; Silva, N. R. S.; Souza, A. L. & Meira Neto, J. A. 2003. Distribuição de espécies arbóreas em um gradiente topográfico de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, MG. **Scientia Florestalis** **64**: 172-181.
- Mccune, B. & Mefford, M.J. 1999. **PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data**, Version 4.1 MjM Software Design. Oregon, Gleneden Beach, USA.
- Moreau, A.M.S.S.; Ker, J.C.; Costa, L.M. & Gomes, F.H. 2006. Caracterização de solos de duas topossequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** **30**: 1007-1019.
- Müeller-Dombois, D. & Ellenberg, H. 1974. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York, John Wiley & Sons.
- Pimentel-Gomes, F. & Garcia, C.H. 2002. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ.
- Pinheiro, E. da S. & Durigan, G. 2012. Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do cerrado em Assis, SP, Brasil. **Revista Árvore** **36**: 181-193.
- Raij, B.; Andrade, J.C.; Cantarela, H. & Quaggio, J.A. 2001. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico.
- Resende, J.M.A. 2013. **Caracterização Pedométrica de atributos de Argissolos coesos do Leste Maranhense**. Tese (Programa de Pós Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B. & Corrêa, G.F. 2007. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras, Editora da UFLA.

- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. 1998. Pp: 87-166. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P; (ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Brasília: Embrapa Cerrados.
- Ricklefs, R.E. 2003. **A economia da natureza**. 5.ed. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Rodrigues, R. F., & de Araujo, G. M. 2013. Estrutura da vegetação e características edáficas de um cerradão em solo distrófico e em solo mesotrófico no Triângulo Mineiro. **Bioscience Journal** **29**(6): 2013-2029.
- Rodrigues, R.R.; Morelato, L.P.C.; Joly, C.A. & Leitão Filho, H.de F.1989. Estudo florístico e fitossociológico em um gradiente altitudinal de mata estacional mesófila semidecídua na serra do Japi, Jundiá. **Revista Brasileira de Botânica** **12**: 71-84.
- Roque, C.G.; Centurion, J.F.; Alencar, G.V.; Beutler, N.A.; Pereira, G.T. & Andrioli, I. 2003. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Acta Scientiarum. Agronomy** **25**: 53-57.
- Ruggiero, P.G.C. & Pivello, V.R. 2005. **O Solo e a Comunidade Vegetal. Pp: 173-188. In Pivello, V.R. & Varanda, E.M. (orgs.) O Cerrado Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga, SP) - Ecologia e Conservação**. São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente.
- Sanchez, R.B.; Marques Júnior, J.; Pereira, G.T.; Souza, Z.M. & Martins Filho, M.V. 2009. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia** **68**: 873-884.
- Santana, O. A.; Encinas, J. I.; Inácio, E. D. S. B.; de Amorim, L. B. & Vilaverde, J. L. J. 2013. Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de cerrado. **Ciência Florestal** **23**(4): 783-794.
- Shepherd, G.J. 2010. **Fitopac 2.1**. Campinas, Departamento de Botânica, Universidade Estadual de Campinas.
- Taylor, H.M.; Robertson, G.M. & Parker, J.J. 1966. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science** **102**:18-22.
- ter Braak, C.J.F. 1987. The analysis of vegetation-environment relationship by canonical correspondence analysis. **Vegetatio** **69**: 69-77.

- ter Braak, C.J.F. 1995. Ordination. Pp: 91-173. In: Jongman, R.H.G.; ter Braak, C.J.F. & van Tongeren, O.F.R. (Eds.). **Data analysis in community and landscape ecology**. Cambridge: Cambridge University Press.
- ter Braak, C.J.F. & Prentice, I.C. 1988. A theory of gradient analysis. **Advances in Ecological Research 18**: 271-317.
- Walter, B.M.T. 2006. **Fitofisionomias do Bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. Tese (Programa de Pós Graduação em Ecologia). Universidade de Brasília.
- Wyszecki, G. & Stiles, W.S. 1982. **Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae**. (2. ed.). John Wiley & Sons. New York.