

**SAMARA SANTOS DE SOUZA**

**INFLUÊNCIA DOS SOLOS SOBRE A  
DISTRIBUIÇÃO E A RIQUEZA DE ESPÉCIES  
LENHOSAS EM AFLORAMENTO ROCHOSO NA  
TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA**

**Dissertação de Mestrado**

**Alta Floresta – MT**  
**2022**

2 cm	15 cm	7 cm	5 cm
	SAMARA SANTOS DE SOUZA	Diss. MESTRADO	PPGBioAgro 2022



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



**SAMARA SANTOS DE SOUZA**

**INFLUÊNCIA DOS SOLOS SOBRE A  
DISTRIBUIÇÃO E A RIQUEZA DE ESPÉCIES  
LENHOSAS EM AFLORAMENTO ROCHOSO NA  
TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA**

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

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Caione.

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Vasconcellos Eisenlohr.

**ALTA FLORESTA – MT**

**2022**

# **INFLUÊNCIA DOS SOLOS SOBRE A DISTRIBUIÇÃO E A RIQUEZA DE ESPÉCIES LENHOSAS EM AFLORAMENTO ROCHOSO NA TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA**

**SAMARA SANTOS DE SOUZA**

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

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Caione.

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Vasconcellos Eisenlohr.

Aprovada em:

---

Prof. Dr. Gustavo Caione

Orientador – UNEMAT/ PPGBioAgro

---

Prof. Dr. Pedro Vasconcellos Eisenlohr

Coorientador – UNEMAT/ PPGBioAgro

---

Profa. Dr.

Orientadora – UNEMAT/ PPGBioAgro

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por seu infinito amor, pela força e providências para conduzir a vida.

A UNEMAT, minha profunda gratidão por todos os recursos, pela construção do desenvolvimento profissional, e pela transformação pessoal.

Ao Programa PPGBioAgro que proporcionou a realização de um sonho e por sua excelente qualidade em gestão, ensino, pesquisa, e pela seriedade e amparo aos alunos.

Ao meu orientador professor Gustavo Caione, pela condução, ensinamentos, oportunidades e também pela sua solidariedade e também por ter sido um amigo nas horas difíceis.

Ao meu coorientador Pedro Eisenlohr por sua expressiva contribuição no desenvolvimento desta dissertação, por sua atenção e disponibilidade, e também pelo acolhimento e ajuda.

Ao técnico de laboratório Guilherme Ferbonink por todos os ensinamentos laboratoriais, pela inestimável contribuição para as análises deste trabalho e por sua empatia.

Aos colegas Leandro, Jesulino, Eduardo e João pelas contribuições nas coletas, análises laboratoriais e análise estatística.

A todos os colaboradores da UNEMAT que cuidam para que tenhamos as melhores condições dos espaços físicos e do funcionamento em todos os setores para que as atividades acadêmicas e de pesquisa sejam possíveis.

A todos os meus familiares e amigos pelo apoio e encorajamento, aos meus avós que ficariam orgulhosos por saber que seus incentivos valeram a pena, e à minha mãe por ter acompanhado e me auxiliado desde o início do mestrado, tenho certeza que ficaria feliz em saber que nós conseguimos. Sou grata ao meu amigo Heyssler pelos preciosos conselhos de encorajamento e por ter sido um bom ouvinte, por acreditar em mim e se orgulhar das minhas conquistas. Ainda que os quatro não estejam aqui, este trabalho também é de vocês e sempre estará atrelado a nossa fração de tempo vivido juntos.

Agradeço à todas as pessoas que contribuíram, direta e indiretamente, para o desenvolvimento pessoal, intelectual e os produtos resultantes. Peço perdão por não descrever individualmente cada uma, pois certamente cometeria alguma injustiça, uma vez que muitas são as pessoas que estiveram envolvidas em todo processo.

Também não poderia deixar de agradecer aos professores e técnicos do Programa pela solidariedade e empatia recebido nos momentos de dificuldades. Pelo apoio e paciência quando as condições não estavam favoráveis. Por tudo isso e por todos envolvidos meus mais sinceros agradecimentos.

## EPÍGRAFE

“**Art. 225.** Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

Constituição Federal de 1988

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE SIGLAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Transição Amazônia - Cerrado.....	3
2.2 Relação Solo-Vegetação.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3.1 Área de Estudo.....	6
3.2 Amostragem de Solo.....	7
3.3 Análises estatísticas.....	8
4. RESULTADOS.....	12
4.1 Variação nas propriedades do solo.....	12
4.2 Relações entre as propriedades do solo.....	14
4.3.1. Distribuição das espécies.....	15
4.3.2. Riqueza de espécies.....	22
5. DISCUSSÕES.....	25
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
7. REFERÊNCIAS.....	31
ANEXOS.....	39

## LISTA DE TABELAS

1. Tabela de correlações entre propriedades do solo, distribuição (PCoA1) e a riqueza de espécies em um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT ..... 16
2. GLM com ajuste polinomial para distribuição das espécies em relação as variáveis de solo em um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra - MT ..... 17
3. Resultados do GLM com ajuste polinomial para riqueza de espécies em relação as variáveis de solo de um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra – MT ..... 23

## LISTA DE FIGURAS

1. Mapa de localização da área de estudo .....	7
2. Análise de componentes principais para as variáveis de solo (figura 1A) e a variância de cada eixo comparado com o modelo nulo de Broken Stick (figura 1B), de um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra – MT.....	13
3. Dendrograma para as variáveis de solos.....	14
4. Gráfico de correlação das variáveis de solos.....	15
5. Gráfico do GLM final, sem ajuste polinomial, com as variáveis significativas para distribuição das espécies em um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra – MT .....	17
6. Particionamento da variação da distribuição das espécies em relação ao ambiente e o espaço do afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra – MT.....	18
7. Curva de resposta das 10 espécies mais abundantes e sua relação com a variável Fe – de um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra - MT.....	19
8. Curva de resposta das 10 espécies mais abundantes e sua relação com a variável Mn – de um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT.....	20
9. Curva de resposta das 10 espécies mais abundantes e sua relação com a variável Na – de um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT.....	21
10. Curva de resposta das 10 espécies mais abundantes e sua relação com a variável Cu – de um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT.....	22

11. Gráfico do GLM final, sem ajuste polinomial, com as variáveis significativas para riqueza de espécies em um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra – MT.....	23
11. Particionamento da variação para riqueza.....	24
13. Curva de resposta para as 10 espécies mais abundantes às concentrações de fósforo disponível em afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT.....	25

## **LISTA DE SIGLAS**

**CNCFLORA** Centro Nacional de Conservação da Flora

**DMFs** Domínios Morfoclimáticos e Fitogeográficos

**IUCN** União Internacional para Conservação da Natureza

**RPPN** Reserva Particular do Patrimônio Natural

**RAINFOR** Rede Amazônica de Inventários Florestais

**GLM** Modelos lineares generalizados

**DAP** Diâmetro a altura do peito

## RESUMO

SOUZA, Samara Santos. M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, fevereiro de 2022. **Influência dos Solos Sobre a Variação na Distribuição e Riqueza de Espécies Lenhosas em Afloramento Rochoso na Transição Cerrado-Amazônia.** Orientador: Prof. Dr. Gustavo Caione. Coorientador: Prof. Dr. Pedro Vasconcellos Eisenlohr

Entre o DMF Amazônico e o DMF do Cerrado, encontra-se uma zona de transição, marcada pela diversidade fitofisionômica, e complexidade de ecossistemas resultantes das interações florísticas dos diferentes Domínios. Essa diversidade pode numa escala mais ampla pode ser explicada por fatores climáticos, como temperatura, precipitação, relevo etc.; no entanto, há variação na diversidade, composição e estrutura da vegetação sob as mesmas condições climáticas, que pode ser explicado pela interação de fatores edáficos, hidrológicos, geomorfológico e climático. Nosso objetivo é investigar a influências dos atributos do solo sobre a distribuição e riqueza de espécies em uma área de afloramento rochoso; para isso coletamos amostras de solo de 25 subparcelas instaladas na RPPN Cristalino e realizamos análises de 23 atributos físico-químicos do solo. Para as análises estatísticas utilizamos uma matriz de solo, riqueza, distribuição e uma matriz espacial. Para verificar a variação dos atributos do solo realizamos uma PCA; para verificar a afinidade entre esses atributos realizamos uma “Agrupamento Hierárquico de Variáveis” e uma matriz de correlação; para verificar a influência do solo na distribuição e riqueza realizamos análise de correlação, e utilizamos Modelos Lineares generalizado (GLM); complementarmente realizamos análise de particionamento da variação e de curva de respostas para as variáveis selecionadas pelo modelo. Resultados: a variação dos atributos do solo foi maior do que esperado pelo acaso; o primeiro eixo da PCoA explicou 30,7% da variação, sendo N, Ct, Mn, Ca, C.ORG., M.O., Mg, Silte, pH H<sub>2</sub>O as variáveis mais importantes. O segundo eixo explicou 20,57% da variação, sendo Zn, Cu, P. res, as variáveis mais importantes. As variáveis foram agrupadas conforme o esperado, elementos relacionados a matéria orgânica, textura e acidez, com algumas exceções como o Mn que se agrupou com Ca e Mg, provavelmente por ser um elemento da rocha de origem. Os elementos Fe e Mn foram significativos para explicar a

distribuição das espécies, e P. res influenciou a riqueza de espécies mais do que o esperado pelo acaso. No particionamento da variação o ambiente e o ambiente + espaço foram os que mais contribuíram para o modelo, o espaço apenas não foi importante para explicar a variação. Das variáveis selecionadas realizamos as curvas de respostas para verificar a afinidade das espécies aos atributos, os resultados são muito variáveis entre as espécies. Mesmo numa área pequena houve variação dos atributos do solo, as espécies que apresentam maior faixa de tolerância podem estar sendo beneficiadas; elementos da rocha de origem como o Mn podem estar filtrando a ocorrência ou abundância de espécies.

Palavras-chave. Diversidade Florística, relação solo-vegetação, Zona de Tensão Ecológica.

## ABSTRACT

SOUZA, Samara Santos. M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, Fevereiro de 2022. **Influence of Soils on the Variation in Distribution and Wealth of Woody Species in Rocky Outcrops in the Cerrado-Amazon Transition.** Advisor: Prof. Dr.Gustavo Caione. Co-advisor: Prof. Dr.Pedro Vasconcellos Eisenlohr

Between the Amazonian DMF and the Cerrado DMF, there is a transition zone, marked by the phytophysiognomic diversity and ecosystem complexity resulting from the floristic interactions of the different Domains. This diversity can, on a broader scale, be explained by climatic factors, such as temperature, precipitation, relief, etc.; however, there is variation in the diversity, composition and structure of vegetation under the same climatic conditions, which can be explained by the interaction of edaphic, hydrological, geomorphological and climatic factors.

Our objective is to investigate the influence of soil attributes on the distribution and species richness in a rocky outcrop area; for this, we collected soil samples from 25 subplots installed in RPPN Cristalino and performed analyzes of 23 physical-chemical soil attributes. For the statistical analysis we used a matrix of soil, richness, distribution and a spatial matrix. To verify the variation of soil attributes, we performed a PCA; to verify the affinity between these attributes, we performed a “Hierarchical Grouping of Variables” and a correlation matrix; to verify the influence of soil on distribution and richness, we performed correlation analysis, and used Generalized Linear Models (GLM); in addition, we performed a partitioning analysis of the variation and response curve for the variables selected by the model. Results: the variation of soil attributes was greater than expected by chance; the first axis explained 30.7% of the variation, with N, Ct, Mn, Ca, C.ORG., M.O., Mg, Silt, pH H<sub>2</sub>O being the most important variables. The second axis explained 20.57% of the variation, with Zn, Cu, P. res, the most important variables. The variables were grouped as expected, elements related to organic matter, texture and acidity, with some exceptions such as Mn, which was grouped with Ca and Mg, probably because it is an element of the source rock. The elements Fe and Mn were significant to explain species distribution, and P. res influenced species richness more than expected by chance. In the variation

partitioning, the environment and the environment + space were the ones that contributed the most to the model, the space was just not important to explain the variation. From the selected variables, we performed the response curves to verify the affinity of the species to the attributes, the results are very variable between the species. Even in a small area, there was variation in soil attributes, the species that present a greater range of tolerance may be benefiting; source rock elements such as Mn may be filtering the occurrence or abundance of species.

Key words. Floristics, Diversity, Environment.

## 1. INTRODUÇÃO

O Domínio Morfoclimático e Fitogeográfico (DMF) Amazônico compreende grande área de floresta, apresentando padrão florístico bem diversificado com grande diversidade de espécies, fauna e flora, responsável por grande quantidade de estocagem de carbono e ciclagem da água (FEARNSIDE, 1997; LEITÃO-FILHO, 1987; CARNEIRO FILHO e SOUZA, 2009). A diversidade florística na Amazônia tem sido relacionada com fatores como clima, especiação, interações competitivas, diversidade ambiental e herbívora, entre outros (SOUZA et al., 2012).

Na extremidade sul-amazônica as florestas estão em contato com o DMF do Cerrado, formando uma zona de transição marcada pela diversidade fitofisionômica e complexidade ecossistêmica resultantes de misturas florísticas em escalas regionais (CASTRO e MARTINS, 1999; MÉIO et al., 2003; IBGE, 2004; MARIMON et al., 2006; MARQUES, 2016). Entre as diversas fisionomias na transição entre esses DMFs encontram-se as florestas estacionais e vários tipos de savana que apresentam alta diversidade biológica (MARIMON et al., 2006).

A diversidade de espécies ao longo do gradiente latitudinal pode ser explicada pelas condições climáticas, como radiação solar e precipitação, e suas variações em diferentes regiões (WRIGHT et al., 1993). No entanto, como explicar as variações na diversidade, composição e estrutura da vegetação, quando estas se encontram sob o mesmo regime climático? Diversos estudos sugerem que a interação entre fatores climáticos, geomorfológicos, hidrológico e pedológico são importantes na determinação de diferentes fitofisionomias em escala espaciais locais ou regionais ( LATHAM; RICKLEFS, 1993; FERNANDES, 1998; 2003; CLARK, 2002; RESENDE et al., 2002; ARRUDA et al. 2013).

Os fatores edáficos têm sido abordados em diversos estudos que relacionam a influência do solo na variação da fisionomia, composição da comunidade e estrutura da vegetação. Estudos desta natureza podem evidenciar preferências ecológicas pelas espécies a diferentes condições abióticas; além disso, considerar a atuação de fatores ambientais em determinada área é crucial para compreender como as comunidades vegetais se organizam no tempo e no espaço (OLIVEIRA FILHO & RATTER 2002, MOURA et al. 2010; SCHAEFER, et al., 2015; RODRIGUES et al., 2016; MAÇANEIRO et al., 2016). Neste contexto, nosso estudo está pautado nas

seguintes questões: I) Como os solos variam ao longo da área de estudo? Esperamos que a variação dos atributos de solo seja significativa, ou seja, superior à variação esperada pelo acaso. II) Quais variáveis de solo estão mais correlacionadas entre si? Esperamos que as variáveis se correlacionem entre si pelo seu caráter funcional, por sua capacidade de adsorção (textura), pela fonte de nutrientes de materiais orgânicos fornecidos às plantas nos processos de decomposição ou por elementos da rocha de origem. III) As variáveis de solo exercem influência sobre a riqueza e distribuição das espécies lenhosas na área de estudo? Esperamos que o solo contribua em algum grau para a explicação da distribuição e riqueza das espécies.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Transição Amazônia - Cerrado

O DMF do Cerrado é considerado um dos 36 “*hotspots*” mundiais para a conservação da biodiversidade, devido ao elevado endemismo e ameaça que este ambiente vem sofrendo pelo desmatamento (MYERS et al., 2000). O Cerrado encontra-se sob forte sazonalidade climática, com estações secas entre três a cinco meses, período no qual a umidade do ar é baixa (38 a 40%); a temperatura média anual varia entre 20 e 26°C (AB’SÁBER, 2003). A flora do Cerrado existente hoje é resultado de seu desenvolvimento em solos muito intemperizados, ácidos, pobres em nutrientes, com concentrações elevadas de alumínio (HARIDASAN, 1982), além da incidência de fogo (HOFFMANN et al., 2012).

Situado na posição central do Brasil, esse Domínio apresenta grande diversidade fitofisionômica, classificada por Coutinho (1978) em três tipos fisionômicos: o campestre, o savânico e o florestal, sendo o tipo savânico predominante (ocupando 67% da área do Cerrado) (AB’SÁBER, 2003; COUTINHO, 2006). Em parte da extremidade desse Domínio encontra-se o DMF Amazônico, que no Brasil está distribuído pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Mato Grosso, Rondônia, Roraima, Tocantins, Maranhão e Goiás (INPE, 1998, AB’SÁBER, 2003).

O DMF Amazônico, compreendido como um mosaico, contém diversas fisionomias com vegetação densa de terra firme (predominante), várzea, igapó, formações savânicas, campinas, campinaranas, florestas de bambu e outras (BRAGA, 1979; SOUZA et al., 2012). O tipo de vegetação parece estar associado não apenas à umidade proveniente da nebulosidade, ou pluviosidade, mas também aos tipos de rios, solos e topografia, sendo que a variação da topografia influencia ainda na variação do tipo de solo e, conseqüentemente, na vegetação (FISH et al., 1998; SANTOS et al., 2012; FERRAZ et al., 2012).

A conexão desses domínios resulta na maior transição savana-floresta do mundo (MARQUES et al., 2020), com variadas fitofisionomias, como florestas estacionais, florestas ripícolas e savanas, que apresentam elevada diversidade de espécies (IBGE, 2004; MARIMON et al., 2006) e são caracterizadas por grande variação de fatores abióticos, heterogeneidade de formas de vida e complexa

organização ecossistêmica (LONGMAN e JENÍK, 1992). Há evidências que a vegetação da transição entre os DMFs Amazônico e do Cerrado sofreu momentos de contração e expansão das florestas, sendo que a savana teria avançado sentido à floresta ou vice-versa, formando interpenetrações entre domínios adjacentes em razão da flutuação climática, com períodos mais prolongados de seca ou de precipitação que ocorreram no quaternário (AB'SABER, 1982; PRANCE, 1982; RATTER, 1992; RATTER et al., 1997; MAYLE et al., 2000).

Os limites da fisionomia da transição são complexos e quando representada pelos mapas atuais de forma generalizada põe em risco a biodiversidade desta região (MARQUES et al., 2020). Além disso, a área de transição merece maior atenção a fim de se compreender as interações bióticas complexas ocorrentes e evitar futuros cenários que levem à seca e aquecimento na região da transição (ALENCAR et al., 2004; MARIMON et al., 2013; MARQUES et al., 2020), que é conhecida como “arco do desmatamento”, por sua intensa modificação na dinâmica de uso e ocupação do solo (MARACAHIPES et al., 2011; DALMAGRO et al., 2011). De fato, nos últimos 30 anos o desmatamento nesta área foi maior do que no Cerrado e Amazônia de forma individual, de modo que compreender os processos que ajudem a explicar a diversidade, estrutura e ocorrência das espécies são cruciais para nortear a gestão e proteção da biodiversidade na Transição (MARQUES et al., 2020).

## **2.2 Relação Solo-Vegetação**

Os estudos sobre a riqueza de espécies ao longo do gradiente latitudinal – dos pólos à linha do equador - têm sido muito abordados pelos ecólogos (CLARK, 2002; RANGEL, 2002), e numa escala mais ampla leva em consideração fatores ambientais, como radiação solar e precipitação em dada região (WRIGHT et al., 1993). No entanto, alguns padrões em escalas espaciais menores, quando não explicados por esses fatores, podem estar relacionados a outros descritores locais, como variáveis pedológicas e hidrológicas (CLARK et al., 2002; RESENDE et al., 2002; FERNANDES, 2003).

Vários estudos têm abordado a influência do solo sobre a estrutura, composição e diversidade de espécies em ambientes tropicais (por exemplo, BENITES et al., 2003; ABREU et al. 2012; RODRIGUES et al. 2016). O solo é um

sistema vivo integrado à diversidade ambiental e produto do clima, organismos e outros fatores causadores de sua formação a partir da rocha de origem, devendo ser considerado um importante descritor interpretativo das comunidades de plantas (FERREIRA-JÚNIOR, 2009). Os solos nos trópicos são em geral altamente intemperizados e pouco férteis, compostos predominantemente por quartzo e caulinita. Esta última é um tipo de argila que possui baixa capacidade de retenção de nutrientes minerais; apesar disso, algumas regiões tropicais apresentam formações exuberantes, o que pode estar relacionado com o teor de matéria orgânica oriunda de restos vegetais e animais, que, em conjunto com a atividade de microrganismos, reflete a fertilidade do solo, num processo conhecido como ciclagem de nutrientes (RICHARDS, 1952; COUCEIRO e SANTANA, 1999; FERREIRA JÚNIOR et al., 2009).

Fatores bióticos e abióticos em diferentes escalas, temporais e espaciais, são importantes na determinação da diversidade e estrutura da vegetação tropical; sobre as condições abióticas – numa escala local ou regional - podemos citar o solo e a topografia como fatores de heterogeneidade ambiental que podem influenciar a variação fisionômica da vegetação (DALE, 1999; OLIVEIRA-FILHO E RATTER 2002; PEÑA-CLAROS et al 2012; BALDECK et al., 2013; GUERRA et al., 2013; ARRUDA et al., 2015).

A florística em afloramentos rochosos está relacionada a diversos fatores, que inclui profundidade do solo, exposição de rocha, ilhas de solo, disponibilidade de água e nutrientes, entre outros fatores que atuam na seleção de espécies especializadas em habitats rochosos (ABREU et al., 2012). Portanto, estudos que levam em consideração os fatores ambientais que atuam em determinada área e considerem as especificidades das espécies são fundamentais para compreender como comunidades de plantas se organizam no tempo e no espaço e, por conseguinte, direcionar estratégias para a restauração e proteção ambiental (SCHAEFER, et al., 2015; RODRIGUES et al., 2016).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

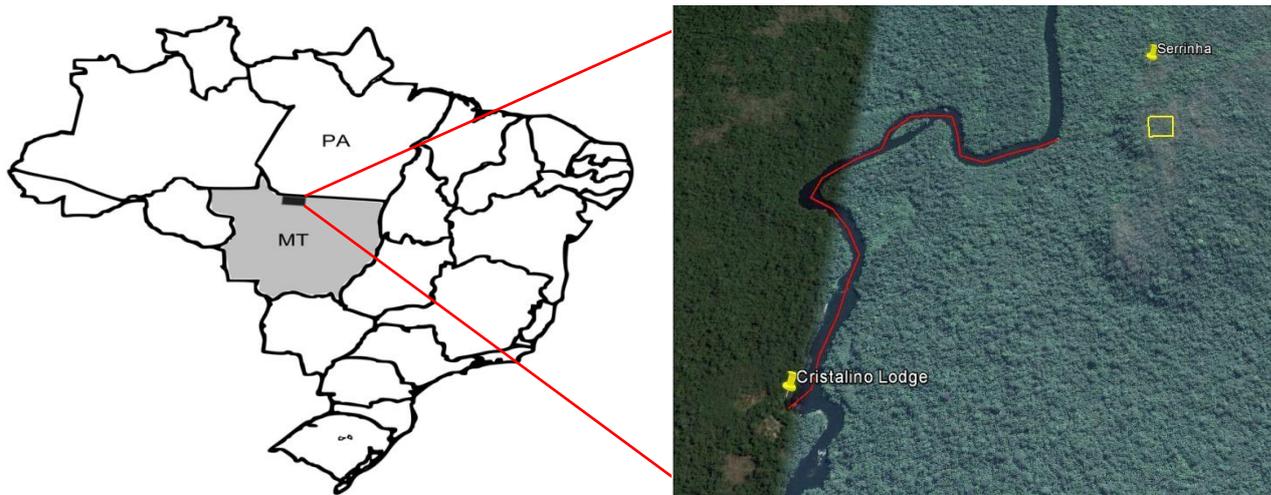
#### 3.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Cristalino, localizada entre os municípios de Alta Floresta e Novo Mundo, sob as coordenadas 09°34'59,1"S e 55°55'7,7"W, na região norte do Estado de Mato Grosso (SEPLAN/MT, 2001a Zappi, 2011). A temperatura média anual na região varia entre 21° C e 30,5° C e a pluviosidade média anual situa-se acima de 2.400 mm, com períodos de seca entre 3 e 5 meses (Nimer, 1989; Köppen, 1948; SEPLAN/MT, 2001b).

A região apresenta segundo a classificação de Köppen para o Brasil, clima tipo Am, com duas estações bem definidas, verão chuvoso e inverno seco, temperatura média anual em torno de 26°C, e precipitação média anual na faixa de 2800 a 3100 mm (ALVARES et al., 2014).

A região está situada na grande Depressão Marginal Sul-Amazônica e apresenta variações no relevo com altitudes variando entre 100 e 400 m (BRASIL e ALVARENGA, 1989; ROSS, 2003; SEPLAN/MT, 1997; ZAPPI et al., 2011). A RPPN encontra-se em grande parte sobre rochas composta principalmente por arenito quartzoso e feldspático (SEPLAN/MT, 2001a Zappi, 2011). Os solos são arenosos, ácidos, pouco férteis, predominando solos Podzólicos (atual argilossolo) Vermelho-Amarelos Distróficos, Podzólicos Vermelho-Amarelos Álicos, Litólicos Álicos, Distróficos, Latossolos Vermelho-Escuros Distróficos e Neossolos Quartzarênicos (SEPLAN/MT, 2001c).

As amostras de solo foram coletadas na parcela permanente da RAINFOR (Rede Amazônica de Inventários Florestais), em um plot de 100 X 100 m (1 ha), dividido em 25 subplots de 20x20 m, distribuídos de forma contígua, que foram georreferenciados por GPS (*Global Positioning System*) e correlacionados com dados da vegetação lenhosa obtidos pelo levantamento florístico realizado por Silva et al. (2020) onde foi incluída no levantamento apenas indivíduos com DAP à 1,30 do solo e  $\geq 5$  cm que não utilizam outras como suporte. O acervo foi encaminhado para o Herbário da Amazônia Meridional (HERBAM), da Universidade do Estado de Mato Grosso – MT (ver lista de espécies em anexos) (SILVA et al., 2020).



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo (imagem de satélite obtida pelo google Earth e adaptação de Zappi, 2011 e Silva et al., 2020).

### 3.2 Amostragem de Solo

Para a amostragem e análises do solo utilizamos a metodologia proposta pela RAINFOR, disponível no site: <http://www.rainfor.org/>. Obtivemos amostras compostas por subparcelas coletadas em profundidade de 0–20 cm, que foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Solos, Adubo e Foliar (LASAF) da Universidade do Estado de Mato Grosso, para análises. Realizamos a análise granulométrica para determinar frações de areia, silte e argila pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2017). Para as análises de Ca, Mg, K, Na e Al, utilizamos a solução extratora Ag - tioureia (Tioureia de prata) (Pleysier e Juo; 1980). Os elementos Ca, Mg e Al foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Anderson e Ingram; 1993) enquanto Na e K foram determinados por espectrofotometria de chama. Os micronutrientes Fe, Zn, Cu, Mn foram extraídos com solução Mehlich-1, solução dupla - ácida (Silva, 1999), e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. As concentrações de fósforo disponíveis foram extraídas pelo método de resina trocadora de ânions (RTA) e determinada por espectrofotômetro UV-Vis. O C total e o N foram determinados por analisador elementar CHN (Perkin Elmet 2400), enquanto o C orgânico e a matéria orgânica foram determinados pelo método de via úmida utilizando a solução de dicromato de potássio (EMBRAPA, 2017).

Determinamos as concentrações de MgO, CaO, K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para estimar o desgaste químico dos minerais pelo método de digestão utilizando ácido sulfúrico,

determinados por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP - OES). Analisamos o pH do solo em água e em solução de KCl 1 M (EMBRAPA, 2017).

### **3.3 Análises estatísticas**

#### *Matrizes*

Utilizamos os dados resultantes do levantamento florístico desta área (Silva et al., 2020). Construímos três matrizes: i) uma matriz de distribuição de espécies, incluindo o número de indivíduos de cada espécie em cada uma das 25 subparcelas; ii) uma matriz ambiental com 23 variáveis físico-químicas do solo (teor de areia, argila e silte, Ca, CaO, Mg, MgO, K, K<sub>2</sub>O, Na, Al, Fe, Zn, Cu, Mn, pH em água, pH em KCl, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, P disponível, Carbono orgânico, Matéria orgânica, Carbono total e N) iii) uma matriz espacial baseada nas coordenadas cartesianas (X e Y) de cada subparcela.

Realizamos as análises descritas a seguir em ambiente estatístico R, versão 3.3.6 (R Core Team, 2020).

#### *Variação dos solos e suas correlações*

Para respondermos à nossa primeira pergunta, utilizamos uma Análise de Componentes Principais (PCA) e comparamos a variância de cada eixo com a variância obtida pelo modelo nulo de Broken Stick. Avaliamos a importância das variáveis com base no círculo de contribuição do equilíbrio. As variáveis cujos vetores possuem um comprimento superior ao raio desse círculo exercem contribuição maior do que a média e podem ser interpretadas com confiança (Borcard et al., 2018). Utilizamos aqui o pacote “vegan”.

Para respondermos à nossa segunda pergunta, efetuamos uma Análise de Agrupamento Hierárquico (ClusOfVar) e construímos uma matriz de correlação para as variáveis ambientais, utilizando os pacotes “ClusOfVar” e “corrplot”, respectivamente.

#### *Influência dos solos sobre a distribuição e riqueza de espécies*

Para respondermos à nossa terceira pergunta, analisamos a correlação entre as variáveis ambientais e a distribuição e a riqueza de espécies com o pacote

“corrplot”. Analisamos as curvas de resposta para as 10 espécies mais abundantes em relação às variáveis significativas dos GLMs para distribuição e riqueza.

Utilizamos Modelos Lineares Generalizados (GLMs) para investigar a influência das variáveis ambientais sobre a distribuição e riqueza das espécies na área de estudo. Nos modelos de distribuição (variável resposta contínua - eixos de PCoA; veja no próximo parágrafo), utilizamos distribuição gaussiana e, nos modelos de riqueza (variável resposta de contagem - número de espécies), utilizamos distribuição de Poisson. Em modelos com distribuição de Poisson, caso a variância dos dados seja maior do que o previsto pelo modelo de distribuição ocorre o que chamamos de sobredispersão; usando a função “dispersiontest” do pacote “EAR”, testamos a sobredispersão, que não foi significativa para o modelo.

Inicialmente, removemos as espécies com apenas uma ocorrência entre todas as amostras (unicatas). Então, aplicamos a análise de coordenadas principais (PCoA) à matriz de distribuição de espécies, utilizando o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis para condensar a matriz de espécies a eixos de PCoA. Testamos a significância da contribuição de cada eixo comparando a explicação desse eixo (% de variação dos autovalores) com a explicação fornecida pelo modelo nulo de Broken Stick. Os seis primeiros eixos foram significativos. Porém, como notamos um grande decréscimo de explicação entre o primeiro e o segundo eixos, e também considerando que entre o segundo e o sexto eixos a explicação foi muito próxima à do modelo nulo, optamos por trabalhar apenas com o primeiro eixo. Para os modelos de riqueza, não realizamos PCoA, pois utilizamos como variável resposta o número de espécies por subparcela.

Selecionamos as variáveis ambientais eliminando variáveis supérfluas e redundantes, aplicando o teste de correlação de Pearson e calculando o Fator de Inflação da Variância – VIF. As variáveis ambientais com correlação inferior a 20% com a variável resposta foram removidas. Para remover colinearidades remanescentes das variáveis ambientais verificamos o VIF através da função “vifstep”, aplicando limiar de corte de 10, conforme recomendado para dados ecológicos (e.g., Borcard et al., 2011).

Para selecionar as variáveis ambientais, utilizamos a função “dregde” do pacote “MuMIn”. Os modelos na função “dredge” foram ranqueados pelo Akaike Information Criterion (AICc). As variáveis preditoras selecionadas para o modelo de

distribuição foram Cu, Fe, Mn e Na e, para o modelo de riqueza, P disponível e Mg. Verificamos o ajuste dos modelos usando a estimativa de Pseudo R<sup>2</sup> com a função “Dsquared” do pacote “modEvA”.

Verificamos a autocorrelação espacial desses modelos através de correlogramas de Moran I para os resíduos e para cada uma das variáveis (Landeiro e Magnusson, 2011). A autocorrelação espacial dos resíduos viola o pressuposto clássico de independência dos erros do modelo, enquanto a autocorrelação espacial tanto nas variáveis preditoras quanto na variável resposta implica em inflação do erro tipo I (Peres-Neto e Legendre, 2010). Como detectamos autocorrelação espacial significativa nos resíduos e em duas das quatro variáveis preditoras selecionadas para o modelo de distribuição, descontamos o efeito do espaço utilizando como covariáveis mapas de autovetores de Moran (MEMs; Peres-Neto e Legendre 2010). Utilizamos para isso dois algoritmos alternativos: gráfico de Gabriel e triangulação de Delaunay. Novamente acessamos o melhor modelo por meio da função “dredge”. O modelo final foi então composto pelas variáveis ambientais e espaciais selecionadas que estão apresentadas nos resultados.

Para a validação do modelo final, realizamos o teste de Shapiro-Wilk para o modelo de distribuição, o qual pressupõe distribuição normal dos resíduos. A homogeneidade de variância e a linearidade foram checadas por visualização do gráfico resíduos vs valores ajustados pelo modelo. Notamos aqui que algumas variáveis se ajustaram mais aos dados de distribuição e de riqueza de espécies por meio de modelos polinomiais. Assim, no modelo de distribuição nós construímos polinômios de segundo grau para Na e Cu e de terceiro grau para Mn, enquanto para o modelo de riqueza, construímos polinômios de segundo grau para P disponível, Mg e MEM9 (variável espacial), e o ajuste dos modelos se manteve. Verificamos ausência de outliers nos modelos pela função “outlierTest” do pacote “car”.

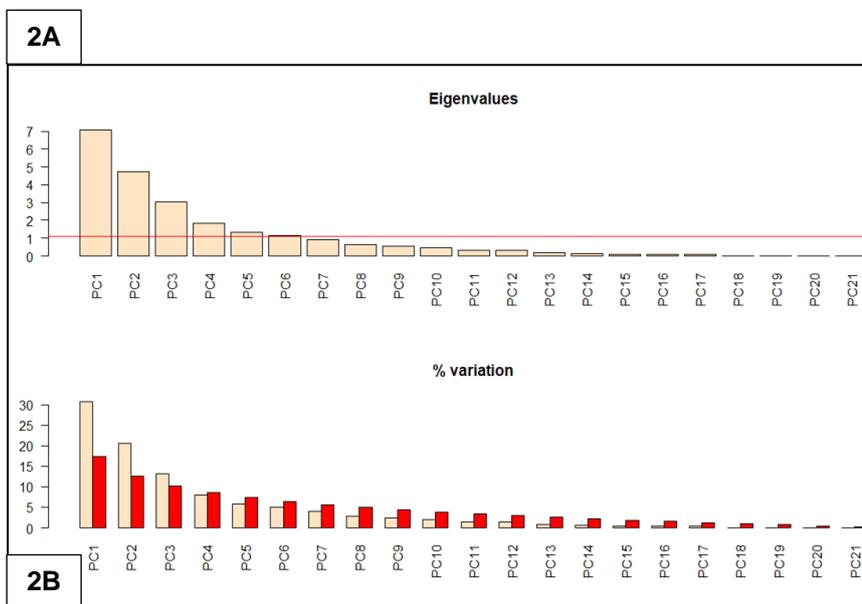
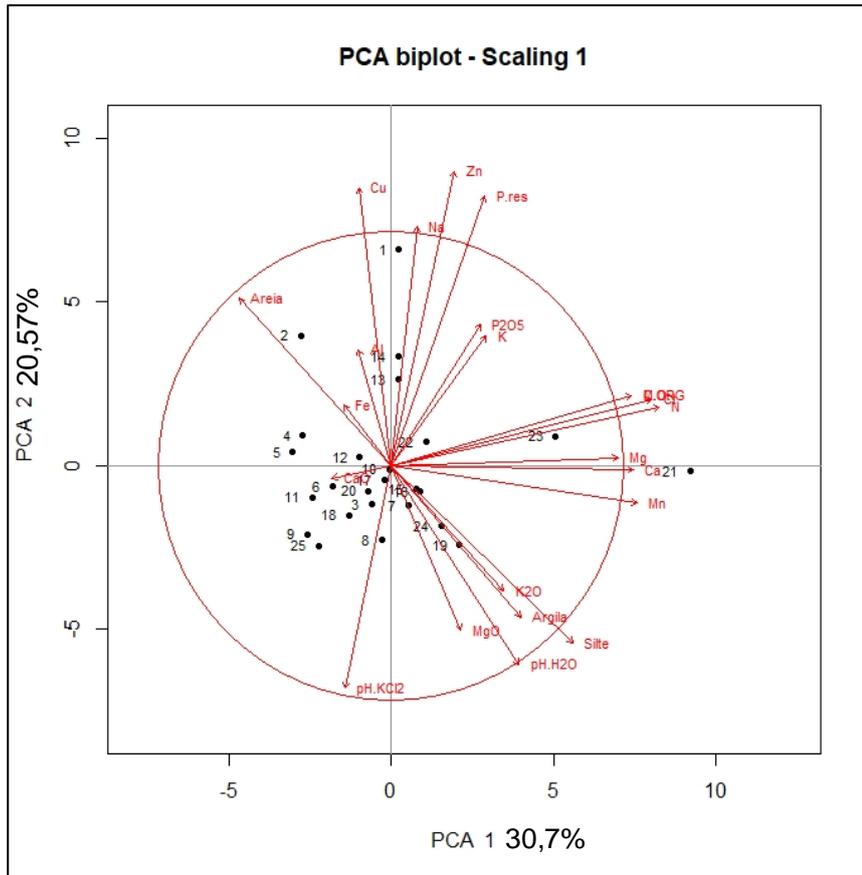
Com o objetivo de verificar a contribuição de cada fator (ambiente e espaço) ao modelo final realizamos o particionamento da variação, que consiste em avaliar a contribuição relativa dos componentes ambientais [a], espaciais [c], sobreposição de ambiente e espaço [b] (que consiste em uma relação que não pode ser dissociada), e o que não pode ser explicado [d], utilizando a função “ecospat.varpat” do pacote “ecospat” (Borcard, 1992) .

Complementarmente, verificamos a resposta das 10 espécies mais abundantes ao gradiente ambiental por meio de curvas de resposta, utilizando o pacote “eHOF”, com modelos HOF (Huisman-Olff-Fresco), ou modelos de regressão logística hierárquica. Apresentamos as curvas de resposta apenas para as variáveis significativas dos GLMs. Para variáveis-chave do modelo de riqueza de espécies, construímos um mapa de cores visando a uma compreensão mais precisa da correlação entre essas variáveis.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Variação nas propriedades do solo**

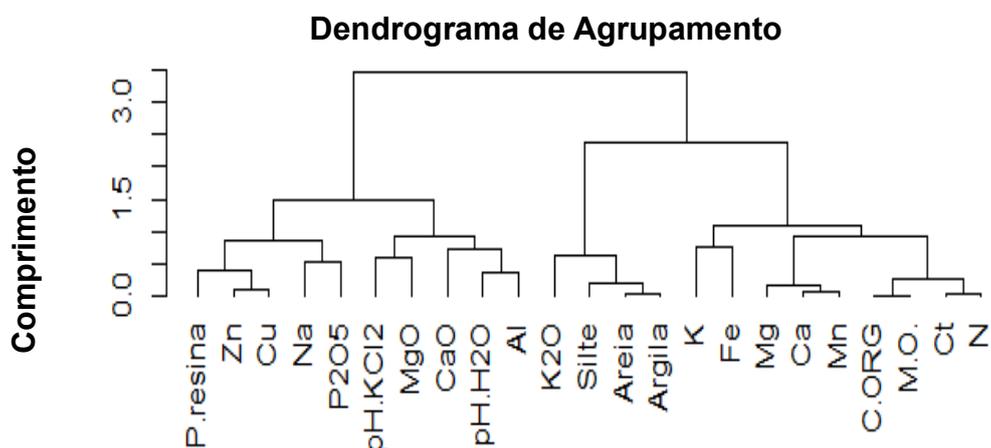
Confirmamos a nossa primeira hipótese, ou seja, a variação das variáveis de solos foi significativa, uma vez que a explicação dos quatro primeiros eixos da PCA foi superior à explicação gerada pelo modelo nulo pelo critério de Broken-Stick (Figura 2 b) porém utilizamos apenas os dois primeiros eixos que representam maiores informações. No primeiro eixo, que explicou 30,7%, as variáveis mais importantes, isto é, aquelas que ultrapassaram o círculo de contribuição do equilíbrio, foram N, Ct, Mn, Ca, C.ORG., M.O., Mg, Silte, pH H<sub>2</sub>O (ver Tabela 1 em anexos). No segundo eixo, que explicou 20,57%, as variáveis mais importantes foram Zn, Cu, P. resina, Na. (ver Figura 2 na página seguinte). A maior parte das parcelas (19 parcelas) estão agrupada próxima às variáveis relacionadas à textura e pH (Figura 2).



**Figura 2.** Análise de componentes principais para as variáveis de solo (figura 2A) e a variância de cada eixo comparado com o modelo nulo de Broken Stick (figura 2B), de um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra – MT.

## 4.2 Relações entre as propriedades do solo

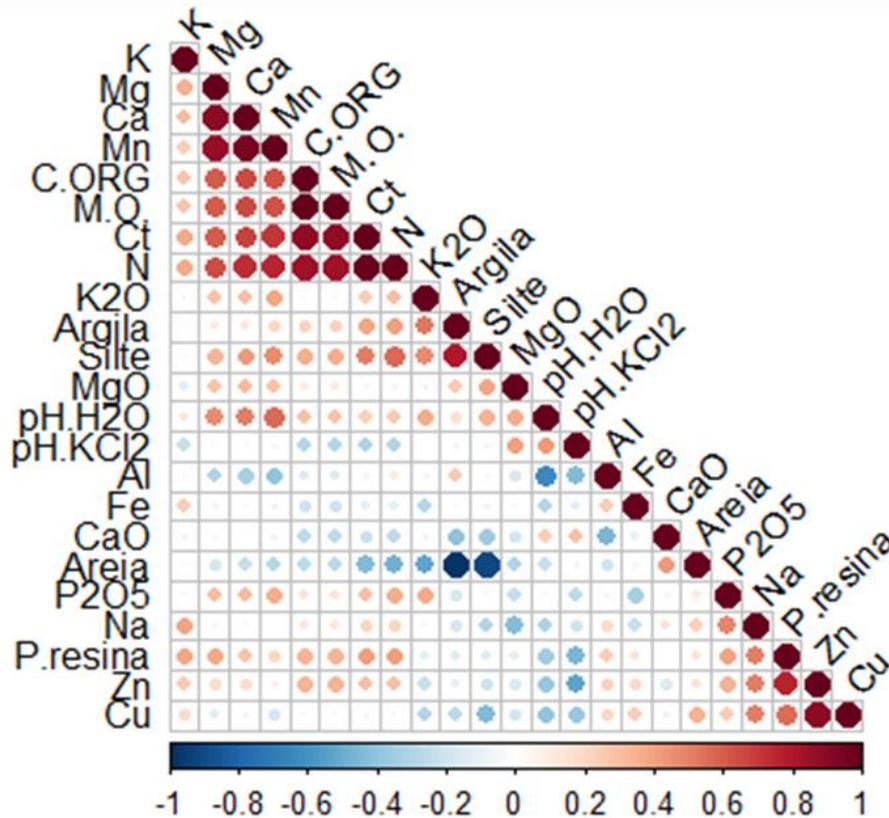
Confirmamos em parte a nossa segunda hipótese uma vez que observamos a formação de oito grupos com maior afinidade entre si (Figura 3). Observamos que as variáveis ambientais foram agrupadas de acordo com sua dinâmica conforme esperávamos, por exemplo, variáveis relacionadas ao pH (como Al, MgO, CaO), variáveis relacionadas à textura (como areia, silte e argila) e variáveis relacionadas à matéria orgânica (Ct, C.ORG., M.O. e N). Apesar do P ter afinidade com Fe, Al e Ca, em nossas análises Pres e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se agruparam com elementos metálicos (Cu e Zn (metais de transição) e Na (metal alcalino)). Esperávamos que Mn estaria agrupado com os elementos metálicos Fe e Al, o que não aconteceu - o Mn ficou agrupado próximo aos elementos orgânicos (carbono orgânico, matéria orgânica e carbono total), o que pode ser explicado pelo fato de C atuar no armazenamento de metais pesados e ser um elemento de origem geoquímica das rochas, enquanto Fe e K possivelmente foram agrupados por responderem de forma inversamente proporcional ao pH, pois em pH baixo (entre 4,5 e 5,5) o Fe teve sua disponibilidade aumentada e K, diminuída (Figura 3).



**Figura 3.** Dendrograma para as variáveis de solos de um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra – MT.

Os elementos Cu, Zn e P res apresentaram correlação positiva entre si e foram inversamente proporcionais a pH KCl<sub>2</sub>. O pH H<sub>2</sub>O apresentou correlação

positiva com Mg, Ca e Mn e foi inversamente proporcional à variável Areia. Já as variáveis N., Ct, M.O., C.ORG., Mn, Ca e Mg, apresentaram alta correlação positiva entre si.



**Figura 4.** Gráfico de correlação das variáveis de solos.

#### 4.3.1. Distribuição das espécies

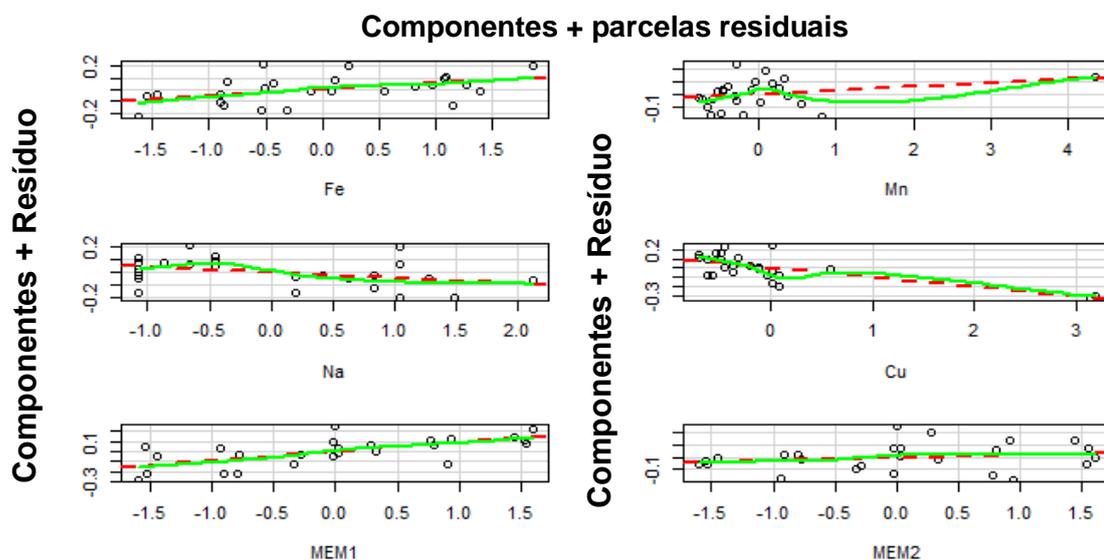
Confirmamos a nossa terceira hipótese, pois os nossos modelos apresentaram variáveis significativamente associadas à distribuição e à riqueza de espécies. Por exemplo Mn e pH estão correlacionados positivamente, enquanto MgO, Na, Zn e Cu estão correlacionados negativamente com a distribuição das espécies (Tabela 2). Após o ajuste polinomial, apenas Fe e Mn se mantiveram significativos e o espaço não influenciou a distribuição das espécies (Tabela 2 e Figura 5).

**Tabela 1.** Tabela de correlações entre propriedades do solo, distribuição (PCoA1) e a riqueza de espécies em um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT

	<b>Distribuição</b>	<b>Riqueza de Espécies</b>
<b>K</b>	0.039	0.073
<b>Mg</b>	0.34	0.24
<b>Ca</b>	0.34	0.17
<b>Mn</b>	<b>0.4</b>	0.27
<b>C.ORG</b>	0.0062	-0.095
<b>M.O.</b>	0.0063	-0.095
<b>Ct</b>	0.076	-0.0075
<b>N</b>	0.091	0.015
<b>K2O</b>	0.27	0.34
<b>Argila</b>	0.17	0.33
<b>Silte</b>	0.31	0.33
<b>pH.H2O</b>	<b>0.48</b>	<b>0.44</b>
<b>pH.KCl2</b>	0.24	0.24
<b>MgO</b>	<b>0.43</b>	0.38
<b>Al</b>	-0.26	-0.18
<b>Fe</b>	0.28	0.13
<b>CaO</b>	-0.088	-0.066
<b>Areia</b>	-0.23	-0.35
<b>P2O5</b>	-0.22	-0.13
<b>Na</b>	<b>-0.64</b>	-0.38
<b>P.resina</b>	-0.3	<b>-0.42</b>
<b>Zn</b>	<b>-0.49</b>	<b>-0.5</b>
<b>Cu</b>	<b>-0.54</b>	<b>-0.5</b>

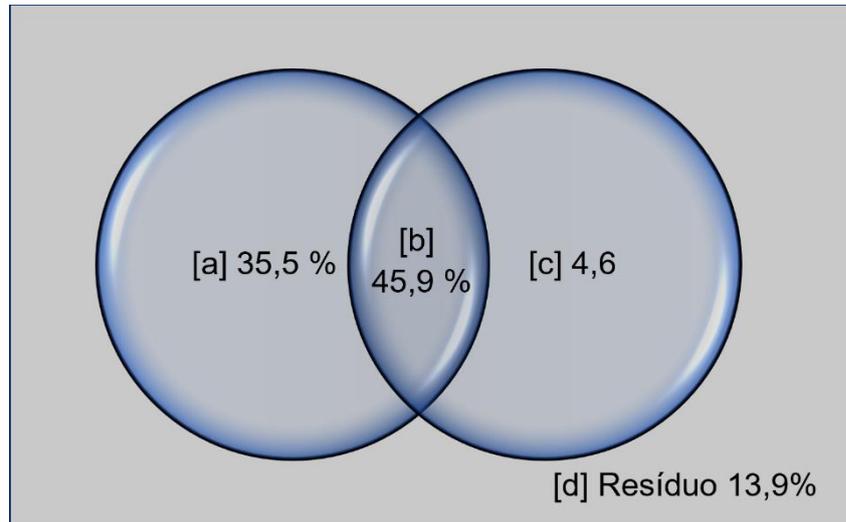
**Tabela 2.** GLM com ajuste polinomial para distribuição das espécies em relação as variáveis de solo em um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra - MT

	Coeficiente	Erro padrão	Valor de z	p valor
<b>Intercepto</b>	3.149e-17	2.168e-02	0.000	1.0000
<b>Fe</b>	6.593e-02	2.683e-02	2.457	<b>0.0277 *</b>
<b>Mn</b>	3.076e-01	1.646e-01	1.868	0.0828
<b>Mn<sup>2</sup></b>	-2.060e-01	1.915e-01	-1.076	0.3003
<b>Mn<sup>3</sup></b>	3.548e-01	1.298e-01	2.734	<b>0.0162 *</b>
<b>Na</b>	-3.309e-01	1.732e-01	-1.910	0.0768
<b>Na<sup>2</sup></b>	-1.195e-01	1.418e-01	-0.843	0.4135
<b>Cu</b>	-2.996e-01	2.114e-01	-1.417	0.1784
<b>Cu<sup>2</sup></b>	1.002e-01	1.318e-01	0.760	0.4600
<b>MEM1</b>	6.254e-02	3.621e-02	1.727	0.1061
<b>MEM2</b>	-2.377e-02	4.254e-02	-0.559	0.5851



**Figura 5.** Gráfico do GLM final, sem ajuste polinomial, com as variáveis significativas para distribuição das espécies em um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra - MT

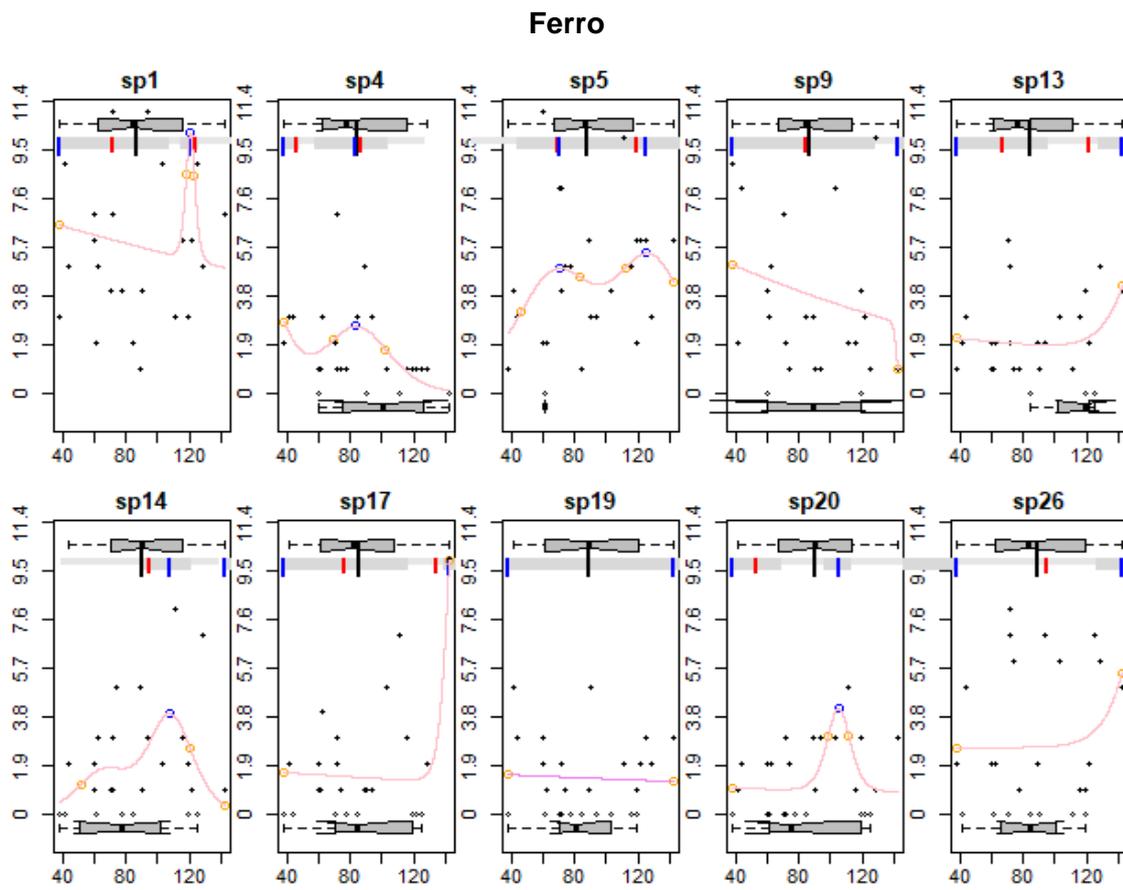
Grande parte do particionamento da variação para a distribuição das espécies foi atribuído ao componente espacial e ambiental (45,9%), seguido do componente ambiental (35,5%); 4,6% da variação da matriz de espécies se deve ao componente puramente espacial; e a variação indeterminada 13,9% (Figura 6).



[a] Ambiente; [b] Ambiente + espaço; [c] Espaço; [d] Resíduo;

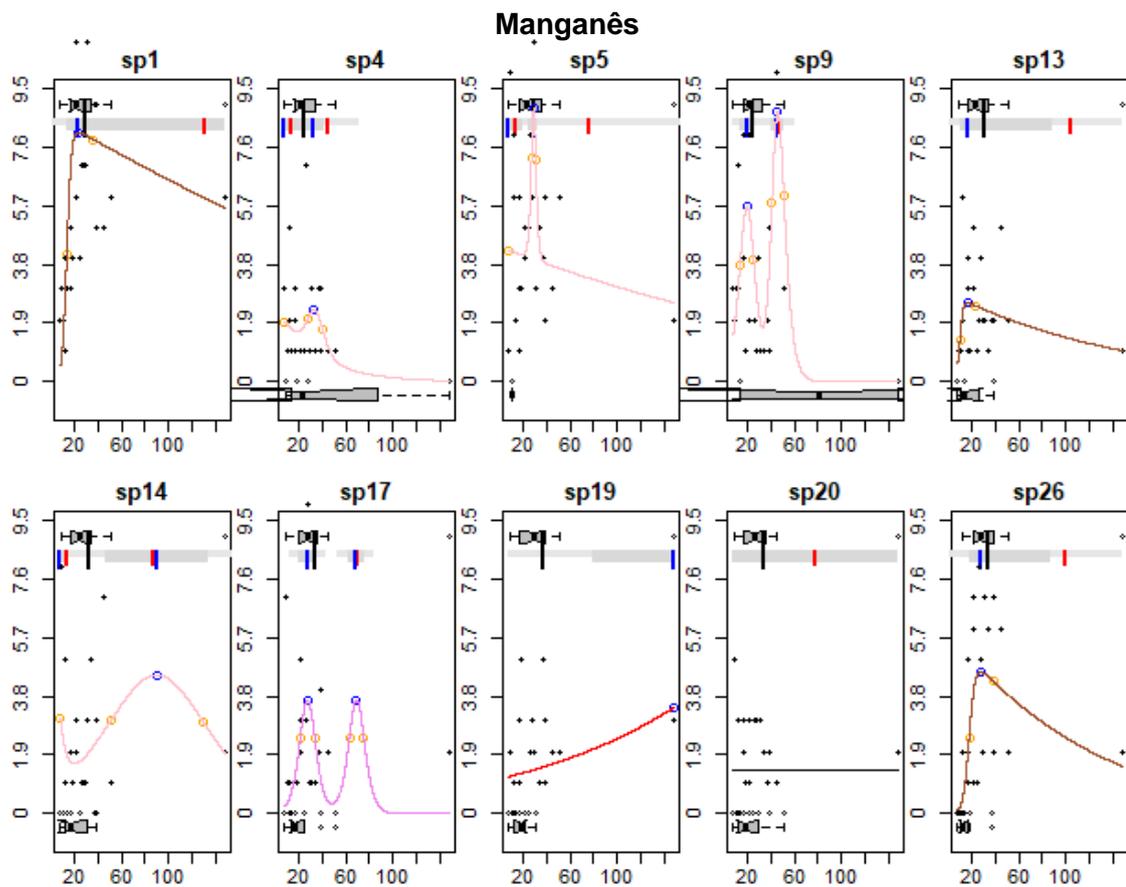
**Figura 6.** Particionamento da variação da distribuição das espécies em relação ao ambiente e o espaço do afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra - MT

Os gráficos da curva de resposta indicam que as 10 espécies mais abundantes apresentam ampla tolerância às diferentes concentrações de Fe, comportando-se de modo variável - amodal, unimodal e bimodal – ou seja, as espécies apresentam respostas diferenciadas aos conteúdos de ferro (Figura 7).



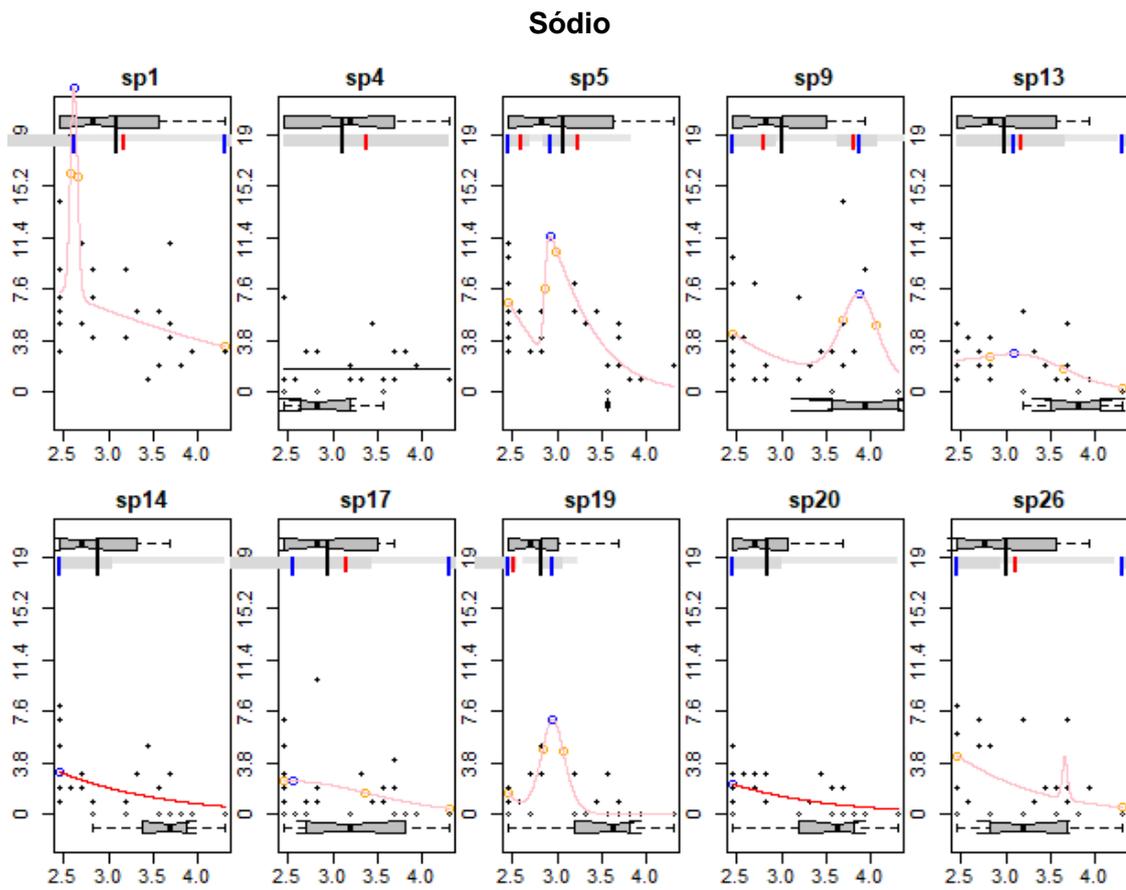
**Figura 7.** Curva de resposta das 10 espécies mais abundantes e sua relação com a variável Fe – de um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra - MT

Das 10 espécies mais abundantes, 8 tiveram melhor desempenho sob concentrações abaixo de  $100 \text{ mg/dm}^3$  de Mn. A espécie *Luehea candicans* Mart. - sp19 - parece se desenvolver melhor em concentrações mais elevadas de Mn e *Aspidosperma macrocarpon* - sp20 - mostrou-se indiferente às diferentes concentrações de manganês, portanto o elemento não atuou como um filtro para esta espécie.



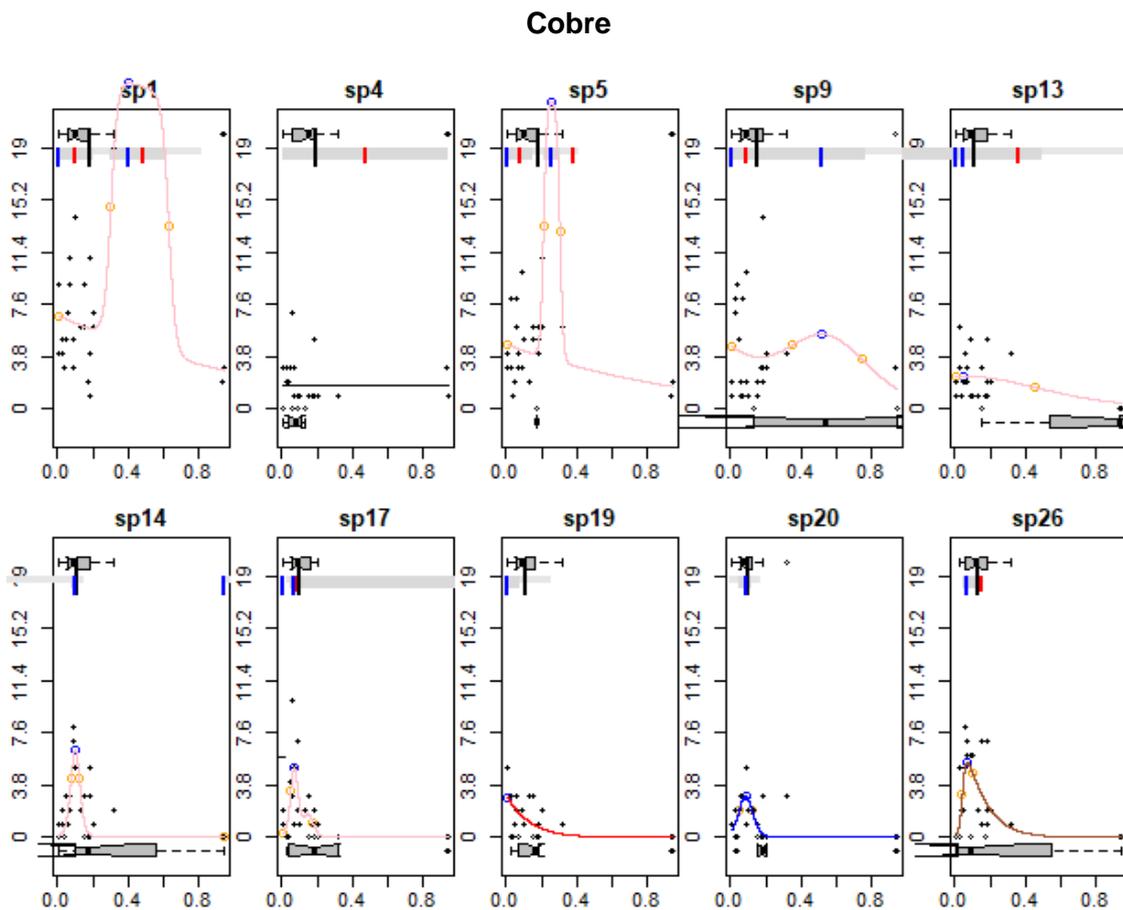
**Figura 8.** Curva de resposta das 10 espécies mais abundantes e sua relação com a variável Mn – de um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT.

Na curva de resposta para sódio, 7 espécies tiveram melhor desempenho em concentrações abaixo de 3,5 g/kg; acima deste valor *Erythroxyllum anguifugum* - sp9 e *Handroanthus capitatos* - sp26 tiveram maior tolerância. A ocorrência da *Anadenanthera peregrina* - sp4 se manteve indiferente às concentrações.



**Figura 9.** Curva de resposta das 10 espécies mais abundantes e sua relação com a variável Na – de um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT.

Todas as espécies tiveram comportamento unimodal em resposta às concentrações de cobre, exceto *Anadenanthera peregrina* - sp4, que parece não apresentar afinidade por intervalo específico nas diferentes concentrações de cobre, ou seja, sua ocorrência não foi dependente do teor de Cu. As demais espécies apareceram com maior ocorrência nas concentrações mais baixas, com quase nenhuma ocorrência em concentrações mais elevadas.



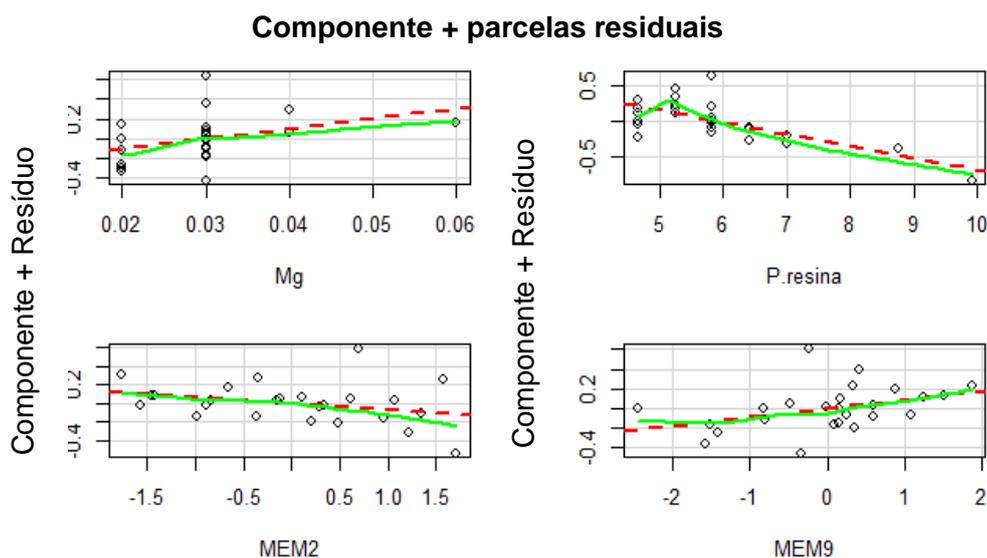
**Figura 10.** Curva de resposta das 10 espécies mais abundantes e sua relação com a variável Cu – de um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT.

#### 4.3.2. Riqueza de espécies

Nossos resultados para riqueza de espécies indicam que há correlação positiva com pH e negativa com P, Zn, Cu (Tabela 1). Porém, no modelo para riqueza, apenas P se manteve significativo, e o espaço não influenciou os resultados (Tabela 3). Observamos que à medida que P aumentou, a riqueza diminuiu (Figura 11).

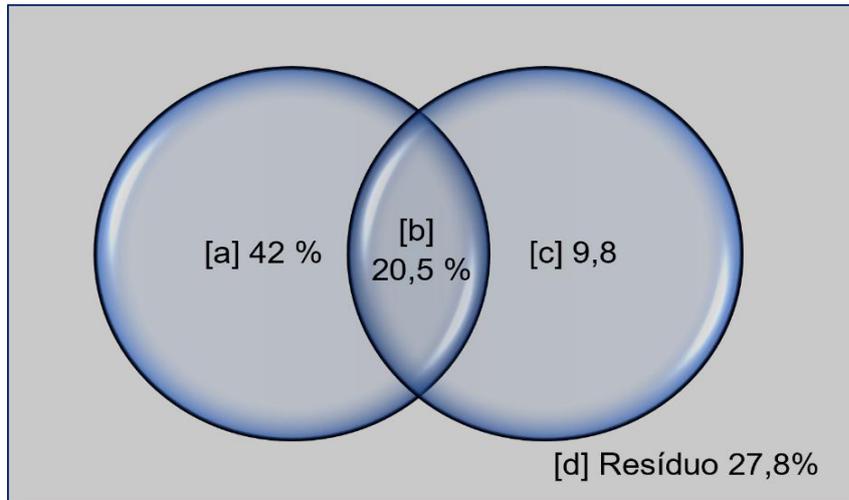
**Tabela 3.** Resultados do GLM com ajuste polinomial para riqueza de espécies em relação as variáveis de solo de um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra - MT

	Coeficiente	Erro padrão	Valor de z	p valor
<b>Intercepto</b>	2.69693	0.05283	51.046	< 2e-16 ***
<b>P.resina</b>	-1.08138	0.36597	-2.955	<b>0.00313</b> **
<b>P.resina<sup>2</sup></b>	-0.32335	0.34521	-0.937	0.34893
<b>Mg</b>	0.35934	0.38627	0.930	0.35223
<b>Mg<sup>2</sup></b>	-0.22701	0.26905	-0.844	0.39882
<b>MEM2</b>	-0.05866	0.06136	-0.956	0.33907
<b>MEM9</b>	0.41919	0.28050	1.494	0.13506
<b>MEM9<sup>2</sup></b>	0.04355	0.29374	0.148	0.88215



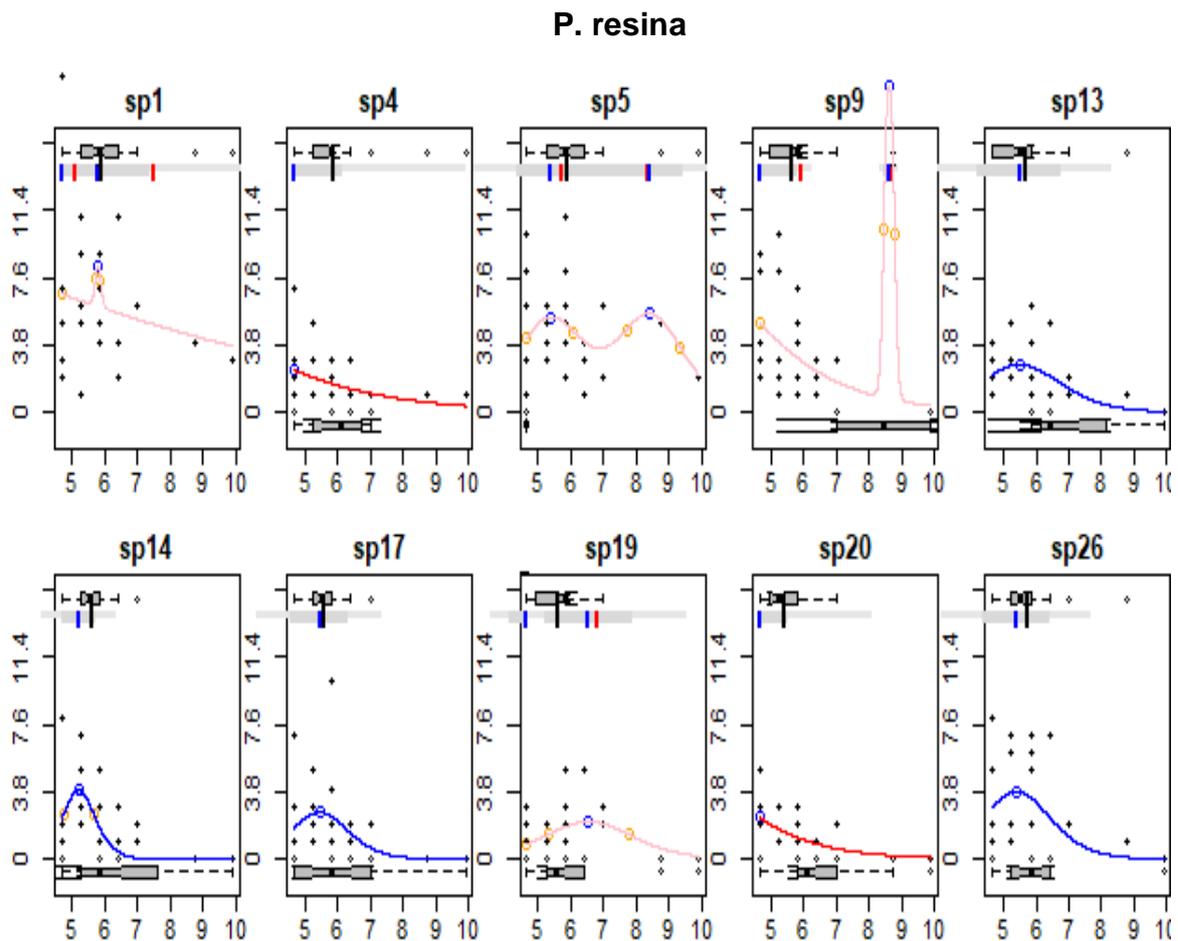
**Figura 11.** Gráfico do GLM final, sem ajuste polinomial, com as variáveis significativas para riqueza de espécies em um afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra – MT.

A avaliação da contribuição do ambiente e do espaço foi verificada pelo particionamento da variação, onde apenas o ambiente representou 42% do total de variação da riqueza de espécies, o ambiente + espaço é responsável por 20,5% e o espaço puro apresentou a fração de 9,8%, e a fração que não pode ser determinada 27,8%.



[a] Ambiente; [b] Ambiente + espaço; [c] Espaço; [d] Resíduo;

**Figura 12.** Particionamento da variação para riqueza em relação ao ambiente e o espaço do afloramento rochoso na RPPN Mirante da Serra – MT.



**Figura 13.** Curva de resposta para as 10 espécies mais abundantes às concentrações de fósforo disponível em afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra – MT.

## 5. DISCUSSÕES

### *Varição dos atributos do solo e suas relações*

O agrupamento (Figura 2) e os agrupamentos (Figura 3) observadas entre N com Ct, Corg e M.O. era esperado devido à forte relação existente entre esses atributos. Em média o grande estoque de N do solo está na fração orgânica, correspondendo aproximadamente 99% do N total do solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Dessa forma, em sistemas naturais os processos de mineralização e imobilização assumem papel fundamental para o suprimento de N para as plantas. Sabe-se também que, em média, o teor de COrg corresponde a 58% da M.O. do solo (MACHADO et al., 2003), explicando a relação existente entre essas três variáveis.

Com relação ao agrupamento (Figura 2) e as correlações (Figura 3) entre Ca, Mg e Mn pode-se explicar pela relação conhecida entre Ca e Mg no solo que,

tradicionalmente, fica em torno de 3/1 (Ca/Mg) (SALVADOR et al., 2011). Esses dois elementos são os mais abundantes na solução do solo, porém o fato do Mn ter sido associado a Ca e Mg não era um resultado esperado. Possivelmente pode ser explicado pelo material de origem conter altos níveis de Mn e, por se tratar de um solo apresentando afloramento rochoso, há grande contribuição da rocha mãe sobre os teores dos elementos do solo.

Para areia, silte e argila houve forte correlação (Figura 3) e também foram agrupados juntos (Figura 2). Esse resultado é explicado por estes serem os constituintes da fração mineral do solo que, em média, correspondem a 45% do volume da camada de 0-20 cm de profundidade. Dessa forma, na medida que se aumenta uma fração, obrigatoriamente reduz outra, explicando a correlação negativa obtida.

O agrupamento do Al, pH em H<sub>2</sub>O, CaO, MgO e pH KCl<sub>2</sub> (Figura 2) é explicado pela conhecida relação existente entre essas variáveis. Em solos de pH baixo ocorre a solubilização do Al e em pH alto ocorre sua precipitação. O CaO e MgO influenciam diretamente no pH do solo onde após sua reação liberam OH<sup>-</sup> aumentando o pH (SOUSA e LOBATO, 2004)

O outro agrupamento observado foi entre P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na, Cu, Zn e P-res (Figura 2). Para o Cu e Zn este resultado era esperado uma vez que ambos apresentam comportamento similar no solo, no entanto, para o Na, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e P-res. este resultado não era esperado e possivelmente pode ter sido agrupados juntos devido a composição do material de origem do solo.

### *Distribuição*

Diversos fatores estão envolvidos na dinâmica da relação entre solo, planta e organismos, por exemplo, a planta pode liberar exsudato pela rizosfera para alterar a disponibilidade de nutrientes, e microrganismos podem atuar aumentando a disponibilidade de nutrientes para a planta (RANGEL, 2015).

Os elementos Mn, pH, MgO, Na, Zn e Cu apresentaram correlação positiva e negativa com a distribuição de espécies (Tabela1), a dinâmica desses elementos no solo para absorção pelas plantas estão sujeitas aos fatores como umidade, exsudatos, interações iônicas, etc., (KERBAUY, 2017), por exemplo, os micronutrientes Mn e Zn

são influenciados pelo pH, quando o pH aumenta a disponibilidade de Mn e de Zn diminui e vice-versa (RENGEL, 2015).

Diversos estudos realizados em ambientes rupestres e afloramentos rochosos verificaram que as propriedades químicas do solo influenciaram a distribuição e riqueza florística (ALMEIDA et al., 2018), em nosso estudo o Fe e Mn foram importantes para explicar a distribuição das espécies; a distribuição apresentou melhor resposta à concentrações mais baixas de Mn, isso pode explicado pela maior disponibilidade de Mn, pois solos ácidos tendem a aumentar a disponibilidade deste elemento (LANA et al., 2014; RENGEL, 2015), além deste estar associado ao tipo de rocha de origem deste afloramento rochoso.

O Fe é um elemento abundante em solos tropicais, seja pela rocha de origem, alto nível de intemperismo, umidade, etc. (SCHWERTMANN, 1991); ele tem alta afinidade com oxigênio que o transforma em óxidos, não disponível para as plantas; em condições onde há falta do oxigênio no solo, como alagamento por exemplo, o  $Mn^{+4}$  e  $Fe^{+3}$  são reduzidos a  $Mn^{+2}$  e  $Fe^{+2}$ , forma absorvível pelas plantas (LIMA et al., 2004), com isso podemos sugerir a ocorrência dessa dinâmica na área de estudo em razão da irregularidade de cobertura rochosa e formações de bacias dentro do afloramento que estejam acumulando água em períodos de chuva (BENITES, et al., 2003).

Grande parte do particionamento da variação para a distribuição das espécies foram atribuídos ao componente espacial e ambiental juntos (45,9%), indicando que a matriz de espécies e a matriz ambiental compartilham semelhanças na estruturação espacial, podendo ser resultantes de fatores como profundidade de solo, umidade do solo, etc. (BORCARD, 1992; PERES – NETO, 2006). Após particionar a variação espacial o componente ambiental manteve considerável variação, explicando 35,5% da variação na distribuição de espécies (FIGURA 6).

O componente puramente espacial representou 4,6% da variação total da matriz de espécies, apesar de não ser significativo para explicar a distribuição o componente espacial pode ser atribuído a fatores como reprodução, dispersão, herbivoria, competição entre outros fatores que influenciam os padrões espaciais (BORCARD, 1992). A variação indeterminada (13,9%) está atribuída a flutuações não determinísticas ou variáveis não medidas (FIGURA 6) (BORCARD, 1992).

Realizamos curvas de respostas para compreender numa escala mais fina o comportamento das propriedades do solo. As respostas são variáveis, as 10 espécies mais abundantes apresentaram tolerância as diferentes concentrações de Fe, esse elemento parece não desencadear um intervalo de preferência; isso pode estar influenciado pelo dinamismo do solo e suas interações; por exemplo, a associação de plantas e fungos micorrízicos podem alterar a dinâmica de disponibilidade de metais como o Fe e Zn (GRAZZIOTTI et al., 2003; KABATA-PENDIAS, 2010), por exemplo, o fungo *Pisolithus microcarpus* podem diminuir a biodisponibilidade de metais, como Fe e Zn, para as plantas (MARX, 1991; SILVA et al. 2016). O pH também é um fator que pode influenciar: quando o pH está baixo, o  $Fe^{2+}$ , que é a forma absorvível para as plantas, aumenta (SANTOS et al. 2021).

O Mn parece atuar como um filtro para algumas espécies, que apresentaram melhor desempenho em intervalos de concentrações menores Mn, a espécie *Luehea candicans* Mart. que apresentou melhor desempenho em concentrações mais elevadas, isso pode explicado por esta espécie ser do tipo pioneira, o que a faz colonizar ambientes que são desfavoráveis para outras espécies. Não houve um padrão de resposta das espécies as diferentes concentrações de sódio. A espécies apresentaram melhor desempenho em concentrações mais baixas de Cu, assim como o Mn o Cu tem sua disponibilidade aumentada com a acidez do solo, e altas concentrações de Cu pode causar toxicidade as plantas (SODRÉ, et al. 2000), isso poderia estar selecionando o desenvolvimento de outras espécies.

### *Riqueza*

Os elementos que apresentaram correlação com riqueza (pH, Zn, Cu, P) apresentam interações entre si, por exemplo, a disponibilidade de Zn diminui com pH alto (CONSOLINI, 2004), o Fe e o Mn em excesso reduzem a disponibilidade do Cu, e o P é influenciado por diversos processos no solo, como o pH, elementos metálicos catiônicos como o Al, Fe, Ca, liberação de exsudatos pelas plantas ocasionando a mudança no equilíbrio químico do solo influenciando na mobilidade do P inorgânico (HINSINGER, 2001) (Tabela 1). Neri, et al. (2012) avaliando a vegetação do cerrado e o solo, obteve resultados semelhantes à deste estudo, com correlação positiva com pH e P, sendo P o que apresentou maior significância para explicar a riqueza de espécies.

O P foi significativo para explicar a variação na riqueza de espécies, que apresentaram maior distribuição onde a concentração de fósforo foi menor. Outros estudos avaliando o efeito do solo sobre a vegetação em ambientes rochosos e em cerrado, obtiveram semelhantes resultados ao deste estudo, onde o fósforo foi importante para explicar a riqueza de espécies (CONCEIÇÃO et al., 2007; ABREU et al., 2012; NERI et al., 2012) (tabela 3).

Para verificarmos a contribuição dos fatores avaliados realizamos o particionamento da variação, onde o fator ambiental foi o que mais influenciou a riqueza de espécies (figura 12), essa variação da riqueza explicada pelos dados ambientais é independente de qualquer padrão espacial; o espaço e ambiente juntos representam  $\frac{1}{5}$  da variação da riqueza, essa variação compartilhada é resultante da relação das espécies ao ambiente espacialmente estruturado (BOCARD, et al., 1992).

Em todo o modelo, o espaço foi o que teve menor influência, explicando aproximadamente  $\frac{1}{10}$  da variação dos dados, e pode estar relacionado a processos biológicos dos organismos e suas interações. O resíduo, aqui representando 27,8%, é parte da variação que não pode ser explicada nem pelos dados ambientais nem por dados espaciais, ou seja, são variações desconhecidas.

Através curva de resposta (Figura 13) observamos que concentrações mais altas de P parecem influenciar negativamente a ocorrência das espécies: das 10 espécies analisadas, 8 tiveram seu melhor desempenho em concentrações consideradas baixas. Concentrações entre 9 e 14 mg dm<sup>3</sup> são consideradas médias, segundo o manual de adubação e correção do solo para o Cerrado (SOUSA E LOBATO, 2004). No entanto, para a maioria dessas espécies esses teores limitam a sua ocorrência.

Ambientes rochosos possuem singularidades resultantes das diversas interações bióticas e abióticas, por exemplo, a composição da matéria orgânica depositada, a atividade de microrganismos, as propriedades edáficas, as vantagens adaptativas das espécies como produção de exsudatos na rizosfera, etc.; nossos resultados contribuem para confirmar que as propriedades químicas do solo influenciam a diversidade de espécies em afloramentos rochosos (ABREU et al., 2012; CARVALHO et al., 2013).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variação das propriedades químicas dos solos no afloramento indica que há heterogeneidade de habitats; outros fatores como a fonte dos nutrientes, suas dinâmicas através da interação com a umidade, temperatura, estresse hídrico, influência de organismos vivos, estrutura da rocha podem estar selecionando espécies, influenciando na sua abundância.

A distribuição e riqueza de espécie foram influenciadas pelas propriedades do solo, mesmo numa área pequena houve variação dos atributos do solo que podem ser determinantes para o estabelecimento e desenvolvimento das espécies, onde aquelas que apresentam maior faixa de tolerância podem estar sendo beneficiadas; outros fatores como elementos da rocha de origem como o Mn podem estar filtrando a ocorrência ou abundância de espécies conforme verificado.

O fósforo aparece em diversos estudos de afloramentos relacionados com a diversidade de espécies, são necessários mais estudos para verificar se há um padrão, e compartilhamento de espécies entre esses ambientes.

Os afloramentos são ambientes pouco cobiçados para atividades econômicas, como a agropecuária, o que torna estes ambientes um refúgio para as espécies circunvizinhas, e deve ser melhor compreendidos para desenvolver ações de conservação dos afloramentos rochosos.

Estudos como este contribuem para compreensão sobre a interação entre fatores edáficos e a vegetação em afloramentos rochosos e suas implicações à diversidade de espécies.

## 7. REFERÊNCIAS

ABREU, M. F., PINTO, J. R. R., MARACAHIPES, L., GOMES, L., OLIVEIRA, E. A. D., MARIMON, B. S.; LENZA, E. 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**, v. 35, n. 3, p. 259-272, 2012.

AB'SABER, A. N. Paleoclimate and paleoecology of Brazilian Amazonia. In: **Biological diversification in the tropics: proceedings, fifth international symposium of the Association for Tropical Biology, held at Macuto Beach, Caracas, Venezuela, February 8-13, 1979/edited by GT Prance**. New York: Columbia University Press, 1982., 1982.

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ateliê Editorial, 2003.

ALENCAR, A. A.; SOLÓRZANO, L. A.; NEPSTAD, D. C. Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. **Ecological Applications**, v. 14, n. sp4, p. 139-149, 2004.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, Piracicaba – SP. v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em: <http://Doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ANDERSON, J.M. INGRAM, J.S.I. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. **CAB International**, Wallingford, Oxford, UK. 1993.

ARRUDA, D. M.; FERREIRA-JÚNIOR, W.G; DUQUE-BRASIL, R; SCHAEFER, C.E.R. 2013. Phytogeographical patterns of dry Forest *sensu stricto* in northern Minas Gerais State, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 85: 285-294.

BALDECK, C. A.; HARMS, K. E.; YAVITT, J. B.; JOHN, R.; TURNER, B. L.; VALENCIA, R.; THOMAS, D. W. (2013) soil resources and topography shape local tree community structure in tropical forests. In: **Proc. R. Soc. B**. The Royal Society, 2013. p. 2012-2532.

BASTOS, T. X. Clima. **Embrapa Amazônia Oriental-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, 2004.

BENITES, V. D. M.; CAIAFA, A. N.; MENDONÇA, E. D. S.; SCHAEFER, C. E.; KER, J. C. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Floresta e ambiente**, v. 10, n. 1, p. 76-85, 2003.

BLANCHET, F. G.; LEGENDRE, P.; BORCARD, D. (2008). Forward selection of explanatory variables. **Ecology**, 89(9), 2623-2632.

BRAGA, P. I. S. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. **Acta amazonica**, v. 9, n. 4, p. 53-80, 1979.

BRASIL, A.E.; ALVARENGA, S.M. 1989. Relevo. In: Duarte, A.C. (Ed.). **Geografia do Brasil**. Vol. 1. Região Centro-Oeste. IBGE, Rio de Janeiro. Pp. 53-72.

BRAZIL, I. N. P. E. Amazônia: Desflorestamento 1995-1997. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, São José dos Campos, São Paulo. Document released via internet (<http://www.inpe.br>), 1998.

BURNHAM, R. J.; GRAHAM, A. 1999. The history of Neotropical vegetation: new developments and status. **Annals of the Missouri Botanical Garden** 86: 546–589.

CARNEIRO FILHO, A.; SOUZA, O.B.; **Atlas de pressões e ameaças às terras indígenas na Amazônia brasileira**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2009.

CASTRO, A. A. J. F.; MARTINS, F. R. 1999. **Cerrados do Brasil e do Nordeste: caracterização, área de ocupação e considerações sobre a sua fitodiversidade**. Pesquisa em Foco 7: 147-178.

CHAVENT, M.; KUENTZ-SIMONET, V.; LIQUET, B.; SARACO, J. 2012. ClustOfVar: an R package for the clustering of variables. *Journal of Statistical Software* 50: 1-16.

CLARK, D.B. Los factores edáficos y La distribución de las plantas. In: GUARIGUATA, M.R; KATTAN, G.H. (Eds.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. 1 ed. Cartago, Costa Rica: Editora Libro Universitario Regional, 2002. p. 192-221.

COUTINHO, L. M. 1978. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica** 1: 17-23.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta botânica brasílica**, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.

COUCEIRO, P. R. C.; SANTANA, G. P. Caulinita em solo da Amazônia: Caracterização e permutabilidade. **Acta amazonica**, v. 29, n. 2, p. 267-275, 1999.

DALE, M. R. T. (1999) **Spatial pattern analysis in plant ecology**. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

DALMAGRO, H. J.; DE ALMEIDA LOBO, F.; ORTÍZ, C. E. R.; BIUDES, M. S.; DE SOUSA NOGUEIRA, J.; VOURLITIS, G. L.; JUNIOR, O. B. P. Trocas gasosas de uma espécie Lenhosa na floresta de transição Amazônia - Cerrado. **Ciência & Natura**, v. 33, n. 2, p. 147-165, 2011.

EISENLOHR, P. V.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. (2015). Obtenção e estruturação de metadados para trabalhos fitogeográficos de síntese e o banco de dados NeoTropTree como estudo de caso. **Fitossociologia no Brasil: Métodos e estudos de casos**, v. 2, pp. 385-411.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 1997. **Manual de métodos de análises de solo**. 2a edição, Rio de Janeiro, p. 15–18.

FEARNSIDE, P.M.; FILHO N. L. 2001. Soil and development in Amazonia: Lessons from the Biological Dynamics of Forest Fragments Project. pp. 291-312 In: Bierregaard, R.O.; Gascon, C.; Lovejoy T.E.; Mesquita, R. (Eds.) **Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest**. Yale University Press, New Haven, Connecticut, U.S.A. p. 478. Disponível em: <<http://philip.inpa.gov.br>>.

FEARNSIDE; P.M. Serviços ambientais como estratégia para o desenvolvimento sustentável na Amazônia rural. In: C. Cavalcanti (ed.). **Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas**. São Paulo, SP: Editora Cortez, 1997. p.314 – 344.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2005.

FERNANDES, A. **Conexões florísticas do Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2003. 135p.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira**. Fortaleza: Multigraf, v. 340, 1998.

FERRAZ, J.B.S.; BASTOS, R.P.; GUIMARÃES, G.P.; REIS, T.S.; HIGUCHI, N. A floresta e o solo In HIGUCHI, M.I.G.; HIGUCHI, N. (Eds). **A Floresta Amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental**. 2 ed. Revisada e ampliada. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Manaus. P 101-121. 2012.

FERREIRA JÚNIOR, W. G.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, A. F. Uma Visão Pedogeomorfológica Sobre as Formações Florestais da Mata Atlântica. In: MARTINS, S. V. (Ed). **Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil**. Viçosa , MG: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 109 – 142.

FINE, P. V.; DALY, D. C.; MUÑOZ, G. V.; MESONES, I.; CAMERON, K. M. The contribution of edaphic heterogeneity to the evolution and diversity of Burseraceae trees in the western Amazon. **Evolution**, v. 59, n. 7, p. 1464-1478, 2005.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

GAUTHIER, P.; DEBUSSCHE, M.; THOMPSON, J.D. 2010. Regional priority setting for rare species based on a method combining three criteria. *Biological Conservation*, 143: 1501-1509. doi:10.1016/j.biocon.2010.03.032

GENTRY, A.H. Neotropical floristic diversity: phytogeographical connections between Central and South America, Pleistocene climatic fluctuations, or an accident of the Andean orogeny?. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 69, n. 3, p. 557-593, 1982.

GENTRY, A.H. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, p. 1-34, 1988.

GENTRY, A.H. 1989. Speciation in tropical forests. In: HOLM- NIELSEN, L.; NIELSEN, I.; BALSLEV, H. (eds). **Tropical forests**. London: Academic Press. 113–134.

GRAHAM A. Neotropical plant dynamics during the Cenozoic-diversification, and the ordering of evolutionary and speciation processes. **Systematic Botany**, p. 139-150, 1997.

GUERRA, T. N. F., RODAL, M. J. N., E SILVA, A. C. B. L., ALVES, M., SILVA, M. A. M., & DE ARAÚJO MENDES, P. G. Influence of edge and topography on the vegetation in an Atlantic Forest remnant in northeastern Brazil. **Journal of forest research**, v. 18, n. 2, p. 200-208, 2013.

HARIDASA, N. M. Aluminium accumulation by some Cerrado native species of central Brazil. **Plant and Soil**, v. 65, n. 2, p. 265-273, 1982.

HOFFMANN, W.A.; GEIGER, E.L.; GOTSCH, S.G.; et al. 2012. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters* 15:759-768.

HOORN, C. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 105, n. 3-4, p. 267-309, 1993.

IBGE (2004). Mapa de Vegetação do Brasil. Escala 1:5.000.000. IBGE, Rio de Janeiro.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS; INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE. Desflorestamento da Amazônia 1995-1997. São José dos Campos: INPE, 1997. 24 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3PQDGQB>. (INPE-6680-RPQ/680). Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PQDGQB>>.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace Elements in Soils and Plants**. Ed. 4. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010. 548 p.

KAY, K.M.; REEVES, P.; OLMSTEAD, R.; SCHEMSKE, D.W. Rapid speciation and the evolution of hummingbird pollination in neotropical *Costus* subgenus *Costus* (Costaceae): evidence from nrDNA ITS and ETS sequences. **American Journal of Botany**, v. 92, n. 11, p. 1899-1910, 2005.

KÖPPEN, W.P. 1948. **Climatologia**. Fondo de Cultura Economica, México. 478 p.

LATHAM, R.E.; RICKLEFS, R.E. Global patterns of tree species richness in moist Forest: energy-diversity theory does not account for variation in species richness. **Oikos**, v.67, p.325-333, 1993.

LEGENDTRE, P.; GALLAGHER, E.D. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129: 271-280.

LEITÃO-FILHO, H. F. Considerações Sobre a Florística de Florestas Tropicais e Sub-Tropicais do Brasil. **Instituto de Pesquisas e Estudo Florestais**. Campinas - SP: UNICAMP, n.35, p.41-46, 1987.

LONGMAN, K.A.; JENÍK, J. (1992) Forest-savanna boundaries: general considerations. In Furley PA, Proctor J, Ratter JA (eds) *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*. Chapman and Hall Publishing, London, pp 3-20.

LONGMAN, K. A.; JENIK, J. Forest-savanna boundaries: general considerations. **Nature and dynamics of forest-savanna boundaries**, p. 3-20, 1992.

MAÇANEIRO, J. P.; OLIVEIRA, L. Z.; SEUBERT, R. C.; EISENLOHR, P. V.; SCHORN, L. A.; More than environmental control at local scales: do spatial processes play an important role in floristic variation in subtropical forests?. **Acta Botanica Brasilica** - 30(2): 183-192. 2016.

MARACAHIPES, L.; LENZA, E.; MARIMON, B. S.; OLIVEIRA, E. A. D.; PINTO, J. R. R.; MARIMON JUNIOR, B. H. Estrutura e composição florística da vegetação lenhosa em cerrado rupestre na transição Cerrado-Floresta Amazônica, Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 133-141, 2011.

MARIMON B. S.; LIMA, E. S.; DUARTE, T. G.; CHIEREGATTO, L.C.; RATTER, J.A. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the Cerrado–Amazonian Forest ecotone. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 63, n. 2-3, p. 323-341, 2006.

MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; FELDPAUSCH, T. R.; OLIVEIRA-SANTOS, C.; MEWS, H. A.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MIGUEL, A. Disequilibrium and hyperdynamic tree turnover at the forest–cerrado transition zone in southern Amazonia. **Plant Ecology & Diversity**, v. 7, n. 1-2, p. 281-292, 2014.

MARTINS, F.R. **O método de quadrantes e a fitossociologia de uma floresta residual do interior do estado de São Paulo**. 239 f. (Tese) Doutorado/USP. São Paulo. 1979.

MAYLE, F.E.; BURBRIDGE, B.; KILLEEN, T.J. Millennial-scale dynamics of southern Amazonian rain forests. **Science**, v. 290, n. 5500, p. 2291-2294, 2000.

MÉIO, B.B.; FREITAS, C.V.; JATOBÁ, L.; SILVA, M.E.F.; RIBEIRO, J.F.; HENRIQUES, R.P.B. The influence of Amazonian and Atlantic flora in the vegetation of cerrado sensu stricto. **Brazilian Journal of Botany**, v. 26, n. 4, p. 437-444, 2003.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. atual. e ampl. – Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

ARRUDA, D.I. M.; SCHAEFER G. R.; MORAES, B. C. E.; L, M. Relações entre atributos do solo e vegetações da região ecotonal do médio rio São Francisco, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, 2015.

FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; SANTOS, F.S. **Métodos de Preparo de Amostras e de Determinação de Carbono em Solos Tropicais**. Circular Técnica 19, Ministério da Agricultura Pecuária e Agradecimento. EMBRAPA, 2003. p.9.

MEIRELLES FILHO, J. C. **O livro de ouro da Amazônia: mitos e verdades sobre a região mais cobiçada do planeta**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2004.

MOURA I. O.; GOMES-KLEIN V. L.; FELFELLI J. M.; FERREIRA H.D. Diversidade e estrutura comunitária de cerrado sensu stricto em afloramentos rochosos no Parque Estadual dos Pirineus, Goiás. **Brazilian Journal of Botany**, v. 33, n. 3, p. 455-467, 2010.

MYERS, N. MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NIMER, E. Clima. In: Duarte, A.C. (Ed.) **Geografia do Brasil**, Vol. 1. Região Centro-Oeste. IBGE, Rio de Janeiro. p. 23-34. 1989.

NUERNBERG, N. J.; LEAL, J. E.; SUMNER, M. E. Evaluation of an anion-exchange membrane for extracting plant available phosphorus in soils. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 29, n. 3-4, p. 467-479, 1998.

OLIVEIRA – FILHO, A. T. 2014. **NeotropTree, flora arbórea da região neotropical: um banco de dados envolvendo biogeografia, diversidade e conservação**. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://prof.icb.ufmg.br/treetatlan/>>. Acesso em: nov. 2017.

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**, p. 91-120, 2002.

OLSEN, S.; SOMMERS, L. Phosphorus. In: Methods of Soil Analysis 2nd Edition (ed. A Page),. **American Society of Agronomy/Soil Science Society of America**, Madison. 1982. p. 403-427.

PEÑA-CLAROS, M.; POORTER, L.; ALARCÓN, A.; BLATE, G.; CHOQUE, U.; FREDERICKSEN, T. S.; PUTZ, F. E. Soil effects on forest structure and diversity in a moist and a dry tropical forest. **Biotropica**, v. 44, n. 3, p. 276-283, 2012.

PERES-NETO, P. R.; LEGENDRE, P. (2010). Estimating and controlling for spatial structure in the study of ecological communities. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 2, p. 174-184, 2010.

PLEYSIER, J.L.; JUO, A.S.R. A single-extraction method using silver-thiourea for measuring exchangeable cations and effective CEC in soils with variable charges. **Soil Science**, v. 129, n. 4, p. 205-211, 1980.

PRANCE GT. 1982. A review of the phytogeographic evidences for Pleistocene climate changes in the Neotropics. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, p. 594-624, 1982.

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of botany**, v. 80, n. 3, p. 223-230, 1997.

RATTER, J. A. Transitions between Cerrado and forest vegetation in Brazil. In: FURLEY, P.A.; PROCTOR, J.; RATTER, J.A. (Eds). **Nature and dynamics of forest-savanna boundaries**. London (UK): Chapman & Hall. 1992. p. 417–429.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: bases para distinção de ambientes**. 4 ed. Viçosa, MG: NEPUT, UFV, 2002.

RICHARDS, P.W. **The tropical rain forest**. Cambridge: Cambridge University Press, 1952.

RODRIGUES, P. M. S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, J.O.; FERREIRA JÚNIOR, W. G.; SANTOS, R. M.; NERI, A. V. The influence of soil on vegetation structure and plant diversity in different tropical savannic and forest habitats. **Journal of Plant Ecology**, p. rtw135, 2016.

ROSS J.L.S. 2003. Os fundamentos da geografia da natureza. In: Ross, J.L.S. (Ed.). **Geografia do Brasil**. Edusp, São Paulo. Pp. 13-65.

SALVADOR, J.T.; CARVALHO, T.C.; LUCCHESI, L.A.C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SCHAEFER, C. R. G.R., NUNES, J. A.; NERI, A. V.; MENDONÇA, B. A. F.; FERREIRA JÚNIOR, W. G.; ARRUDA, D. M.; TEIXEIRA, R. D. B. L. Relação Solo-Vegetação em Formações Vegetacionais Brasileiras: metodologia e estudos de caso. In: EISENLOHR, P.V.; FELFILI, J. M.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; NETO, J. A. A. M (Eds). **Fitossociologia no Brasil: Métodos e estudos de casos – vol 2**. Viçosa, MG: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2015. p. 322 – 343.

SEPLAN/MT 1997. Geomorfologia (texto). **Zoneamento Sócio-econômico Ecológico**. PRODEAGRO. Ministério de Integração Nacional.

SEPLAN/MT 2001a. Mapa geológico do Estado de Mato Grosso. **Zoneamento Sócio - econômico Ecológico**. PRODEAGRO. Ministério de Integração Nacional. Disponível em: < <http://www.seplan.mt.gov.br/>> Acesso em: out. 2017.

SEPLAN/MT 2001b. Distribuição da Pluviosidade Média Anual (1983-1994). **Zoneamento Sócio - econômico Ecológico**. PRODEAGRO. Ministério de Integração Nacional. Disponível em: <<http://www.seplan.mt.gov.br/>> Acesso em: out. 2017.

SEPLAN/MT 2001c. Mapa de solos. **Zoneamento Sócio - econômico Ecológico**. PRODEAGRO. Ministério de Integração Nacional. Disponível em: <<http://www.seplan.mt.gov.br/>> Acesso em: out. 2017.

SILVA, F.C. 1999. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. **Manual de análises químicas de solo, planta e fertilizantes**. Brasília, DF. 370 p.

SILVA, L.J. **Áreas com Alto Valor para Conservação Coincidem com Intensa Atividade Agropecuária na Transição Amazônia/Cerrado**. Dissertação. (Programa Pós – Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos). Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. Alta Floresta, 2019.

SOUSA, DMG de; LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação.[Cerrado: Soil Correction and Fertilization.]. **Brasília (DF): Embrapa Informação tecnológica. Portuguese**, 2004.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. Ed., Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2004, 416p.

SOUZA, C.A.S.; SILVA, R.P.; BARRO, P.C.; DURGANTE, M.; AMARAL, M.R.M.; SILVA, C.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Floresta amazônica: conceitos fundamentais In In Higuchi MIG, Higuchi N (Eds). In: **A Floresta Amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental**. 2 ed. Revisada e ampliada. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Manaus. P 41-69. 2012.

TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; KALLIOLA, R.; LINNA, A.; DANJOY, W.; RODRIGUEZ, Z. Dissecting amazonian biodiversity. **Science**, p. 63-66, 1995.

ZAPPI, D. C. et al. Plantas vasculares da região do Parque Estadual Cristalino, norte de Mato Grosso, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 29-38, 2011.

## ANEXOS

**Quadro 1.** Scores da PCA para as variáveis de solos.

Variável	PC1	PC2
pH (H <sub>2</sub> O)	0.8155	-1.26506
pH (KCl <sub>2</sub> )	-0.2960	-1.41404
Mg	<b>1.4512</b>	0.04918
Ca	<b>1.5506</b>	-0.02757
Al	-0.2120	0.73755
K	0.6067	0.82109
P.resina	0.5989	<b>1.71390</b>
Na	0.1637	<b>1.51975</b>
K <sub>2</sub> O	0.7194	-0.79532
CaO	-0.3839	-0.07997
MgO	0.4452	-1.04716
Ct	<b>1.6682</b>	0.42196
C.ORG	<b>1.5396</b>	0.44722
M.O.	<b>1.5396</b>	0.44712
N	<b>1.7176</b>	0.37347
Zn	0.4043	<b>1.87272</b>
Fe	-0.3061	0.38347
Cu	-0.2091	<b>1.76695</b>
Mn	<b>1.5721</b>	-0.23730
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5709	0.89490
Areia	-0.9793	1.06565

Argila	0.8294	-0.96479
Silte	<b>1.1621</b>	-1.12853

**Quadro 2.** Lista de espécies com ocorrência em um afloramento rochoso da RPPN Mirante da Serra - MT

sp1	<i>Cochlospermum orinocense</i>	sp27	<i>Cedrela odorata</i>
sp2	<i>Tibouchina barbiger</i>	sp28	<i>Casearia pitumba</i>
sp3	<i>Norantea guianensis</i>	sp29	<i>Machaerium acutifolium</i>
sp4	<i>Anadenanthera peregrina</i>	sp30	<i>Physocalymma scaberrimum</i>
sp5	<i>Pachira paraensis</i>	sp31	<i>Cordia sessilis</i>
sp6	<i>Erythrina ulei</i>	sp32	<i>Aspidosperma multiflorum</i>
sp7	<i>Syagrus cocoides</i>	sp33	<i>Randia armata</i>
sp8	<i>Ficus amazonica</i>	sp34	<i>Eriotheca globosa</i>
sp9	<i>Erythroxylum anguifugum</i>	sp35	<i>Myrcia rufipes</i>
sp10	<i>Pseudobombax longiflorum</i>	sp36	<i>Bauhinia cf. brevipes</i>
sp11	<i>Coutarea hexandra</i>	sp37	<i>Eugenia stictopetala</i>
sp12	<i>Ficus cf. schumacheri</i>	sp38	<i>Eugenia flavescens</i>
sp13	<i>Chloroleucon acacioides</i>	sp39	<i>Astronium lecointei</i>
sp14	<i>Aspidosperma subincanum</i>	sp40	<i>Platymiscium trinitatis</i>
sp15	<i>Eugenia dysenterica</i>	sp41	<i>Buchenavia tomentosa</i>
sp16	<i>Callisthene fasciculata</i>	sp42	<i>Cecropia sciadophylla</i>
sp17	<i>Dialypetalanthus fuscescens</i>	sp43	<i>Simira rubescens</i>
sp18	<i>Handroanthus serratifolius</i>	sp44	<i>Hymenaea courbaril</i>
sp19	<i>Luehea candicans</i>	sp45	<i>Ficus obtusifolia</i>
sp20	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	sp46	<i>Amburana cf. acreana</i>
sp21	<i>Machaerium amplum</i>	sp47	<i>Campomanesia speciosa</i>
sp22	<i>Agonandra brasiliensis</i>	sp48	<i>Senegalia polyphylla</i>
sp23	<i>Ceiba samauma</i>	sp49	<i>Ceiba speciosa</i>
sp24	<i>Rudgea crassiloba</i>	sp50	<i>Guettarda spruceana</i>
sp25	<i>Vitex polygama</i>	sp51	<i>Maprounea guianensis</i>
sp26	<i>Handroanthus capitatus</i>	sp52	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>

**Figura 1.** Curva Bootstrap para dendrograma de solos

