

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO
SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO – SEPLAN
INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC
ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO MARANHÃO (ZEE-MA) –
ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO



BIODIVERSIDADE DOS SOLOS DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO (ZEE-MA) - ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO (RELATÓRIO TÉCNICO)

INSTITUIÇÕES:

IMESC SEPLAN



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



FUNDAÇÃO DE APOIO
AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



CPRM
Serviço Geológico do Brasil



SÃO LUÍS – MA
2022

Essa publicação conta com a parceria entre o IMESC, a UEMA, a SEPLAN, a FAPEAD, a CPRM, a EMBRAPA e a UFMA. As informações emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos e outras instituições vinculadas. Essa publicação está disponível para download gratuito (<http://zee.ma.gov.br/>). É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte.

GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO

Carlos Orleans Brandão da Silva

VICE-GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO

Felipe Costa Camarão

SECRETÁRIO DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO

Luís Fernando Silva

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS

Presidenta

Talita de Sousa Nascimento Carvalho

Diretor de Estudos e Pesquisas

Rafael Thalysson Costa Silva

Diretor de Estudos Ambientais e Cartográficos

José de Ribamar Carvalho dos Santos

UNIVERSIDADES ESTADUAL DO MARANHÃO

Reitor

Gustavo Pereira da Costa

Vice-Reitor

Walter Canales Sant'naa

Pró-Reitora de Graduação

Fabíola de Jesus Soares Santana

Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação

Rita de Maria Seabra Nogueira

Pró-Reitor de Extensão e Assuntos Estudantis

Paulo Henrique Aragão Catunda

Pró-Reitor de Gestão de Pessoas

José Rômulo Travassos da Silva

Pró-Reitor de Planejamento e Administração

Antônio Roberto Coelho Serra

COORDENADORA DO ZEE-MA

Talita de Sousa Nascimento Carvalho

COORDENADOR EXECUTIVO DO ZEE-MA (UEMA)

Paulo Henrique de Aragão Catunda

COORDENADOR TÉCNICO DO ZEE-MA (IMESC)

Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

COORDENADOR DO EIXO DE BIODIVERSIDADE DOS SOLOS

Glécio Machado Siqueira

EQUIPE TÉCNICA DO BIODIVERSIDADE DOS SOLOS

Glécio Machado Siqueira

Oswaldo Guedes Filho

Khalil de Menezes Rodrigues

Ricardo Niehues Buss

Jean Michel Moura Bueno

Suena dos Santos Silva

Raimunda Alves Silva

Jairo Oswaldo Rodriguez Leiva

Suellen dos Santos da Silva

Célio Victor Dias Pinto

Luisa Carolina Ramalho Martins

Guilherme Domingues Ferreira

Stephane Pereira Da Silva

Rubens Adriel Candido da Silva

Rodrigo Fonseca Campos

Daniela Cristina Pires Viana

Daniel Martins da Silva

Daniel Rocha Pereira

Leonardo Henrique de Sá Rodrigues

José Francisco Mendanha

APOIO TÉCNICO – ZEE-MA

Anny Karolynny Oliveira Portela

Janderson Rocha Silva

Vitor Raffael Oliveira de carvalho

NORMALIZAÇÃO

Dyana Pereira

REVISÃO

Marília de Carvalho da Costa

Nayara da Silva Queiroz

Ilza do Socorro Galvão Cutrim

DIAGRAMAÇÃO

Carliane de Oliveira Sousa

Biodiversidade dos Solos do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE-MA) – Etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro (Relatório Técnico) / Glécio Machado Siqueira (Coord.). – São Luís: IMESC, 2022.

125 p: il. color.
ISBN 978-65-87226-46-0

1. Biodiversidade 2. Solos 3. Maranhão I. Siqueira, Glécio Machado.

CDU: 631.4 (812.1)



Glécio Machado Siqueira
(Coordenador)

BIODIVERSIDADE DOS SOLOS DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO (ZEE-MA) – ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO (RELATÓRIO TÉCNICO)

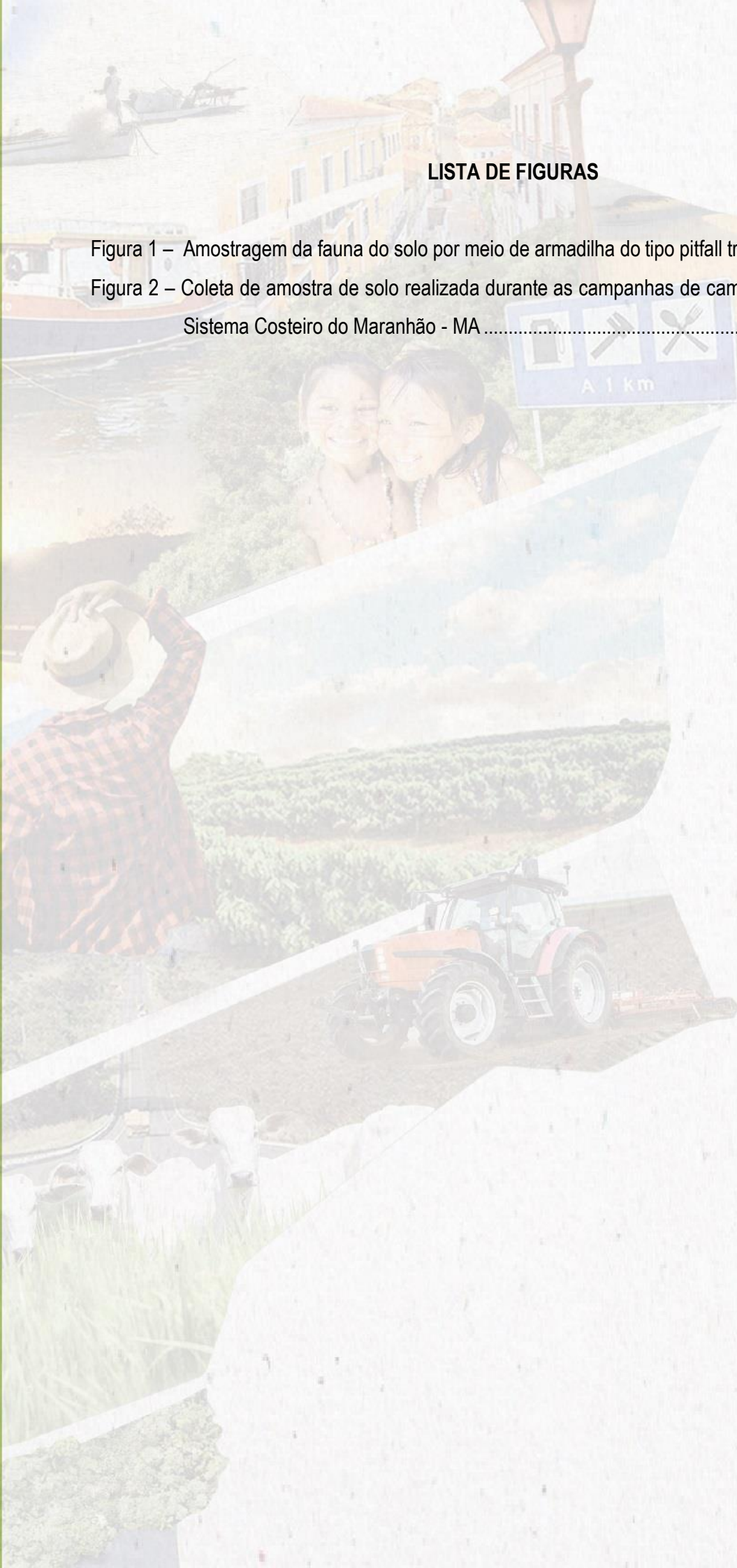
Autores

Glécio Machado Siqueira
Oswaldo Guedes Filho
Khalil de Menezes Rodrigues
Ricardo Niehues Buss
Jean Michel Moura Bueno
Suená dos Santos Silva
Raimunda Alves Silva
Jairo Osvaldo Rodriguez Leiva
Suellen dos Santos da Silva
Célio Victor Dias Pinto
Luisa Carolina Ramalho Martins
Guilherme Domingues Ferreira
Stephane Pereira Da Silva
Rubens Adriel Candido da Silva
Rodrigo Fonseca Campos
Daniela Cristina Pires Viana
Daniel Martins da Silva
Daniel Rocha Pereira
Leonardo Henrique de Sá Rodrigues
José Francisco Mendanha

São Luís
2022

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Amostragem da fauna do solo por meio de armadilha do tipo pitfall traps 19
- Figura 2 – Coleta de amostra de solo realizada durante as campanhas de campo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - MA 20




LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Grupos taxonômicos identificados nas 164 amostras de fauna invertebrada no Bioma Cerrado e Costeiro do Maranhão – Brasil.....	29
Gráfico 2 – Abundância de organismos para as 164 amostras de fauna invertebrada do solo coletadas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	30
Gráfico 3 – Riqueza de grupos taxonômicos para as 164 amostras de fauna invertebrada do solo coletadas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	31
Gráfico 4 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 1, 2, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 29, 30 e 32 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil..	41
Gráfico 5 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 33, 34, 36, 38, 39, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 54, 56, 57, 58, 60, 64, 65, 66 e 78 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	42
Gráfico 6 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 80, 81, 83, 84, 98, 99, 106, 110, 112, 117, 119, 123, 131, 132, 136, 139, 141, 148, 149 e 158 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	43
Gráfico 7 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 160, 164, 166, 167, 181, 185, 197, 203, 221, 222, 236, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246 e 247 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	44
Gráfico 8 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266 e 267 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	45
Gráfico 9 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286 e 287 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	46
Gráfico 10 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306 307 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	47
Gráfico 11 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330 e 331 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	48
Gráfico 12 – Histograma de distribuição de frequência para o conteúdo de carbono orgânico do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	50

Gráfico 13 – Histograma de distribuição de frequência do pH (CaCl ₂) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	55
Gráfico 14 – Histograma de distribuição de frequência do fósforo (P) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	58
Gráfico 15 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de cálcio (Ca ²⁺) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	64
Gráfico 16 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de magnésio (Mg ²⁺) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	64
Gráfico 17 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de potássio (K ⁺) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	65
Gráfico 18 – Histograma de distribuição de frequência da capacidade de trocas catiônicas (CTC) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	72
Gráfico 19 – Histograma de distribuição de frequência da soma das bases SB) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	76
Gráfico 20 – Histograma de distribuição de frequência da soma das bases SB) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	79
Gráfico 21 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de cádmio (Cd) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	89
Gráfico 22 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de crômio (Cr) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	89
Gráfico 23 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de cobre (Cu) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	90
Gráfico 24 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de ferro (Fe) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	90
Gráfico 25 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de níquel (Ni) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	91
Gráfico 26 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de chumbo (Pb) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	91
Gráfico 27 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de zinco (Zn) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	92
Gráfico 28 – Histograma de distribuição de frequência do manganês (Mn) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	92

LISTA DE MAPAS

Mapa 1	– Mapa de localização dos 294 pontos de amostragem localizados em áreas com vegetação natural no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão – Brasil	17
Mapa 2	– Mapa de variabilidade espacial da altimetria no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão – Brasil.....	22
Mapa 3	– Mapa de variabilidade espacial da abundância de organismos da fauna invertebrada do solo amostrada no período seco no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	26
Mapa 4	– Mapa de variabilidade espacial da riqueza de grupos taxonômicos da fauna invertebrada do solo amostrada no período seco no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	27
Mapa 5	– Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de carbono orgânico no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	51
Mapa 6	– Mapa de variabilidade espacial do pH (CaCl ₂) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	54
Mapa 7	– Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de fósforo (P) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	57
Mapa 8	– Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cálcio (Ca ²⁺) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	61
Mapa 9	– Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de magnésio (Mg ²⁺) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	62
Mapa 10	– Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de potássio (K ⁺) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	63
Mapa 11	– Mapa de variabilidade espacial da capacidade de trocas de cátions (CTC) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão – Brasil	71
Mapa 12	– Mapa de variabilidade espacial da soma das bases (SB) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	75
Mapa 13	– Mapa de variabilidade espacial da saturação por bases (V%) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	78
Mapa 14	– Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cádmio (Cd) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	81



Mapa 15 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cromo (Cr) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão – Brasil.....	82
Mapa 16 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cobre (Cu) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	83
Mapa 17 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de ferro (Fe) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	84
Mapa 18 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de níquel (Ni) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	85
Mapa 19 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de chumbo (Pb) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	86
Mapa 20 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de zinco (Zn) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil	87
Mapa 21 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de manganês (Mn) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos para a abundância de organismos da fauna invertebrada e riqueza de grupos taxonômicos no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão – Brasil	25
Tabela 2 – Valores de referência de CTC efetiva e CTC total adaptado de Sobral (2015)	73
Tabela 3 – Classes de interpretação para a soma de bases (SB)	76
Tabela 4 – Classes de interpretação para a saturação por bases (V)	77
Tabela 5 – Concentrações consideradas adequadas de elementos na matéria seca das plantas em geral	96
Tabela 6 – Limites de interpretações dos teores de micronutrientes nos solos ($\mu\text{g dm}^{-3}$).....	96

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral	11
2.2	Objetivos específicos	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	Fauna invertebrada do solo	12
3.2	Atributos químicos do solo	13
3.3	Variabilidade espacial	14
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
4.1	Caracterização da área experimental	16
4.2	Amostragem da fauna invertebrada do solo	18
4.3	Amostragem dos atributos químicos do solo	20
4.4	Modelagem do relevo	21
4.5	Análise Estatística	23
4.6	Análise geoestatística	23
5	FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO NO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO MARANHÃO	25
6	CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	49
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
	REFERÊNCIAS	107
	ANEXO A - RELAÇÃO DE MUNICÍPIOS PRESENTES NO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO ESTADO DO MARANHÃO - BRASIL	123

1 INTRODUÇÃO

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é uma proposta de governo para apoiar as decisões de planejamento do desenvolvimento e do uso do território nacional em bases sustentáveis, e tornou-se um programa do Plano Plurianual (PPA) do Governo Federal gerenciado pelo Ministério do Meio Ambiente e com execução descentralizada por diversos órgãos federais e estaduais (BRASIL, 2013).

No Estado do Maranhão em 2014, uma aproximação deste instrumento foi concluída pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Secretaria de Estado do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) na escala 1:1.000.000 (MacroZEE). Posteriormente, a Lei n.º 11.269 de 28 maio de 2020 instituiu o Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Amazônico do Estado do Maranhão (MARANHÃO, 2020), realizado na escala de 1:250.000, resultado de um esforço de colaboração entre instituições públicas de ensino, pesquisa e de gestão, compila informações do meio físico, social, econômico e ambiental do Estado do Maranhão, geradas por meio de diretrizes metodológicas que permitem a definição de cenários de desenvolvimento e planejamento, buscando sobretudo a conservação dos ambientes naturais com vista as gerações futuras.

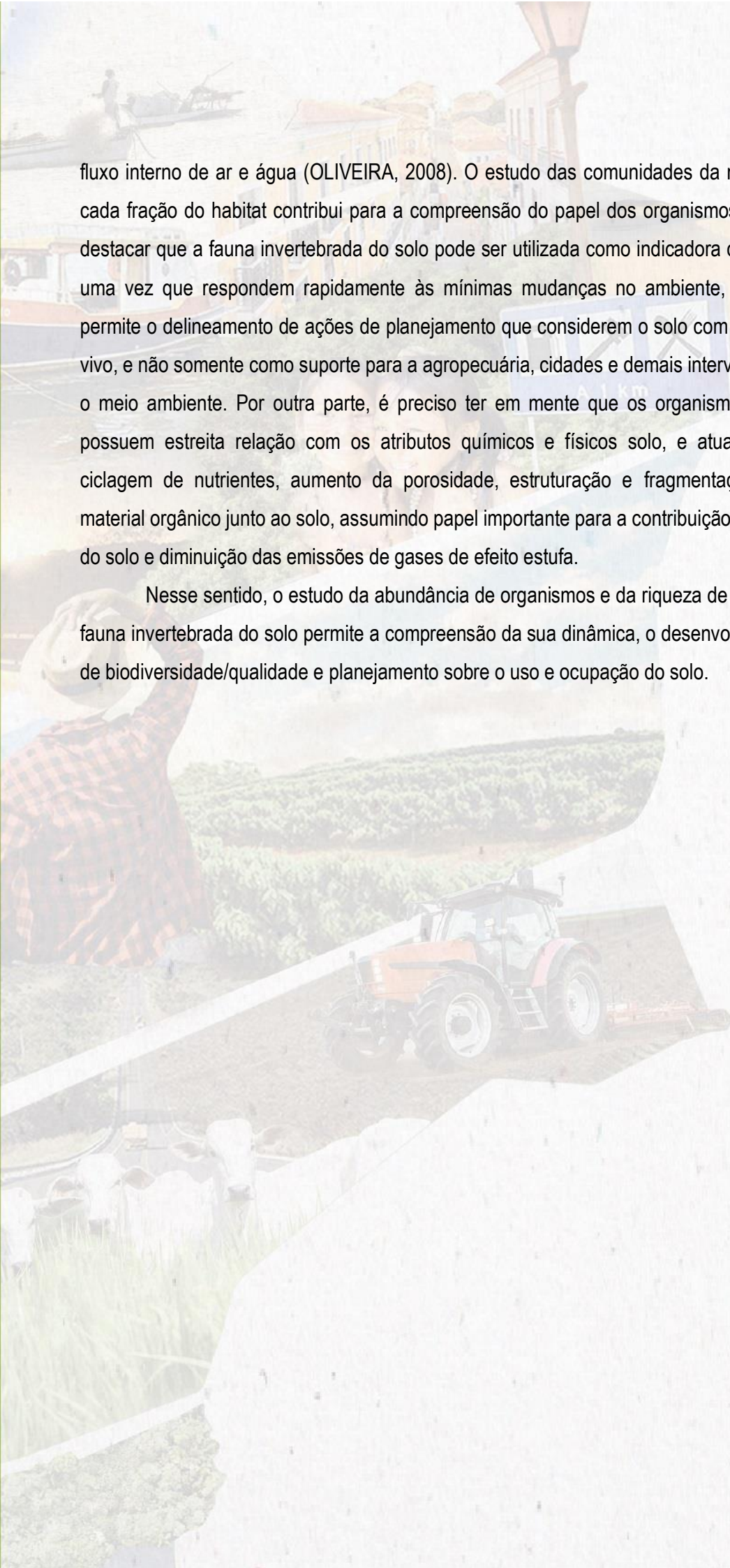
Diante desse contexto, o Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão na escala de 1:250.000 demonstra ser um instrumento que dará suporte para a formulação e espacialização das políticas de desenvolvimento socioproductivo e ambiental. A elaboração do ZEE-Biomas Cerrado e Costeiro está sendo realizada por meio de diversas instituições parceiras como: IMESC, FAPEAD, UEMA, UFMA, CPRM e EMBRAPA. Este importante instrumento, além de possibilitar o planejamento e ordenamento do território maranhense, por meio da harmonização de informações econômicas, sociais e ambientais, possibilitará a realização e aplicação de métodos científicos em diversos níveis.

O Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão ocupa uma área de 189.950,883 km², o que corresponde a cerca de 60% do território maranhense, em que estão alocados 109 municípios. É pouco conhecido o contexto da biodiversidade dos solos dos Biomas Cerrado e Costeiro do Maranhão, havendo estudos pontuais em áreas de cultivo e em área com vegetação natural a respeito da biodiversidade dos solos do Maranhão, portanto, o entendimento da fauna invertebrada do solo permite o planejamento regional considerando escalas de biodiversidade até então ignoradas.

A fauna invertebrada do solo engloba uma grande variedade de organismos edáficos (BARETTA, 2007), responsáveis por homogeneizar os solos, realizar abertura de galerias e suas excretas modificam os espaços porosos (PRIMAVESI, 1999), aumentando a penetração de raízes,

fluxo interno de ar e água (OLIVEIRA, 2008). O estudo das comunidades da macrofauna do solo em cada fração do habitat contribui para a compreensão do papel dos organismos no solo. É importante destacar que a fauna invertebrada do solo pode ser utilizada como indicadora de qualidade ambiental, uma vez que respondem rapidamente às mínimas mudanças no ambiente, e a sua compreensão permite o delineamento de ações de planejamento que considerem o solo com um sistema dinâmico e vivo, e não somente como suporte para a agropecuária, cidades e demais intervenções humanas sobre o meio ambiente. Por outra parte, é preciso ter em mente que os organismos que habitam o solo possuem estreita relação com os atributos químicos e físicos solo, e atuam diretamente para a ciclagem de nutrientes, aumento da porosidade, estruturação e fragmentação e incorporação de material orgânico junto ao solo, assumindo papel importante para a contribuição do estoque de carbono do solo e diminuição das emissões de gases de efeito estufa.

Nesse sentido, o estudo da abundância de organismos e da riqueza de grupos taxonômicos da fauna invertebrada do solo permite a compreensão da sua dinâmica, o desenvolvimento de indicadores de biodiversidade/qualidade e planejamento sobre o uso e ocupação do solo.



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a variabilidade espacial da fauna invertebrada do solo e do conteúdo de carbono orgânico de atributos químicos do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão - Brasil.

2.2 Objetivos específicos

- a) Mapear a diversidade da fauna invertebrada do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão - Brasil;
- b) Mapear o conteúdo de carbono orgânico do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão - Brasil;
- c) Mapear os atributos químicos do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão - Brasil.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Fauna invertebrada do solo

A fauna invertebrada do solo compreende organismos que desempenham e influenciam os processos biológicos que contribuem para a oferta de uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, como ciclagem de nutrientes (SILVA *et al.*, 2012, VRIES *et al.*, 2013; BLOUIM *et al.*, 2013; WAGG *et al.*, 2016, OLIVEIRA *et al.*, 2014), fragmentação de serapilheira (ROUSSEAU *et al.*, 2013; SIQUEIRA *et al.*, 2016), formação de agregados no solo (BOTTINELLI *et al.*, 2015; BERNARD *et al.*, 2012), porosidade total do solo (CARRILLO *et al.*, 2011; CABRERA, 2012), mineralização e humificação do material orgânico fundamental para a produtividade (BATISTA *et al.*, 2011; BERNARD *et al.*, 2012), reguladores de cadeia trófica (BACCARO *et al.*, 2012) e bioindicadores de qualidade do solo (AZUL *et al.*, 2011; BARDGETT; PUTTEN, 2015). Em termos de diversidade e abundância, os artrópodes do solo são os mais representativos, com organismos habitando quase todos os ambientes, com uma fase de vida desenvolvida no solo.

O manejo agrícola pode afetar diretamente a fauna do solo, em relação à abundância, diversidade, riqueza e equitabilidade dos grupos (AYUKE *et al.*, 2011; DOMINGUEZ *et al.*, 2014; BEDANO *et al.*, 2016), uma vez que pode provocar a redução de recursos alimentares, perda de habitats, resistência de insetos e pragas e aumentar a competição intraespecífica e interespecífica.

Em sistemas agrícolas a diversidade da fauna invertebrada do solo é um importante bioindicador, por ser sensível a mudanças no ambiente e refletir de forma eficiente o estado da biodiversidade do solo (ROUSSEAU *et al.*, 2013; SIQUEIRA *et al.*, 2016).

A diversidade da fauna pode variar de acordo com fatores abióticos, como o clima, propriedades físicas e químicas do solo ou disponibilidade de recursos e por fatores bióticos como habilidades de competição ou dispersão inter-específicas e intra-específicas (AUBERT *et al.*, 2003; SEREDA *et al.*, 2012). Além disso, em escala de campo a fauna do solo também pode apresentar variabilidade espacial, da qual existe pouca informação e estudos em áreas agrícolas.

No que se refere aos estudos de variabilidade espacial de atributos biológicos poucos são os trabalhos que relatam a variabilidade usando geoestatística. Neves e outros (2010) utilizaram geoestatística para avaliar a biodiversidade de reservas naturais; Pauli e outros (2010) avaliaram a variabilidade temporal e espacial de minhocas em agrossistemas no oeste de Honduras; Rosa-Filho e outros (2011) em análise da variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto em Latossolo Vermelho; Siqueira *et al.* (2016) desenvolveram estudos de variabilidade de plantas daninhas

em Latossolo em sistema de semeadura direta. Já a fauna do solo o uso da geoestatística ainda é restrito e incipiente. Gholami *et al.* (2016) avaliaram a fauna do solo por meio de análise geoestatística ajustando os parâmetros de riqueza, abundância, equitabilidade e diversidade aos modelos esférico e exponencial em floresta ripária. Gholami *et al.* (2017) correlacionaram a abundância da macrofauna a espécies arbóreas em plantação de cacau no Irã, ajustando a diversidade e abundância da macrofauna ao modelo exponencial e abundância de minhocas a modelo esférico.

3.2 Atributos químicos do solo

Diversos trabalhos relatam a importância do manejo adequado da fertilidade do solo sobre os rendimentos dos cultivos, e seus efeitos positivos na produtividade têm sido observados em estudos com nitrogênio (N) (RHEIN *et al.*, 2016; SCHULTZ *et al.*, 2017), Potássio (K) (MEDINA *et al.*, 2013; ZENG *et al.*, 2015), Fósforo (P) (MARDAMOTOO 2009; MONTANARI *et al.*, 2014), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) (HERMAN *et al.* 2004; CRUSCIOL *et al.*, 2014), assim como para os micronutrientes (BENNET *et al.*, 2012; MELLIS *et al.*, 2015, ISMAIL *et al.*, 2016). Estes nutrientes, normalmente, são aplicados no solo em taxas uniformes, sem considerar a variabilidade espacial natural do solo, acarretando a falta ou excesso de fertilizantes aplicados e consequente insustentabilidade do sistema (MALLARINO; WITTRY, 2004).

A variabilidade do solo ocorre devido a vários fatores que atuam em diferentes escalas espaciais e pode ser afetada pelo material de origem (LIN *et al.*, 2009; MULDER *et al.*, 2016), topografia (REZAEI; GILKES, 2009; UMALI *et al.*, 2012) e clima (PATIL *et al.*, 2010). Importa ressaltar que os solos possuem variabilidade natural e que a paisagem é condicionada pelas formas do relevo, e os atributos biológicos, físicos e químicos do solo possuem diferentes escalas de variabilidade. Por essa razão, este trabalho se mostra ser de suma importância para o conhecimento da variabilidade e escalas destes atributos, favorecendo o desenvolvimento sustentável.

A partir dessa importância mencionada, o estudo da dependência espacial de variáveis relacionadas com a agricultura facilita a compreensão do comportamento e ocorrência dessas variáveis nas áreas agrícolas e, conseqüentemente, sua interferência na produtividade (DURIGON, 2007). O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo torna-se fundamental para além de otimizar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, como também para reduzir a degradação ambiental, melhorar o controle do sistema de produção das culturas como a cana-de-açúcar, uma vez que pequenas alterações podem levar a grandes diferenças de produtividade (MONTANARI *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010; CERRI e MAGALHÃES, 2012; CARVALHO *et al.*,

2014). Contudo, a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo corresponde à estrutura espacial da fertilidade do solo, necessitando o estudo e avaliação de diversos nutrientes (macronutrientes e micronutrientes). Vieira e outros (2010) descrevem que o manejo convencional da fertilidade do solo baseia-se na utilização de teores médios de referência de nutrientes para o cálculo da dose de fertilizante a ser aplicada em glebas selecionadas e separadas por serem as mais homogêneas entre si. Apesar dessa preocupação, é comum a ocorrência de valores extremos de alguns elementos químicos localizados espacialmente, sobretudo daqueles de menor mobilidade no solo (p.e., P), de modo que a utilização de valores médios pode resultar na aplicação de doses superestimadas em determinadas áreas e insuficientes em outras.

Assim, para analisar a estrutura da fertilidade dos solos, é necessária a avaliação dos diversos nutrientes que respondem por ela, o que, muitas vezes, ao ser realizado por meio de análises estatísticas tradicionais, baseadas na independência das observações, não são adequadas para estudos de variabilidade espacial de atributos do solo e devem ser complementadas por análises espaciais que consideram as correlações entre observações vizinhas e maior amostragem da população (HAMLETT *et al.*, 1986).

Os solos tropicais, de maneira geral, apresentam propriedades químicas que limitam o desenvolvimento das culturas agrícolas, como baixa capacidade de troca de cátions (CTC), acidez elevada e baixos teores de nutrientes, especialmente o fósforo (SOUSA; LOBATO, 2004). Na agricultura tradicional, as recomendações de adubação e correção do solo são realizadas com base na média total do elemento que deseja aplicar no solo, não levando em conta a distribuição espacial dos atributos químicos encontrados no solo (TRANGMAR *et al.*, 1985). Assim, grandes áreas heterogêneas são consideradas iguais. Segundo Silva e Chaves (2001), os atributos químicos apresentam grande variação na área cultivada por diversos fatores como o clima, deficiência hídrica, genótipo de plantas, topografia da área, além do próprio manejo diferenciado da área (DELOUCHE, 1969). Portanto, o uso de amostragens aleatórias, empregando a média para caracterizar determinado atributo no solo, pode resultar em grandes erros.

3.3 Variabilidade espacial

A geoestatística é uma das técnicas utilizadas para mapear a variabilidade espacial dos atributos do solo e tem como principal função a identificação e modelagem da variabilidade espacial, em uma área geralmente tratada como homogênea, características e necessidades que requerem

manejos diferenciados (BREVICK *et al.*, 2003; 2016; BEHERA *et al.*, 2015), permitindo assim entender as escalas de variabilidade e conseqüentemente a heterogeneidade de uma variável.

A análise da variabilidade espacial usando ferramentas de geoestatística vem sendo amplamente utilizada com o objetivo de caracterizar estudos de química, como pH (MACHADO *et al.*, 2007; MORALES *et al.*, 2010; BOTTEGA *et al.*, 2015; RUSSENESES *et al.*, 2016), matéria orgânica (CORÁ *et al.*, 2004; CHIBA *et al.*, 2010), carbono orgânico (AMIRINEJAD *et al.*, 2011), micronutrientes (DAFONTE DAFONTE *et al.*, 2010; MORALES *et al.*, 2014), e física do solo, como macroporosidade, microporosidade e porosidade total (SANTOS *et al.*, 2012; AQUINO *et al.*, 2015), resistência a penetração (BONNIN *et al.*, 2010), densidade do solo (SILVA *et al.*, 2014; TAVARES *et al.*, 2015), produtividade (GUEDES FILHO *et al.*, 2010; DALCHIAVON *et al.*, 2011; MONTANARI *et al.*, 2010; MONTANARI *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2015), atributos biométricos de cana de açúcar (GREGO *et al.*, 2010), emissões de CO₂ em cultivos de soja e cana de açúcar (TERÇARIOL *et al.*, 2017), condutividade elétrica (SIQUEIRA *et al.*, 2014; SIQUEIRA *et al.*, 2015; SIQUEIRA *et al.*, 2015; SIQUEIRA *et al.*, 2016), conteúdo de água (VIEIRA *et al.*, 2010; SIQUEIRA *et al.*, 2015), fertilidade do solo (ZONTA *et al.*, 2014).

No entanto, a representação da distribuição espacial de um atributo químico isolado do solo por meio dos mapas geralmente não tem sido eficiente para estabelecer relação causa-efeito com a produtividade das culturas (SILVA *et al.*, 2015). Isso se deve à complexidade do solo, que é considerado um sistema dinâmico cuja funcionalidade emerge de interações entre componentes físicos, químicos e biológicos, além da interação de fatores geológicos, topográficos e climáticos (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Caracterização da área experimental

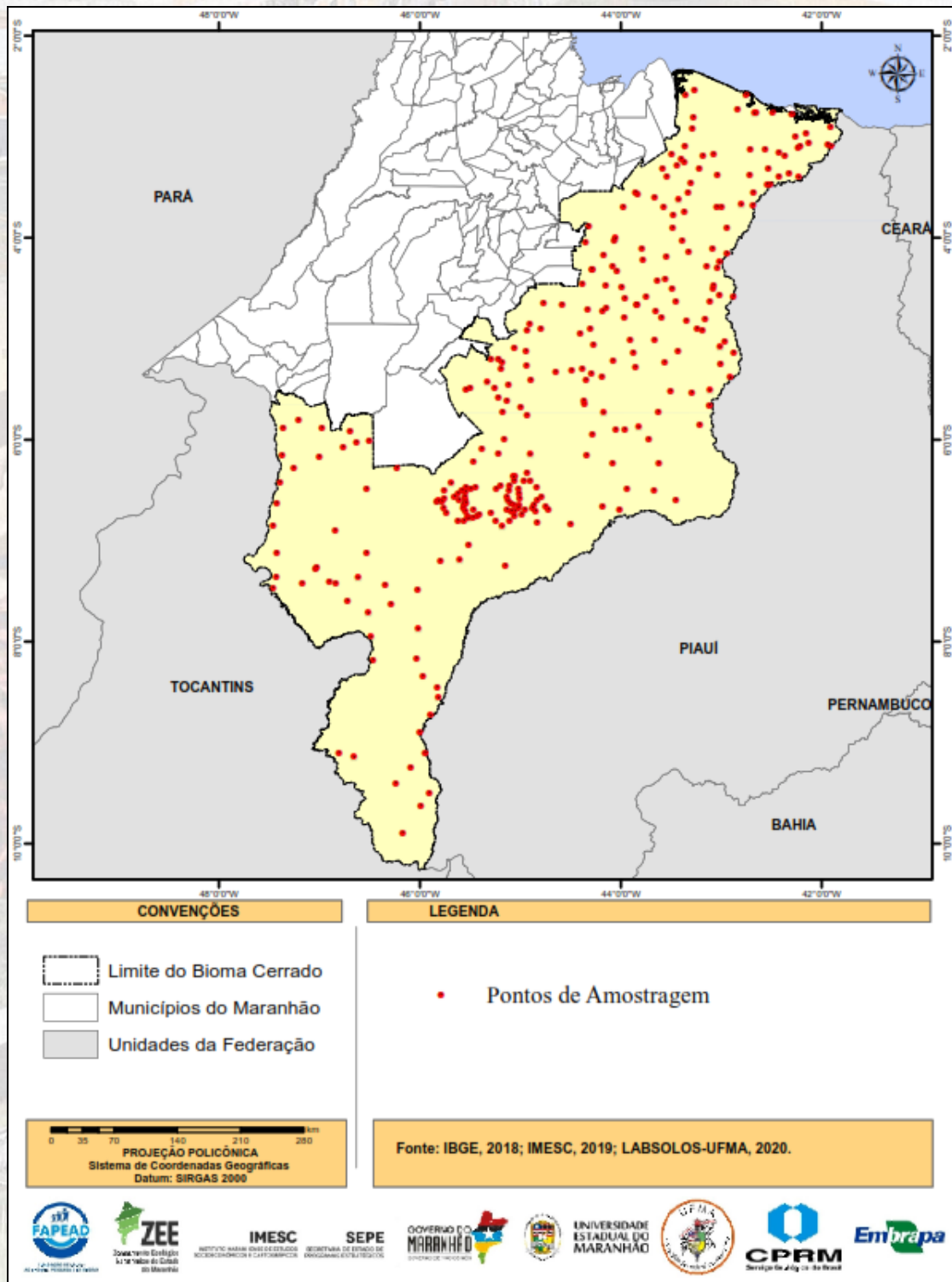
Este projeto foi desenvolvido no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão – Brasil que ocupam uma área de 189.950,883², englobando 109 municípios das regiões Norte, Leste, Centro e Sul Maranhense. Na área de estudo foram alocados 294 pontos de amostragem distribuídos ao acaso para coleta da fauna invertebrada e de amostras deformadas de solo na camada de 0,0-0,3m de profundidade (Mapa 1), e as amostragens foram realizadas em locais com vegetação natural.

Do total de 294 pontos de amostragem, 79 pontos foram coletados por meio de Acordo de Cooperação entre o Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC, a Agência Estadual de Defesa Agropecuária do Maranhão – AGED e a Agência Estadual de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Maranhão – AGERP, durante o período de 16/11/2020 a 30/11/2020.

Os demais 215 pontos foram amostrados por meio de campanhas de campo realizadas pela equipe técnica deste eixo temático, sendo 58 pontos na primeira campanha (16/11/2020 a 1º/12/2020), 52 pontos amostrados na segunda campanha de campo (03/12/2020 a 18/12/2020) e 44 pontos amostrados na terceira campanha de campo realizada no mesmo período que a campanha 2 (03/12/2020 a 18/12/2020). Também foram incluídos neste trabalho 61 pontos de amostragem no Parque Estadual do Mirador coletados com apoio da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA e que fazem parte de tese de doutorado da pesquisadora Dra. Raimunda Alves Silva, orientada pelo professor Dr. Glécio Machado Siqueira - Coordenador do Eixo temático Biodiversidade dos Solos.

O Quadro 1 apresenta a relação de municípios amostrados durante o desenvolvimento deste trabalho, incluindo coleta da fauna invertebrada do solo e de amostras de solo para análise química.

Mapa 1 – Mapa de localização dos 294 pontos de amostragem localizados em áreas com vegetação natural no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão – Brasil



Quadro 1 – Municípios amostrados em cada uma das campanhas de campo realizadas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão

AGED e AGERP - 30 municípios		
Água doce do Maranhão	Coroatá	Santana do Maranhão
Amarante do Maranhão	Fernando Falcão	São Bernardo
Bacabal	Formosa da Serra Negra	São Domingos do Maranhão
Barra do Corda	Graça Aranha	São Mateus do Maranhão
Barreirinhas	Grajaú	S. Raimundo das Mangabeiras
Cachoeira Grande	Paulino Neves	Sítio Novo
Caxias	Pedreiras	Timbiras
Chapadinha	Peritoró	Timon
Codó	Presidente Dutra	Urbano Santos
Coelho Neto	Santa Quitéria do Maranhão	Vargem Grande
Primeira campanha de campo - 22 municípios		
Alto Parnaíba	Feira Nova do Maranhão	São Domingos do Azeitão
Balsas	Loreto	São Domingos do Maranhão
Buriti Bravo	Paraibano	São Félix de Balsas
Capinzal do Norte	Passagem Franca	São João do Patos
Carolina	Pastos Bons	São Pedro dos Crentes
Colinas	Presidente Dutra	São Raimundo das Mangabeiras
Dom Pedro	Riachão	Tasso Fragoso
Estreito		
Segunda campanha de campo - 28 municípios		
Aldeias Altas	Fortuna	Montes Altos
Barra do Corda	Jenipapo dos Vieiras	Parnarama
Bernardo do Mearim	Governador Archer	Porto Franco
Buriti Bravo	Governador Eugênio Barros	Ribamar Fiquene
Campestre do Maranhão	Grajaú	São João do Soter
Cana Brava	Imperatriz	São Raimundo do Doca Bezerra
Caxias	Itaipava do Grajaú	Senador Alexandre Costa
Codó	Lajeado Novo	Sítio Novo
Colinas	Matões	Timon
Esperantinópolis		
Terceira campanha de campo - 30 municípios		
Afonso Cunha	Coroatá	Primeira Cruz
Anapurus	Duque Bacelar	Rosário
Araioses	Humberto de Campos	Santa Quitéria do Maranhão
Barreirinhas	Icatu	Santana do Maranhão
Belágua	Magalhães de Almeida	Santo Amaro
Brejo	Milagres do Maranhão	São Benedito do Rio Preto
Buriti	Morros	São Bernardo
Caxias	Paulino Neves	Tutóia
Codó	Peritoró	Urbano Santos
Coelho Neto	Presidente Juscelino	Vargem Grande
Afonso Cunha	Coroatá	Primeira Cruz

Fonte: Registro da Pesquisa.

4.2 Amostragem da fauna invertebrada do solo

As amostragens foram realizadas no final do período seco nos meses de novembro e dezembro, e do total de 294 amostras apenas 164 foram consideradas úteis para a avaliação da fauna

invertebrada do solo. A diminuição do número de amostras ocorreu devido ao revolvimento do local de amostragem por animais ou por ação antrópica, havendo destruição da armadilha tipo *pitfall traps*.

Os indivíduos da fauna foram coletados com armadilha do tipo *pitfall traps* (CORREIA; OLIVEIRA, 2000 - Figura 1), que consiste em um pote plástico com aproximadamente 9cm de altura e 8 cm de diâmetro alocados em campo ao nível do solo. Desta maneira, os organismos da fauna invertebrada do solo que caminham sobre a superfície do solo caem acidentalmente na armadilha (AQUINO, 2001; SIQUEIRA *et al.*, 2014).

Figura 1 – Amostragem da fauna do solo por meio de armadilha do tipo *pitfall traps*



Fonte: Registro da Pesquisa.

Cada armadilha permaneceu no campo por um período de sete dias, contendo em seu interior 200 ml de formol a 4% para preservação dos organismos coletados (AQUINO *et al.*, 2008; SIQUEIRA *et al.*, 2014). Ao final do período de sete dias, as armadilhas foram retiradas do campo e o seu conteúdo armazenado em recipientes contendo álcool a 70%, e devidamente identificados com o

respectivo número do ponto. Em laboratório, o conteúdo de cada recipiente foi transferido para placa de petri e identificado com auxílio de pinça, lupa binocular e chave de identificação de acordo com os grupos taxonômicos nos níveis (classe, ordem ou família) ou estágio de desenvolvimento (larva ou adulto, em alguns casos).

4.3 Amostragem dos atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo foram coletados em 294 pontos de amostragem no período de novembro a dezembro de 2020, que compreende o final da estação seca no Estado do Maranhão. A Figura 2 apresenta o processo de coletas de amostras de solo por técnico da AGED.

Figura 2 – Coleta de amostra de solo realizada durante as campanhas de campo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - MA



Fonte: Registro da Pesquisa.

Amostras deformadas de solo foram coletadas nas camadas de 0-0,05m, 0,05-0,15m e 0,15-0,3m de profundidade foram secas em estufa a 60°C durante 24h e peneiradas em malha de 2mm, para a determinação das propriedades químicas do solo. Para confecção dos mapas de variabilidade espacial foi utilizada a média dos valores dos atributos químicos do solo, presente nas três camadas de amostragem, representando assim a camada de 0-0,3m de profundidade.

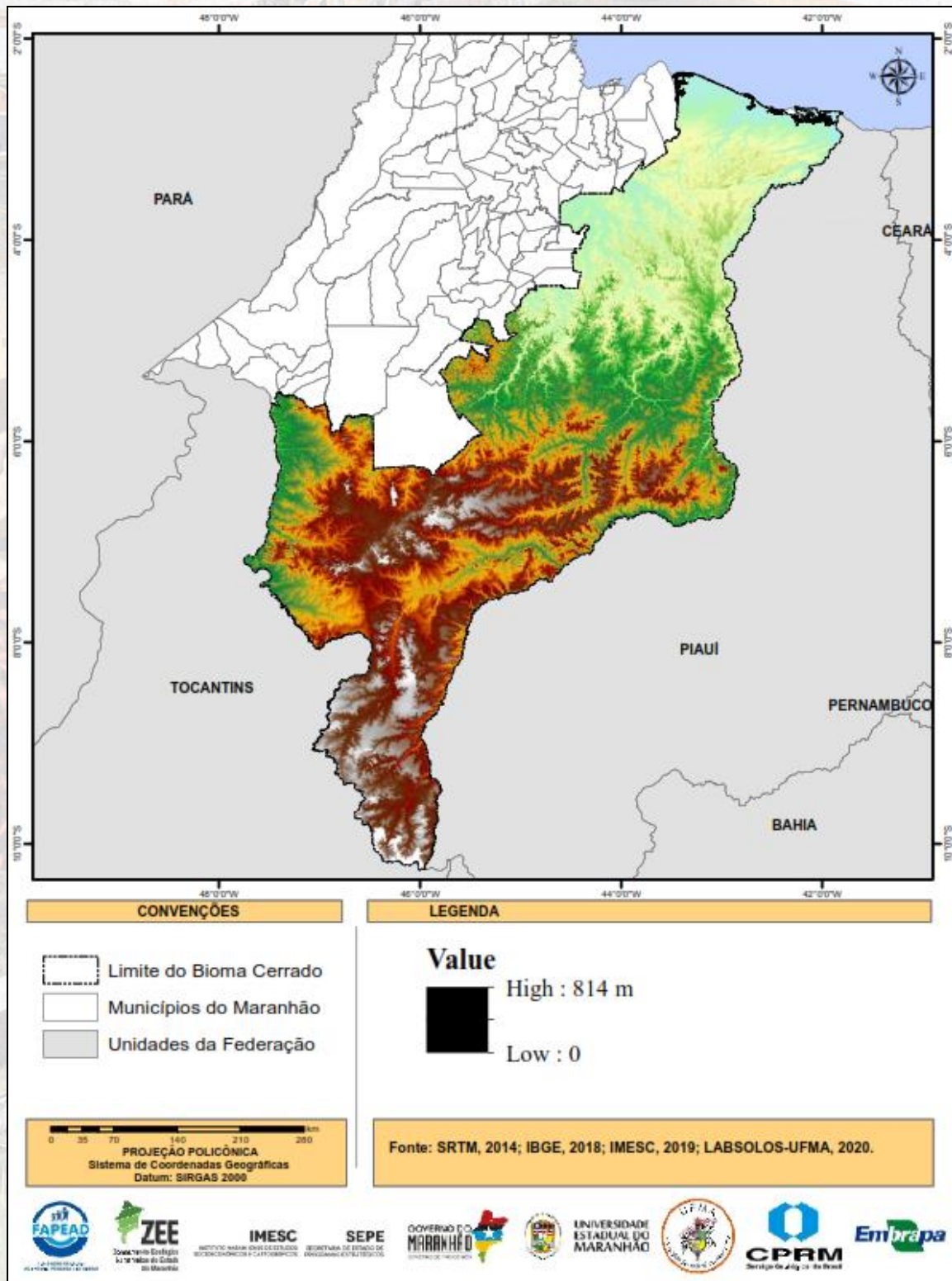
Foram determinados os seguintes atributos químicos: conteúdo de matéria orgânica (MO, g dm⁻³), pH em solução de CaCl₂, fósforo (P, mg dm⁻³), potássio (K, mmol_c dm⁻³), cálcio (Ca, mmol_c dm⁻³), magnésio (Mg, mmol_c dm⁻³), cádmio (Cd, mg dm⁻³), cromo (Cr, mg dm⁻³), cobre (Cu, mg dm⁻³), ferro (Fe, mg dm⁻³), níquel (Ni, mg dm⁻³), chumbo (Pb, mg dm⁻³), zinco (Zn, mg dm⁻³) e manganês (Mn, mg dm⁻³) determinados seguindo metodologia proposta por RAIJ *et al.* (2001), e após a realização da análise química, foram calculados os seguintes atributos de fertilidade do solo: capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%).

A SB (mmol_c dm⁻³) foi calculada a partir do somatório das bases K, Ca, Mg e a capacidade de troca catiônica (CTC, mmol_c dm⁻³) foi calculada a partir do somatório da SB (mmol_c dm⁻³) e a acidez potencial (H+Al, mmol_c dm⁻³). A porcentagem de saturação por bases (V, %) foi calculada pela fórmula $V\% = (SB \times 100) / CTC$.

4.4 Modelagem do relevo

A altimetria para a área de estudo é apresentada no Mapa 2. Os dados foram obtidos do sistema SRTMA - Shuttle Radar Topography Mission, projeto entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration), NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), DLR (Agência Espacial Alemã) e ASI (Agência Espacial Italiana) com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria.

Mapa 2 – Mapa de variabilidade espacial da altimetria no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão – Brasil



A missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ocorrida em 2000, possibilitou a coleta de dados altimétricos para praticamente toda a superfície terrestre. Para a geração da altimetria e geração do tema de declividade nas áreas de estudos foi utilizado o arquivo denominado SRTM 28_14 <http://seamless.usgs.gov>.

4.5 Análise Estatística

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SAS científica, versão 8.0 (SAS, 1999). Os parâmetros estatísticos descritivos (média, desvio padrão, coeficientes de variação, assimetria, curtose e o teste de Kolmogorov-Smirnov) foram calculados para verificar a dispersão e as medidas de tendência central dos dados.

4.6 Análise geoestatística

O semivariograma experimental foi utilizado para determinar a variabilidade e a dependência espacial entre as amostras, representando quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado, sendo então expresso por meio da Equação 1:

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

A semivariância é estimada a partir de $\gamma^*(h)$ e $N(h)$ e representa o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ separados por um vetor (h). Desta maneira, a dependência espacial manifesta-se como uma correlação entre as amostras que diminui à medida que a distância entre os pontos amostrais aumenta e desaparece completamente quando a distância entre os pontos é suficientemente grande, os quais, neste caso, são considerados estatisticamente independentes (VIEIRA, 2000).

O gráfico do semivariograma é composto por uma série de valores (efeito pepita, variância estrutural e alcance), aos quais é preciso adequar um modelo matemático. O efeito pepita (C_0) indica a descontinuidade entre as amostras, ou seja, a variabilidade espacial não detectada durante o processo de amostragem do solo. A variância estrutural (C_1) apresenta-se como um componente do semivariograma que indica o ponto em que a correlação entre as amostras se estabiliza. O alcance (a) representa o tamanho das manchas de variabilidade espacial para um determinado atributo. A partir deste ponto não existe mais correlação entre as amostras.

Todos os atributos físicos do solo envolvidos neste estudo se ajustaram ao modelo esférico. De acordo com a Equação 2, o modelo esférico é descrito inicialmente como linear

(aproximadamente 1/3 do alcance – $0 < h < a$) e em seguida apresentando uma parte pendente (2/3 do alcance - $h > a$).

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad 0 < h < a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

Uma vez ajustado um modelo matemático ao semivariograma, utilizou-se a técnica de krigagem para fazer a interpolação dos dados para os locais não amostrados sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000; CARVALHO; ASSAD, 2005; GREGO; VIEIRA, 2005). A utilização da técnica de krigagem (Equação 3) utiliza a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma para estimar valores em qualquer posição dentro do campo (VIEIRA, 2000).

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

O *software* SURFER 11.6 (GOLDEN SOFTWARE, 2013) foi então utilizado para construção de mapas de isolinhas para os diferentes atributos envolvidos neste estudo, utilizando os valores estimados por meio da técnica de krigagem para os locais não amostrados (VIEIRA; PAZ GONZÁLEZ, 2003).

5 FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO NO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO MARANHÃO

Os parâmetros estatísticos apresentados (Tabela 1) para a abundância de organismos da fauna invertebrada e da riqueza de grupos taxonômicos demonstram que a abundância possui elevada variabilidade com valor de coeficiente de variação de 111,413%, indicando que as medidas são espacialmente heterogêneas, e que sua distribuição é dependente de outros fatores como clima, solo, vegetação, grau de perturbação e ocupação da paisagem. Por outra parte, a riqueza de grupos taxonômicos apresentou valor mediano de coeficiente de variação (CV = 47,99%), indicando que esta variável é mais estável no sistema, porém, com heterogeneidade de escala suficiente para que haja diferenças estatísticas entre as amostras. As diferenças nas escalas de variabilidade para a abundância de organismos da fauna invertebrada e da riqueza de grupos taxonômicos são confirmadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (D) que descreve que a distribuição da abundância é lognormal, enquanto a riqueza possui distribuição de frequência normal.

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos para a abundância de organismos da fauna invertebrada e riqueza de grupos taxonômicos no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão – Brasil

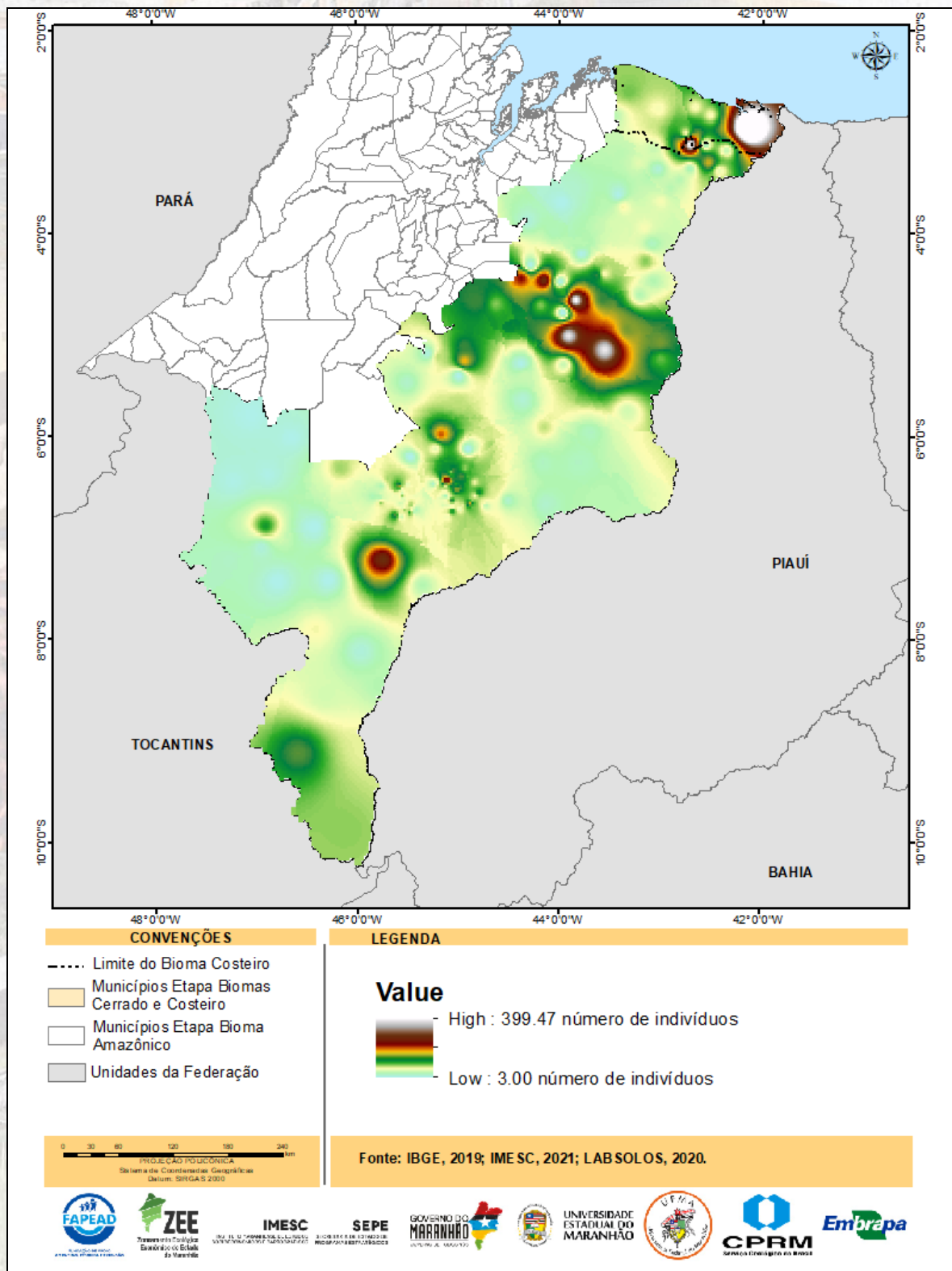
	Média	Desvio padrão	CV (%)	Assimetria	Curtose	D
Abundância	46.35	51.65	111.41	3.546	17.027	0.228Ln
Riqueza	5.02	2.41	47.99	0.742	0.339	0.128n

CV – Coeficiente de variação, %; D – teste de normalidade de Kolmogorov Smirnov a 1% de probabilidade.

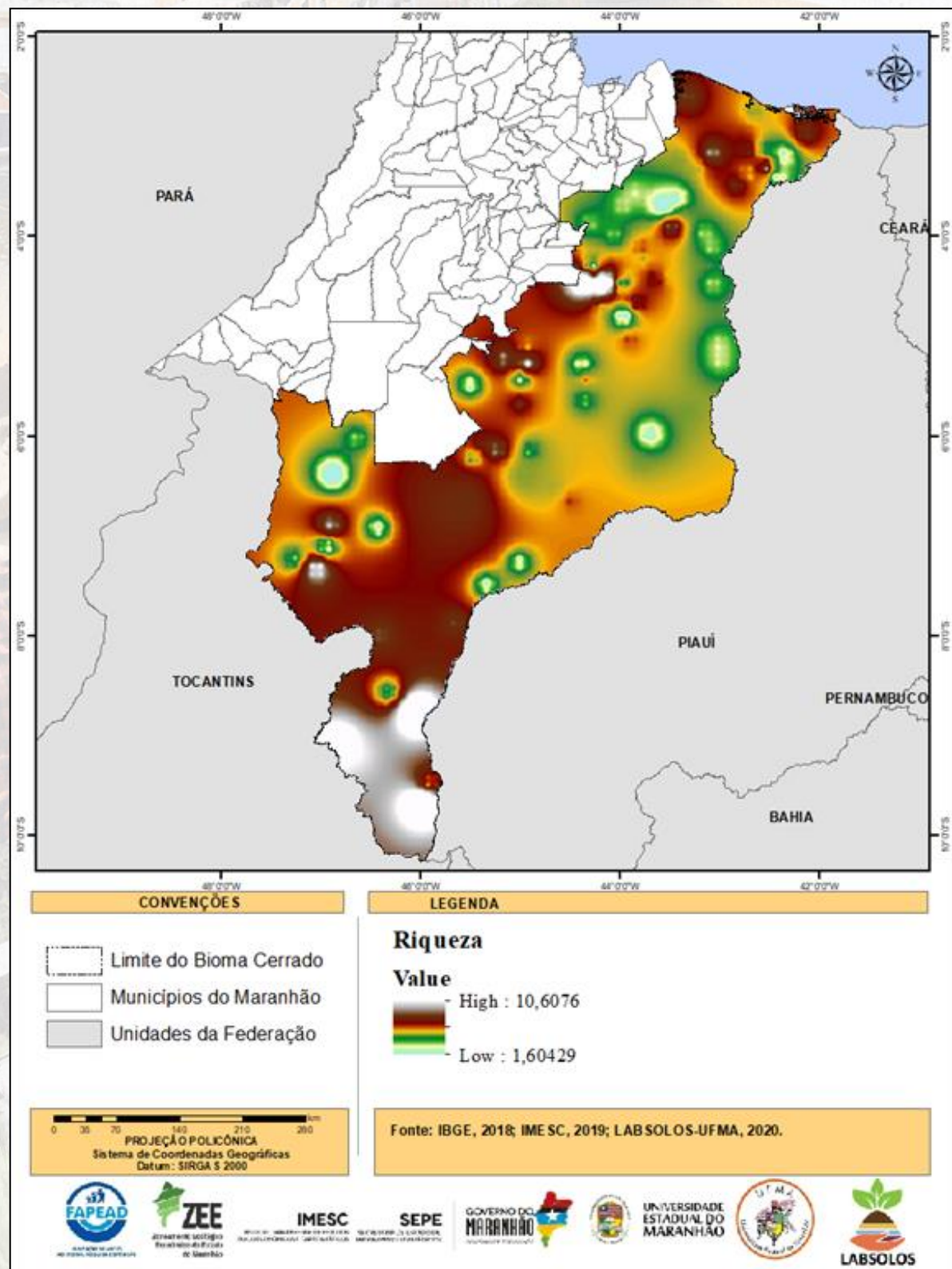
Fonte: Registro da Pesquisa.

Os mapas de variabilidade espacial da abundância de organismos da fauna invertebrada e da riqueza de grupos taxonômicos são apresentados a seguir nos Mapas 3 e 4.

Mapa 3 – Mapa de variabilidade espacial da abundância de organismos da fauna invertebrada do solo amostrada no período seco no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Mapa 4 – Mapa de variabilidade espacial da riqueza de grupos taxonômicos da fauna invertebrada do solo amostrada no período seco no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil

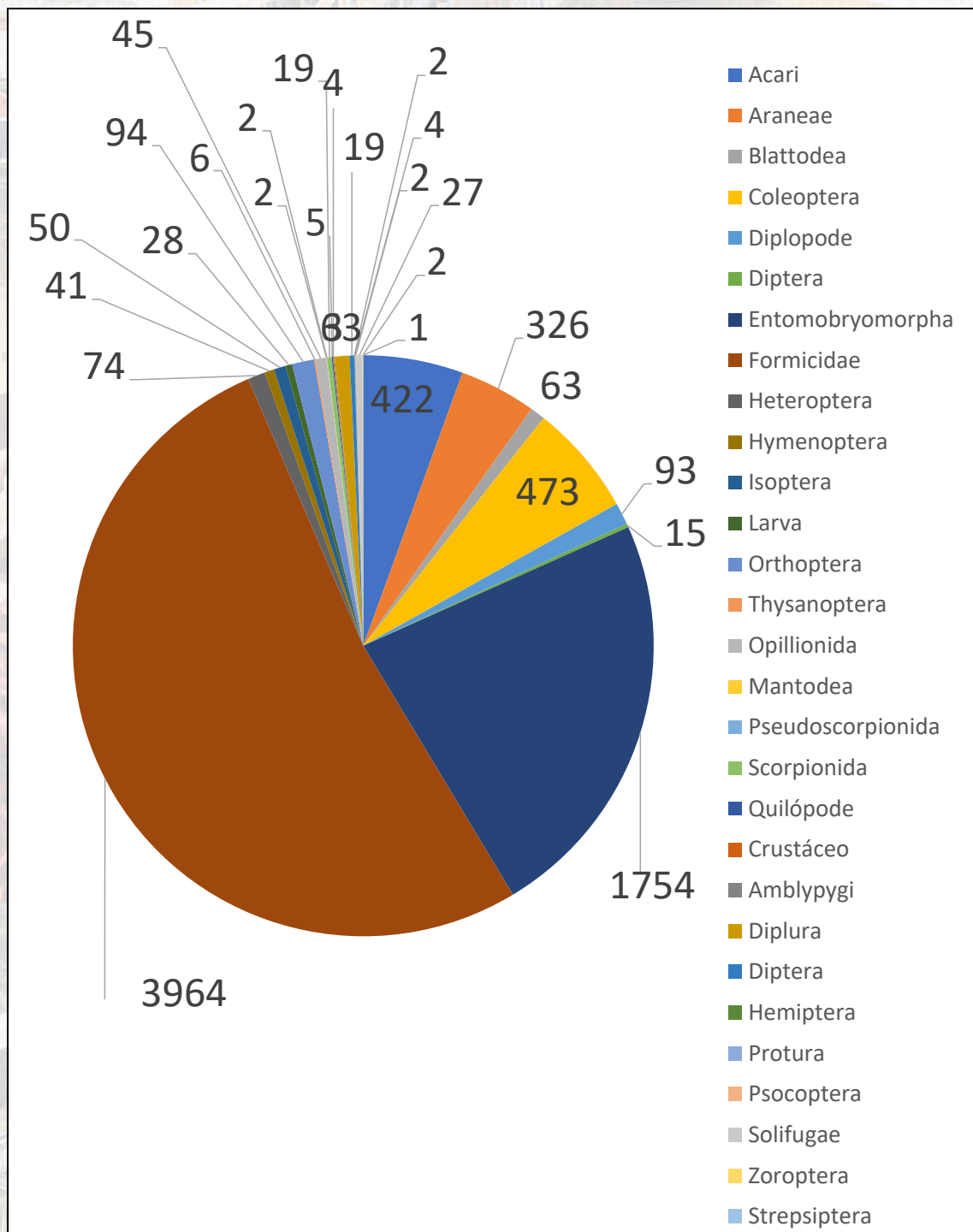


As amostras de fauna invertebrada do solo demonstram que a abundância média foi de 46,35 indivíduos por amostra, e a riqueza apresentou média de 5,02 grupos. Estes valores são importantes para que se entenda a dinâmica da fauna invertebrada do solo, como também a identificação de valores de referência que possam ser utilizados como indicadores mínimos para se avaliar a diversidade biológica. Para isso, é importante salientar que neste estudo as amostras foram coletadas no período seco, o qual representa o período de menor atividade dos organismos da fauna do solo, como também é de se esperar que no período chuvoso haja um aumento na dinâmica da fauna invertebrada devido às melhores condições ambientais, e desta maneira demonstrando a importância de conhecer a dinâmica nas duas estações, porém, o período seco é o momento que melhor oferece indicadores de referência para a definição de limites de referência para o desenvolvimento humano, conciliando a conservação ambiental.

O Gráfico 1 apresenta a riqueza de grupos taxonômicos para os 164 pontos de amostragem, indicando a proporção e representatividade de cada grupo para o presente estudo. A predominância de Formicidae corrobora com os resultados de Pasqualin e outros (2012) e Portilho e outros (2011) quando avaliaram a diversidade da fauna do solo em sistema manejo do solo. Foram identificados 29 grupos taxonômicos: Acari, Amblypygi, Araneae, Blattodea, Coleoptera, Crustáceo, Diplopode, Diplura, Diptera, Entomobryomorpha, Formicidae, Hemiptera, Heteroptera, Hymenoptera, Isoptera, Mantodea, Opillionida, Orthoptera, Protura, Pseudoscorpionida, Psocoptera, Quilopode, Scorpionida, Solifugae, Strepsiptera, Thysanoptera e Zoroptera.

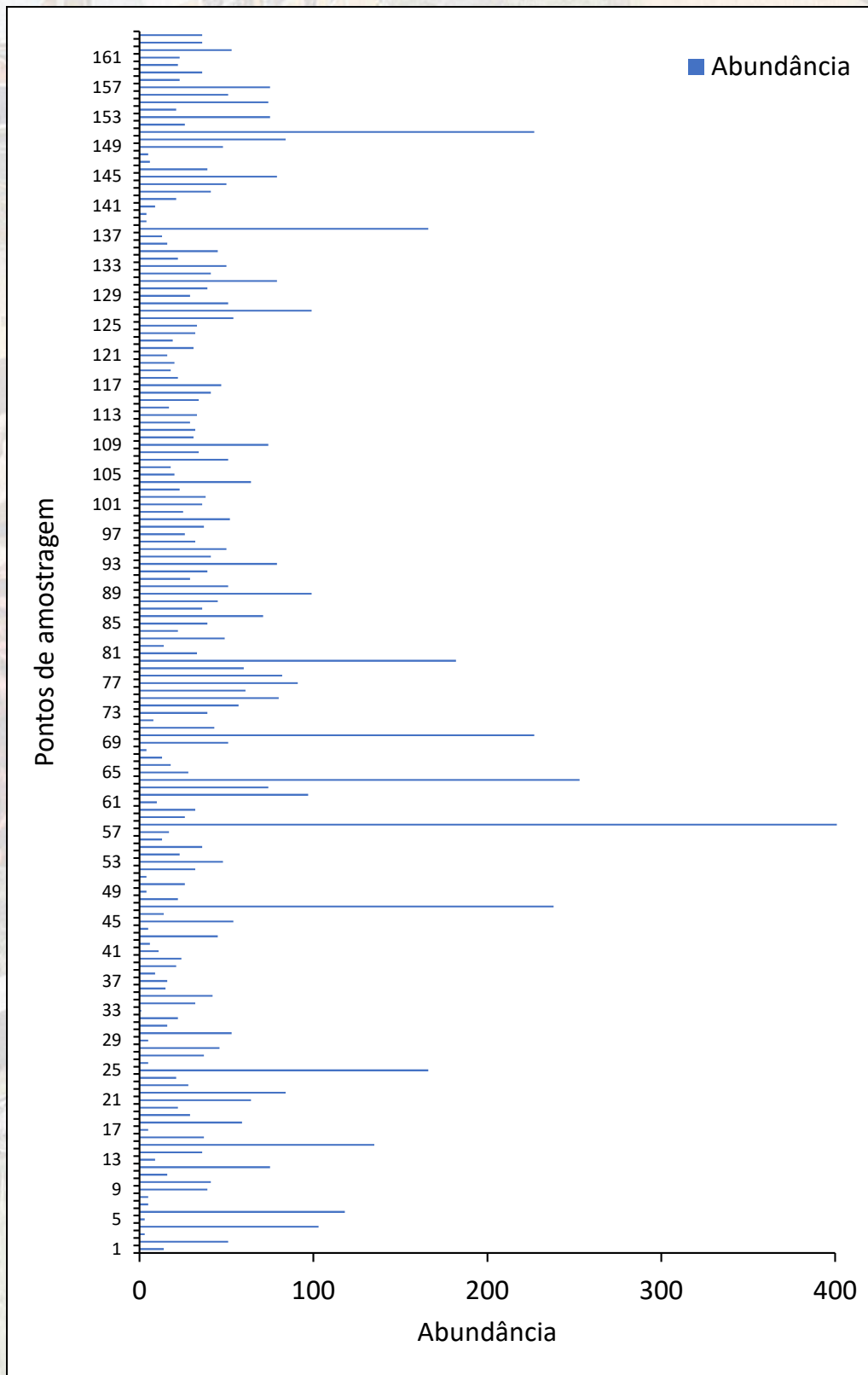
Os Gráficos 2 e 3 descrevem a variabilidade da abundância e da riqueza dos organismos da fauna invertebrada do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão.

Gráfico 1 – Grupos taxonômicos identificados nas 164 amostras de fauna invertebrada no Bioma Cerrado e Costeiro do Maranhão – Brasil



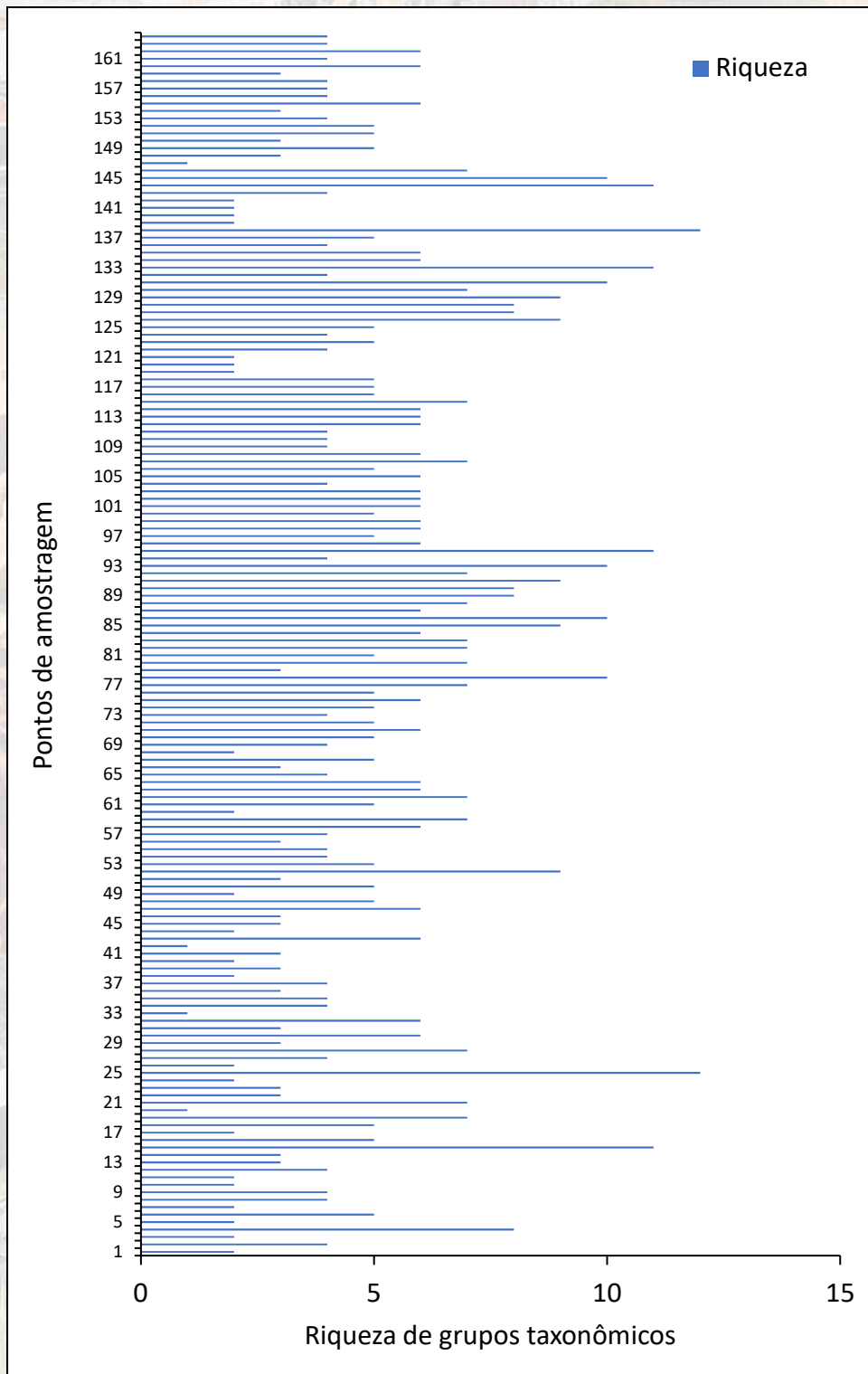
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 2 – Abundância de organismos para as 164 amostras de fauna invertebrada do solo coletadas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 3 – Riqueza de grupos taxonômicos para as 164 amostras de fauna invertebrada do solo coletadas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

A elevada abundância de formigas pode estar associada à sua marcante interação no ambiente por meio da herbívoros, predatismo, mutualismo e na grande capacidade de localização do alimento mesmo distante de suas áreas usuais de forrageamento (HOFFMAN *et al.*, 2009; SANABRIA *et al.*, 2014). Além disso, as formigas e outros artrópodes afetam profundamente os fluxos de gases e água no solo, pela criação de canais e interferência na estrutura dele, podendo assim modificar os micros habitats de outros organismos do solo, implicando na presença e na ausência de grupos taxonômicos (SIQUEIRA *et al.*, 2014).

Os grupos mais abundantes foram Formicidae (3.964 organismos), Entomobryomorpha (1.754 indivíduos), Coleoptera (473 organismos) e Acari (422 espécimes) são grupos importantes para a biota do solo, atuam na dinâmica estrutural dele, por meio da formação de estruturas biogênicas e galerias, abertura de poros e rompimento de horizontes (AYUKE *et al.*, 2011; CARRILLO *et al.*, 2011; BERNARD *et al.*, 2012; CABRERA, 2012), ademais de serem organismos que atuam ativamente na fragmentação de matéria orgânica.

A seguir será apresentada uma breve descrição dos principais grupos de organismos amostrados no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão:

1) Acari

É uma subclasse pertencente à classe Arachnida. São organismos pequenos que podem viver em diversos habitats e apresentar diferentes comportamentos e morfologias (GALVÃO; GUITTON, 1989). O hábito de vida desses artrópodes pode causar grandes prejuízos para áreas de plantações e de criação de rebanhos, uma vez que se caracterizam como animais parasitas, fitófagos, micófagos ou saprófagos (KRANTZ, 1978).

Os ácaros têm uma ecologia bastante diversificada, podendo ser encontrados em qualquer lugar do planeta, sendo eles endoparasitas, ectoparasitas e de vida livre. Dentro da subclasse acari também se encontram os carrapatos, que são organismos bastante conhecidos como pragas que parasitam outros animais, incluindo o homem, podendo causar doenças e levar à morte (ROSA *et al.*, 2019). Os ácaros são organismos facilmente encontrados no solo, onde se reproduzem e deixam seus ovos.

2) Amblypygi

As espécies da ordem amblypygi habitam em florestas tropicais e subtropicais, sendo que algumas dessas espécies são adaptadas à vida em ambientes áridos, como desertos (WEYGOLDT, 2002), e são encontrados em cavernas. Estão presentes em todos os continentes com distribuições geralmente limitadas a latitudes em que as temperaturas de congelamento são raras. Dentro desta

zona climática de ocorrência, os amblipígeos ocupam variados tipos de ecossistemas, tais como florestas úmidas tropicais e até desertos xéricos, cavernas e ambientes insulares (CHAPIN, 2015).

A maior diversidade de Amblypygi ocorre em regiões neotropicais, com aproximadamente 100 espécies descritas, distribuídas nas famílias Phrynidae, Phrynidae e Charinidae (HARVEY, 2003).

3) Araneae

Esse grupo de artrópodes apresenta uma grande diversidade, sendo até um dos grupos mais diversos do planeta (CODDINGTON: LEVI, 1991). São exemplos de organismos bioindicadores de qualidade ambiental, pois a diversidade de algumas espécies desse grupo pode ser significativamente menor devido a atividades antrópicas (CUNHA et al, 2012). Em ecossistemas terrestres são classificados como predadores generalistas (WISE, 1993), estando sua abundância diretamente ligada à presença de presas e ao clima que caracteriza um melhor período reprodutivo (ROCHA, 2017).

4) Blattodea

São insetos omnívoros, oligofágicos, xilófagos, e que também podem preda outros insetos; em sua maioria possuem preferência por detritos vegetais (LOPES, 2015). São presentes em quase todos os habitats onde ocorrem insetos, como serrapilheiras, cavernas, troncos e em casas (SCHAL; GAUTIER; BELL, 1984). As baratas têm pouca importância na agricultura, mas possuem um grande interesse médico com relação à saúde pública devido à disseminação de doenças (ROTH; WILLIS, 1957).

5) Coleoptera

Popularmente conhecidos como besouros, eles são organismos que possuem vários nichos ecológicos e que ocupam diversos ambientes, sendo eles indicadores de qualidade ou de degradação desses ambientes (SILVA e SILVA, 2011). São bastante utilizados como bioindicadores de biodiversidade e de fragmentação, pois se alimentam de fezes e carcaças de organismos vertebrados que são afetados por esses processos (THOMAZINI; THOMAZINI, 2000).

Algumas famílias desse grupo possuem o hábito de se alimentarem de outros insetos, e com isso podem servir como um controlador biológico (SILVA; SILVA, 2011).

6) Crustacea

Os crustáceos são artrópodes, conhecidos, principalmente, pela grande diversidade de espécies que vivem na água, sendo a maioria dos indivíduos desse subfilo exclusivamente aquáticos, portanto, há também representantes semi-terrestres e aqueles que são completamente terrestres, cujo principal representante é o tatuzinho-de-jardim (RUPPERT; BARNES, 1996). Neste subfilo, vale destacar duas ordens principais: Stomatopoda e Decapoda.

As espécies pertencentes à ordem Stomatopoda são exclusivamente estuarinas e marinhas, enquanto, as espécies que correspondem à ordem Decapoda são reconhecidas, sobretudo, por suas funções que desempenham na manutenção da homeostase na estrutura do ecossistema, no tratamento de resíduos e controle das populações de organismos, dos quais são predadores (SILVA *et al.*, 2015).

7) **Diplopode**

São organismos pertencentes ao subfilo Myriápode, e são popularmente conhecidos como piolho de cobra ou gongolo (SILVA, 2017). Podem servir de bioindicadores de qualidade de solo, pois não conseguem tolerar por muito tempo uma contaminação química no solo (GODDOY; FONTANETTI, 2010). Esse grupo pode ser muito afetado pela temperatura do ambiente em que se encontram, visto que há uma redução da diversidade desses artrópodes quando se encontram em períodos chuvosos em comparação à períodos secos (SILVA, 2017).

A alimentação desse grupo é composta basicamente de serrapilheira, porém eles podem se alimentar de microrganismos presentes nesses microambientes para obter mais nutrientes (CORREIA; AQUINO, 2005). Sendo assim, eles se caracterizam como potenciais decompositores de diferentes tipos de material vegetal (BIANCHI; CORREIA, 2017).

8) **Diplura**

Os dipluros são uma ordem de hexápodes da classe Entognatha com grande distribuição, estando presentes em praticamente todos os tipos de solos, também em cavernas e demais espaços subterrâneos (KOCH, 2009). Eles têm sucesso em todos os tipos de *habitats* terrestres crípticos escuros. Os dipluros residem principalmente em solo subsuperficiais devido sua estrutura corporal mole e cutícula delgada, se tornando assim, dependentes de umidade e temperaturas amenas para sobreviver (SENDRA *et al.*, 2021).

Os dipluros são bem famosos e diversos em florestas temperadas com solos ricos em nutrientes, mas também podem ser encontrados em casca de troncos de árvores ou em musgos (CONDÉ, 1956). Os dipluros exercem grande importância na humificação e redistribuição da matéria orgânica, assim como outros organismos da mesofauna.

9) **Diptera**

Algumas espécies são tidas como pragas em produção de frutos por todo o mundo, pois dependem dos frutos para desenvolvimento de suas larvas. Conhecidas popularmente como mosca-da-fruta, elas perfuram as frutas e depositam seus ovos dentro. Quando o fruto maduro cai, a larva se deposita no solo, passando assim por alguns estágios do seu ciclo de vida no solo (BOBOT, 2001).

Dípteros de solo atuam como agentes decompositores de matéria orgânica (WINK *et al.*, 2005). A umidade e a entrada de matéria orgânica são um dos fatores que afetam a abundância de comunidades desse grupo, que são tidos como importantes bioindicadores sendo muito afetados pela poluição, e são importantes decompositores de serrapilheira (FROUZ, 1999).

10) Diptera

Os dípteros são uma ordem de insetos com a característica comum, pelo fato de terem duas asas anteriores e as outras duas posteriores, modificadas em halteres. Tem-se conhecimento de aproximadamente 153 mil espécies que se distribuem em 160 famílias, sendo inclusas as moscas, borrachudos, mosquitos, mutucas, pernilongos e varejeiras. É um grupo que pode ocupar diversos nichos alimentares, sendo predadores, parasitas ou hematófagos.

Os dípteros estão presentes em grande parte dos habitats, ocupando, principalmente regiões tropicais (LEAL *et al.*, 1987). Muitos dípteros têm importante função ecológica, especialmente como predadores naturais de vários organismos (CARVALHO *et al.*, 2012). Ademais, sabe-se que algumas espécies de dípteros atuam como agentes de controle biológico de plantas daninhas (CANTUÁRIA, 2005).

11) Entomobryomorpha

São organismos que se encontram em vários tipos de habitats e que têm grande relação com o solo, sendo importante na ciclagem de nutrientes (BELLINI; ZEPPELINI, 2019). Esses micro-artrópodes são importantes bioindicadores de mudanças no solo, e são influenciados pela química do solo em que vivem (CASSAGNE, 2003). São muito sensíveis às intervenções antrópicas (BARETTA *et al.*, 2008). Eles se alimentam de microrganismos do solo e de matéria orgânica morta, auxiliando na ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo (OLIVEIRA; BARETTA, 2016).

12) Formicidae

É uma família da ordem Hymenoptera, que abrange também as abelhas e vespas (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2011). Esses insetos apresentam ampla distribuição devido à sociabilidade e a capacidade exploratória. Podem ocupar vários nichos ecológicos desde copas das árvores até galerias subterrâneas, conseguindo se adaptar bem ao ambiente antropizado e sobreviver a condições extremas, se mostrando resistente. (SILVESTRE, 2000).

No Brasil, o clima torna as condições propícias para a distribuição desses insetos em variados ambientes e substratos (SILVA, 2014). No Estado do Maranhão houve registros de uma série de espécies vistas pela primeira vez no Estado, mesmo sendo elas amplamente distribuídas pelo Brasil (PRADO *et al.*, 2019), isso reforça a necessidade de haver mais estudos sobre a mirmecofauna da região, visando a conservação de espécies.

13) Hemiptera

A ordem dos hemípteros possui grande diversidade de insetos, com inúmeras variedades morfológicas e hábitos alimentares (BERNADINO, 2019). Os insetos mais reconhecidos dessa ordem são os barbeiros, percevejos, cigarras, cochonilhas e pulgões. Os hemípteros podem ser terrestres, aquáticos ou semiaquáticos. Neste táxon, vale destacar duas subordens: a Auchenorrhyncha e Heteroptera.

A Auchenorrhyncha agrupa as cigarras e cigarrinhas, as quais têm hábitos alimentares com base na ingestão da seiva de plantas. A subordem Heteroptera é a que abrange os percevejos, artrópodes que podem ser terrestres, aquáticos e semiaquáticos. Existem cerca de 89 mil espécies dessa ordem conhecidas em todo o mundo, com estimativas de 30 mil só no Brasil (GRAZIA *et al.*, 2012).

Determinados hemípteros têm grande importância na agricultura por possuírem sua dieta baseada na ingestão da seiva de plantas, sendo o seu rosto formado por quatro segmentos. Também podem ser entomófagos ou predadores, vez que sugam a hemolinfa de outros insetos, e apresentam por característica o rosto com três segmentos e em forma de arco (GONÇALVES; COSTA, 2008).

14) Heteroptera

É uma subordem pertencente à ordem hemíptera, que compreende os insetos hemimetábolos (insetos jovens que sofrem mudanças graduais e não diferem muito da morfologia dos adultos) mais diversos (RUIZ, 2014).

Conhecidos como percevejos, esses insetos possuem aparelho bucal do tipo sugador (SCHAEFFER; PANIZZI, 2000), e podem ser fitófagos, hematófagos e predadores (JUNQUEIRA *et al.*, 2011). Por possuírem como hábito alimentar, a fitofagia, podem causar danos aos sistemas agropecuários. Algumas espécies podem ser usadas como controle biológico, pois são predadores de algumas pragas danosas às áreas de pastagem (RUIZ, 2014). Fatores climáticos e atividades antrópicas podem influenciar na mudança dos hábitos alimentares e na sobrevivência desses insetos em um ecossistema (RUIZ, 2014).

15) Hymenoptera

A palavra Hymenoptera deriva do grego hymeno (deus do casamento), devido à fileira de ganchos que prendem as asas anteriores às posteriores chamados hámulos, e hymen = membrana e ptera = asas (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2011; HAMADA *et al.*, 2014).

Constituem quase 10% das espécies da vida (GASTON *et al.*, 1991) com aproximadamente 115.000 espécies descritas (SHARKEY, 2007) é a terceira ordem mais diversa dentro da classe Insecta (RAFAEL *et al.*, 2012). Algumas características comuns neste grupo de insetos é a presença de peças

buciais do tipo mandibulata ou lambedor, ovopositor que pode apresentar modificações em ferrão e a reprodução por Partenogênese.

Entre os principais representantes desse grupo de insetos estão as abelhas, vespas e as formigas. Importantes agentes polinizadores, de suma importância para a crivagem e reciclagem de nutrientes do ecossistema (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2011).

16) Isoptera

Cupins são organismos que apresentam sensibilidade a diferentes gradientes de vegetação e aos efeitos do desmatamento e isolamento (THOMANZINI; THOMANZINI, 2002). Esse grupo de insetos costumam fazer ninhos subterrâneos, e com isso ajudam na infiltração de água, formação e aeração do solo, sendo algumas espécies responsáveis pela decomposição da folhagem, cortando ou triturando folhas secas ou verdes (BANDEIRA, 1979).

São importantes na degradação de celulose, que é a base da sua alimentação (MEDEIROS, 2004), mas algumas espécies também podem se alimentar de fezes de bovinos e equinos (BANDEIRA, 1978). Sua capacidade de digerir celulose permite que esses insetos desempenhem papel chave no ecossistema, atuando também como bioindicadores (LIMA; BIANCHI, 2012).

17) Mantodea

A ordem Mantódea é um grupamento de artrópodes conhecidos popularmente como louva-deus. Essa ordem comporta aproximadamente 2.300 espécies (JANTSCH, 1988). O táxon Mantódea é cosmopolita, distribuídos nos mais diferentes continentes, exceto na Antártica, e são encontrados com maior frequência em regiões tropicais e subtropicais (DLCOURT, 2011).

Os louva-deus, por serem predadores, têm grande importância para o meio ambiente, no controle biológico, pois caçam outros insetos, sobretudo, moscas, grilos e mariposas. Com relação aos hábitos, possuem como característica o canibalismo associado ao ato reprodutivo, no qual a fêmea come a cabeça do macho após a cúpula (RODRIGUES, 2013).

18) Opillionida

São artrópodes sensíveis a alterações climáticas, como altas temperaturas, diminuindo assim a diversidade desses organismos em determinados microhabitats (BERNABÉ, 2019). Costumam viver em camadas superficiais do solo, serrapilheira, vegetação e em outros ambientes no solo e em árvores (ROCHA et al, 2006). Artrópodes dessa ordem apresentam alto grau de endemismo (BRANDÃO *et al.*, 1999), e possuem hábitos noturnos e se alimentam de frutos, fungos e pequenos invertebrados.

19) Orthoptera

Os representantes dessa ordem são os gafanhotos, grilos, esperanças e os bichos-pau que são associados ao solo e serrapilheira (COSTA *et al.*, 2013). Esses insetos possuem grande importância econômica, pois são considerados pragas (SPERBER, 1991).

Quanto à alimentação, eles podem ser fitófagos (COSTA *et al.*, 1989), onívoros, e se alimentam de frutos, fungos e tecido animal (HUBER *et al.*, 1989). Devido ao seu hábito alimentar, a abundância desses insetos é maior nos períodos chuvosos (COSTA *et al.*, 2013).

20) Protura

Assim como os dipluros, a ordem protura é composta por artrópodes que pertencentes à classe Entognatha (KROLOW, 2009). Ela é representada por cerca de 800 espécies, que se distribuem por 77 gêneros.

Os proturas são organismos muito pequenos da mesofauna do solo, com baixa capacidade de dispersão (GALLI *et al.*, 2020). Os organismos da ordem protura têm seu hábito alimentar baseado no consumo de plantas e animais mortos, sendo assim, atuam como decompositores, estando diretamente vinculados à decomposição de matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2013).

21) Pseudoscorpionida

Os pseudoescorpiões constituem uma ordem com mais de 3.200 espécies descritas, com distribuições em diversas regiões ao redor do mundo todo. No Brasil é possível encontrar cerca de 3.235 espécies, pertencentes a inúmeras famílias (PEDROSO, 2007).

Os pseudoescorpiões são bem pequenos com cerca de 2mm a 6mm, e apesar disso, são predadores ferozes e canibais. Estes aracnídeos têm geralmente comportamentos solitários e são agressivos, sendo recorrentes os casos de lutas na disputa de alimentos ou fêmeas, o que pode resultar no canibalismo (PEDROSO, 2008). A maior importância do pseudoescorpião dá-se devido suas atividades tróficas, atuando como predador da microfauna e na fragmentação de matéria vegetal em estado de decomposição (PEDROSO *et al.*, 2011).

22) Psocoptera

A ordem Psocoptera é relativamente pequena, tendo cerca de 5.600 espécies descritas. Eles têm o hábito alimentar de roer o que estão consumindo, sendo essa a característica principal dentro desse táxon (GARCÍA-ALDRETE, 2012). A grande maioria das espécies dessa ordem vive sob ou sobre a casca, em folhagem de árvores, na serrapilheira úmida, debaixo de rochas, dentro de cavernas e até em ninhos de pássaros.

Os Psocopteras se alimentam de algas, líquens, pólen e fragmentos de insetos mortos (TRIPLEHORN, 2011). Por se tratar de organismos dentríticos, os psocopteros são imprescindíveis,

uma vez que tornam os recursos da microflora disponíveis para outros grupos de organismos em diferentes teias alimentares (SMITHERS, 1992).

23) Quilopode

Os quilópodes são pequenos invertebrados que têm preferência por locais escuros e úmidos para viver, como pedras, madeira e a serrapilheira do solo. Nesses locais eles têm facilidade para se alimentar, pois encontram plantas mortas caídas no solo e alguns pequenos insetos, dos quais são predadores.

Todas as espécies da classe Chilopoda são cegas, adaptadas à vida em locais com baixa temperatura, úmidos e escuros (CIPOLA, 2018). Há uma estimativa de que existam cerca de 2.500 espécies, porém apenas 1.100 foram descritas, das quais 200 estão na região neotropical, e dessas, 150 no Brasil, sendo 50% escolopendromorfos. Os quilópodes ocorrem em praticamente todos os biomas brasileiros (KNYSAK; MARTINS 1999).

24) Scorpionida

Os escorpiões constituem um táxon relativamente pequeno de artrópodes. O grupo é dividido em 184 gêneros e pouco mais de 1900 espécies (STOCKMANN; YTHIER, 2010). Apesar de pouco diverso, é possível encontrar os escorpiões distribuídos por praticamente todos os ambientes terrestres, ocupando desde florestas tropicais e temperadas até regiões áridas de deserto, sendo sua maior diversidade em ambientes desérticos (POLIS, 1990).

A importância desses artrópodes para o meio ambiente é devida, principalmente, pelo fato de serem predadores naturais de insetos e alguns pequenos animais que têm o potencial de serem nocivos. Além disso, desempenham papel fundamental no controle de pragas (BRAZIL; PORTO, 2011).

25) Solifugae

Dentro da vasta diversidade da classe Arachnida, existe uma ordem relativamente pequena, conhecida como Solifugae, considerada uma ordem meso-diversa, sendo constituída por cerca de mais de 1.000 espécies descritas (HARVEY, 2003).

Os Solifugae são predadores de outros artrópodes (PUNZO, 2012). Eles se apresentam durante o dia e a noite (MUMA, 1974), no entanto, a maioria das espécies tem atividades noturnas. As adaptações desses artrópodes lhes permitem viver, principalmente, em habitats desérticos e semidesérticos (GONZÁLEZ-MOLINÉ, 2015).

26) Strepsiptera

Strepsiptera é uma ordem de insetos parasitoides com morfologia peculiar. Esse táxon é pequeno, compreendendo cerca de 15 famílias, das quais 5 extintos. Todas as espécies dessa ordem

são endoparasitas entomófagos, e parasitam diversos grupos taxonômicos, que abrangem, ao todo, sete ordens e 35 famílias.

As ordens correspondentes são: Diptera, Blattodea, Hymenoptera, Hemiptera, Mantodea, Orthoptera e Zygentoma. Strepsiptera é uma ordem de animais com distribuição cosmopolitas, sendo encontrados em todos os habitats em que outros insetos maiores ocupam, com exceção do ambiente aquático (JEYARANEY, 2018).

27) Thysanoptera

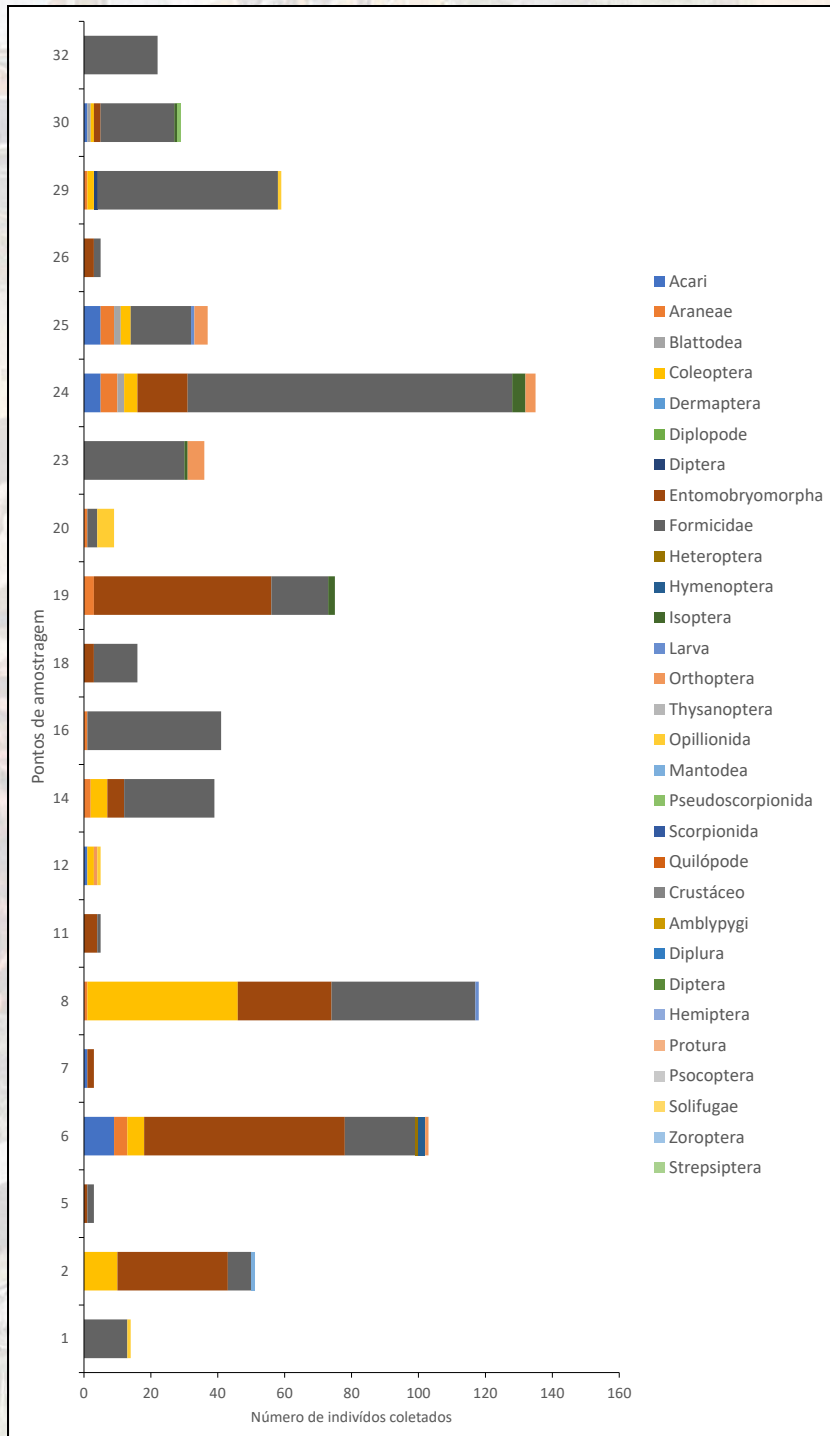
Insetos popularmente conhecidos como traças são frequentemente encontrados nos períodos chuvosos e se alimentam de matéria orgânica vegetal, por isso são comumente encontrados na serrapilheira (COSTA *et al.*, 2013). São insetos de grande importância agrícola devido à sua herbivoria e por serem tidos como pragas (ROTENBERG *et al.*, 2020). Possuem grande capacidade de dispersão devido às suas características alimentares; são vetores de vírus, e têm características morfológicas e reprodutivas; estabelecem uma grande população nas plantações e dificultando com isso seu controle (HEZ *et al.*, 2019).

28) Zoroptera

A ordem Zoraptera é uma das menos diversas entre os insetos, contendo apenas uma família e cerca de 40 espécies descritas. Ela é constituída por indivíduos minúsculos que medem de 2 a 3 mm. Quando adultos na mesma espécie ocorrem aqueles que são alados e possuem olhos e outros são ápteros e sem olhos. Eles possuem o hábito alimentar de consumir detritos ou esporos de fungos. São gregários e encontrados sob casca de árvores e em madeira podre (CONSTANTINO *et al.*, 2002).

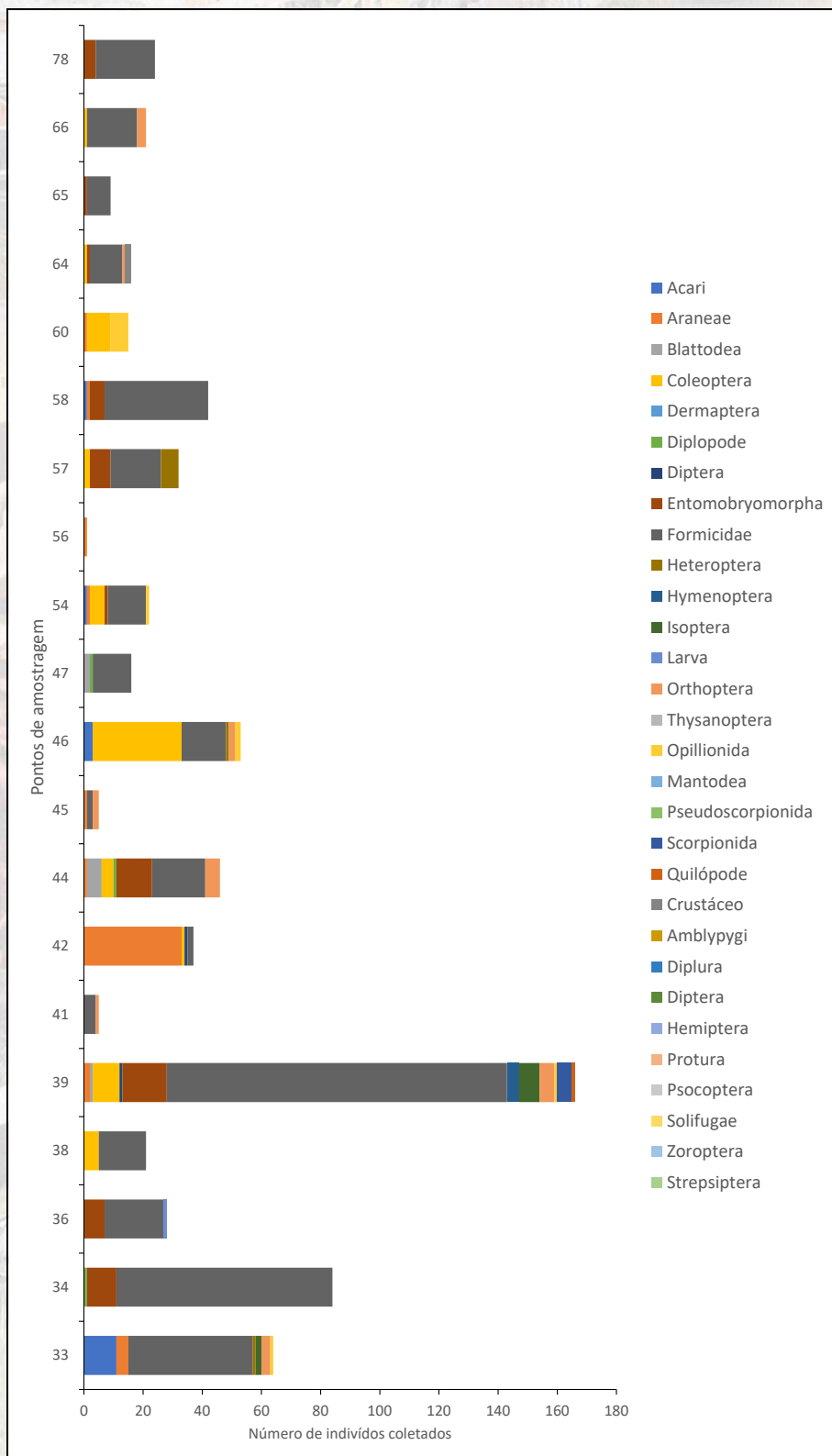
Os Gráficos 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam os grupos taxonômicos da fauna invertebrada do solo identificados nos 294 pontos de amostragem no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão.

Gráfico 4 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 1, 2, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 29, 30 e 32 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



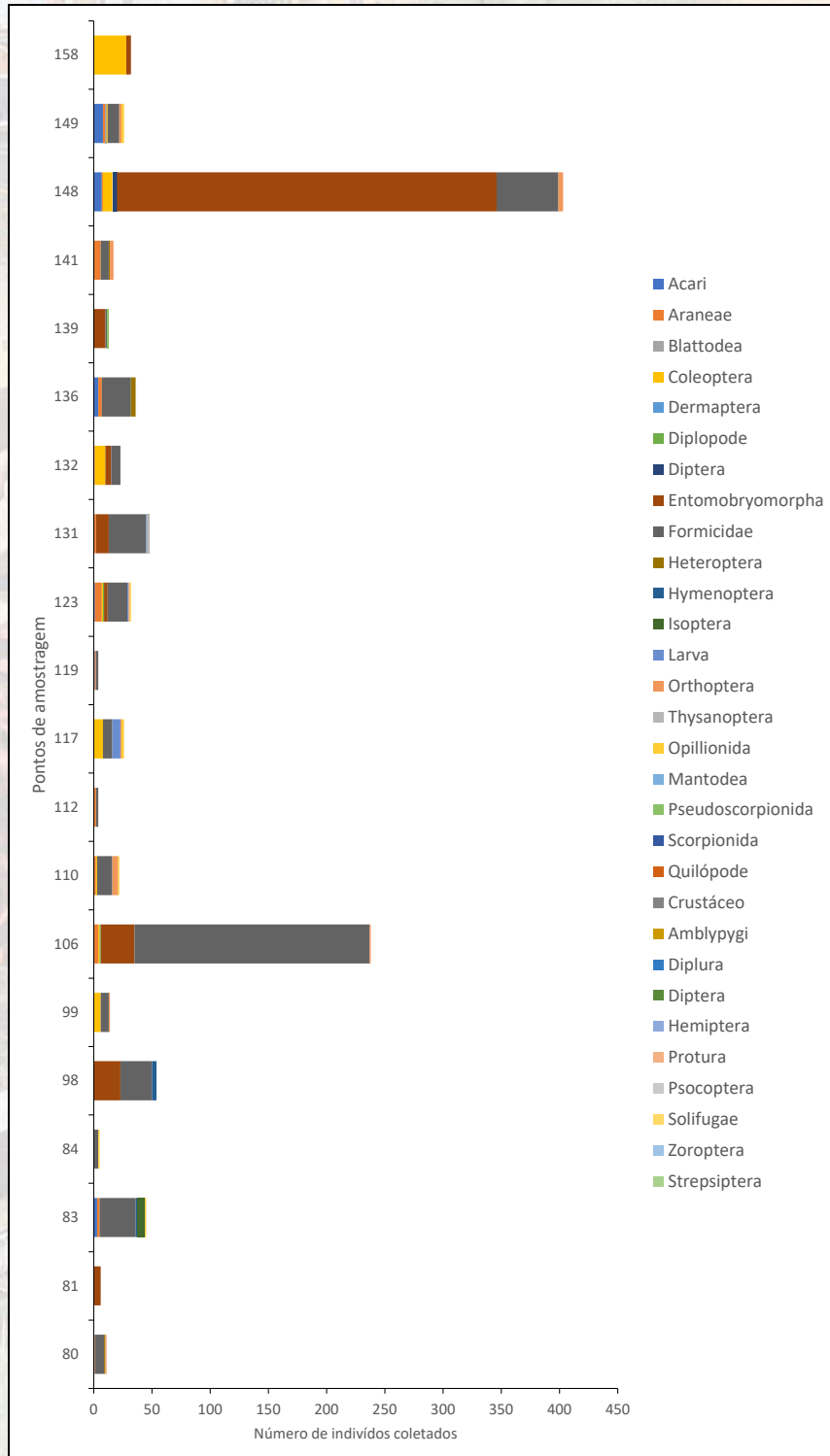
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 5 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 33, 34, 36, 38, 39, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 54, 56, 57, 58, 60, 64, 65, 66 e 78 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



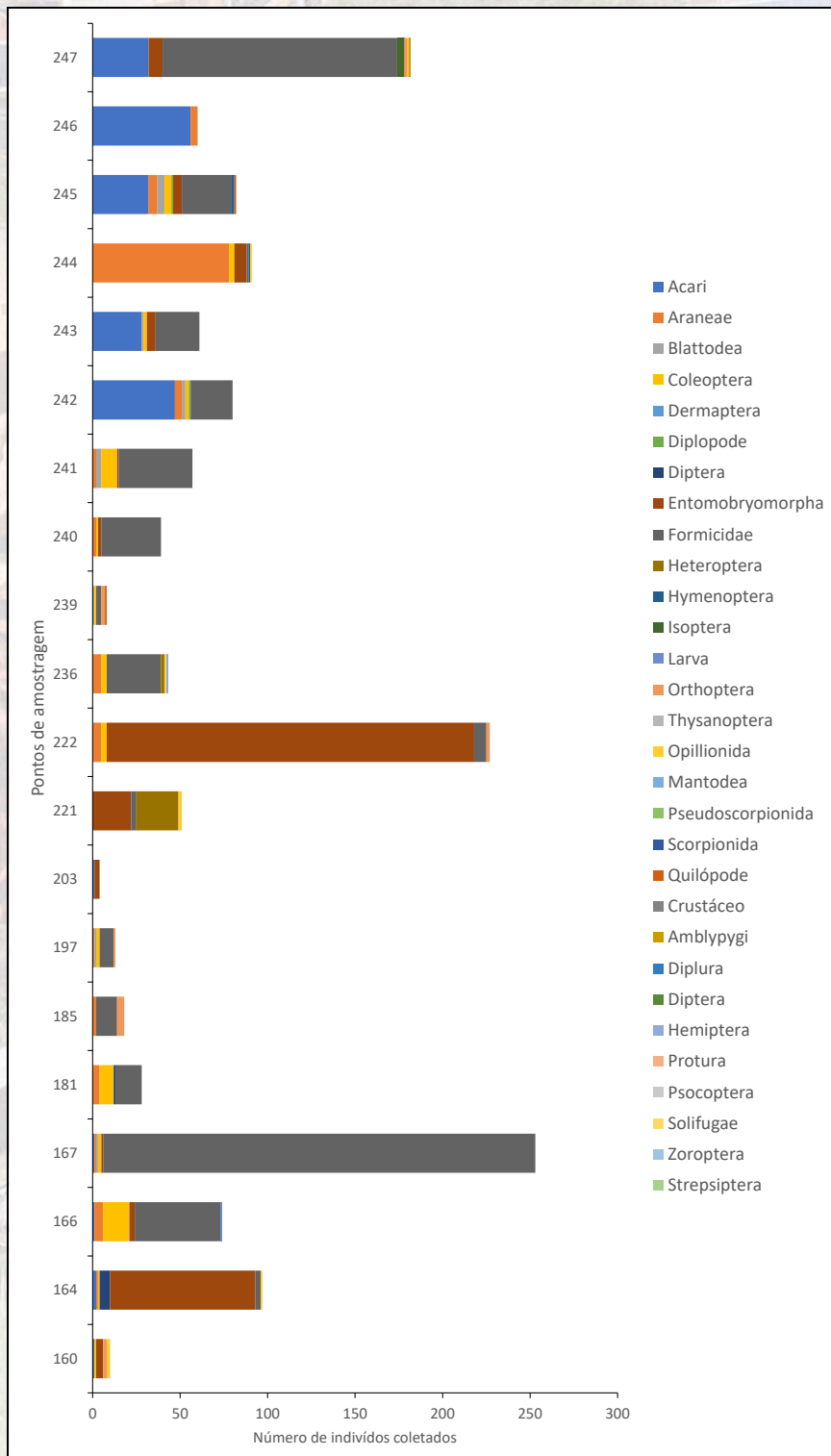
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 6 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 80, 81, 83, 84, 98, 99, 106, 110, 112, 117, 119, 123, 131, 132, 136, 139, 141, 148, 149 e 158 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 7 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 160, 164, 166, 167, 181, 185, 197, 203, 221, 222, 236, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246 e 247 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 8 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266 e 267 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil

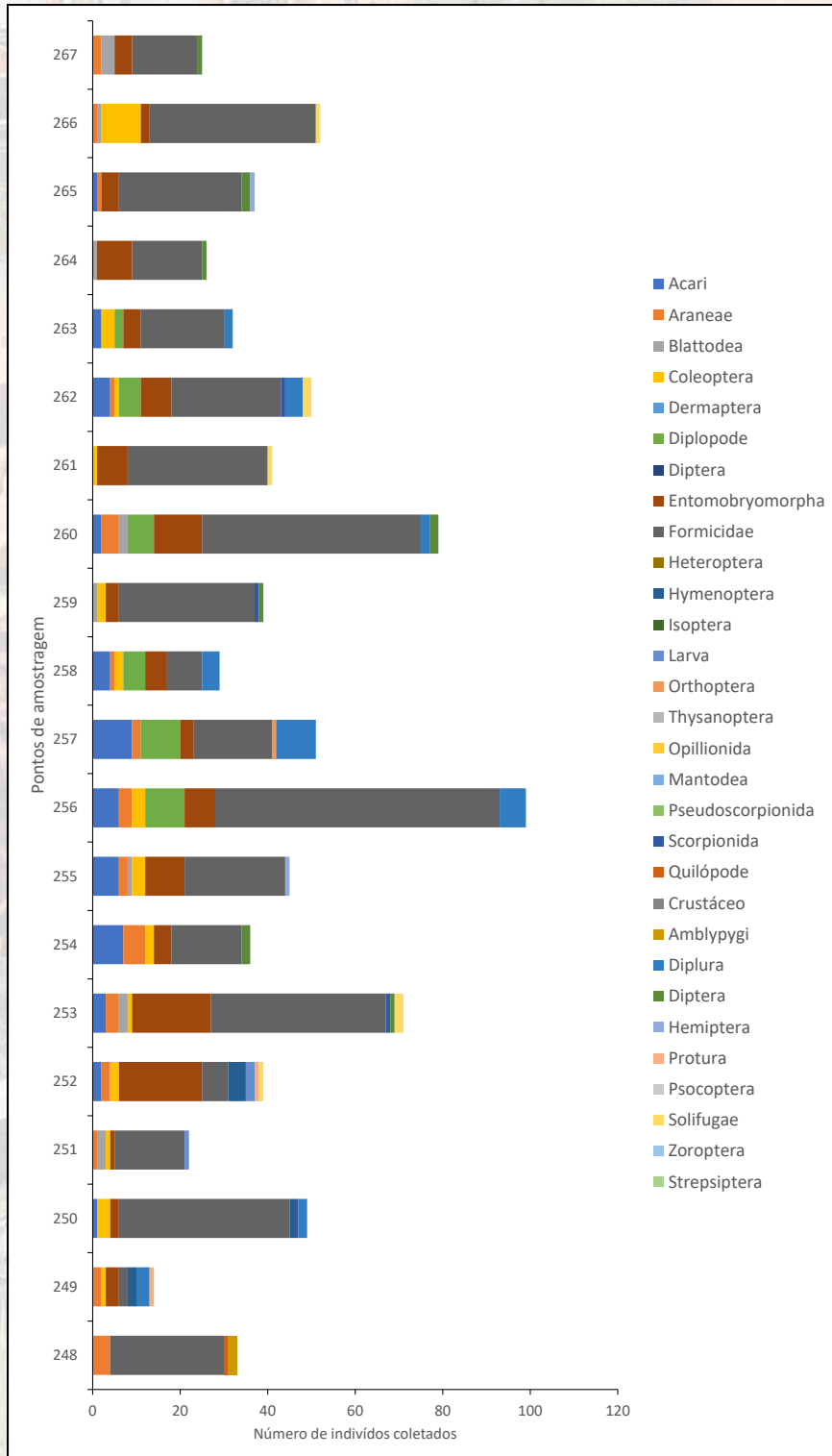
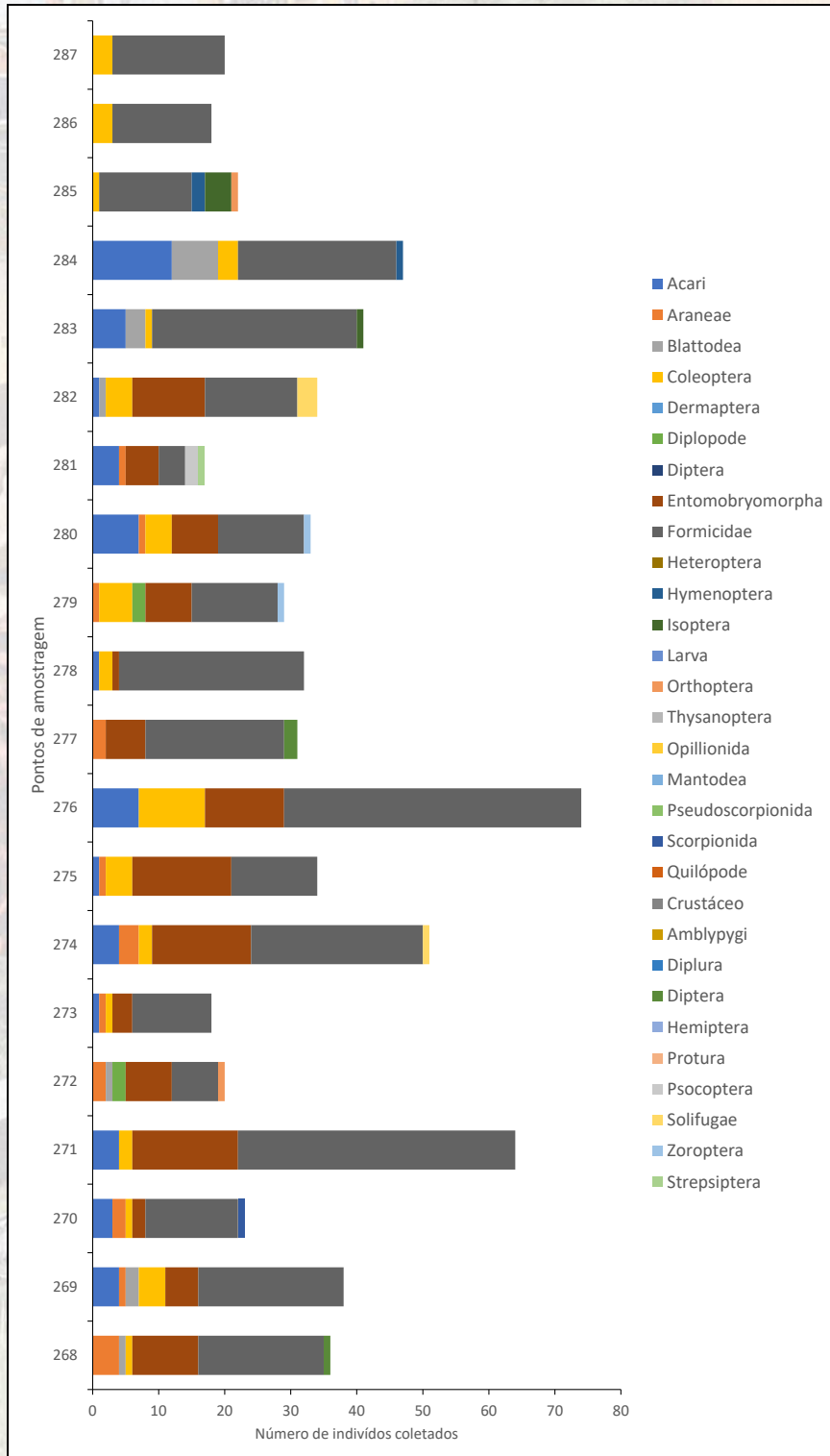
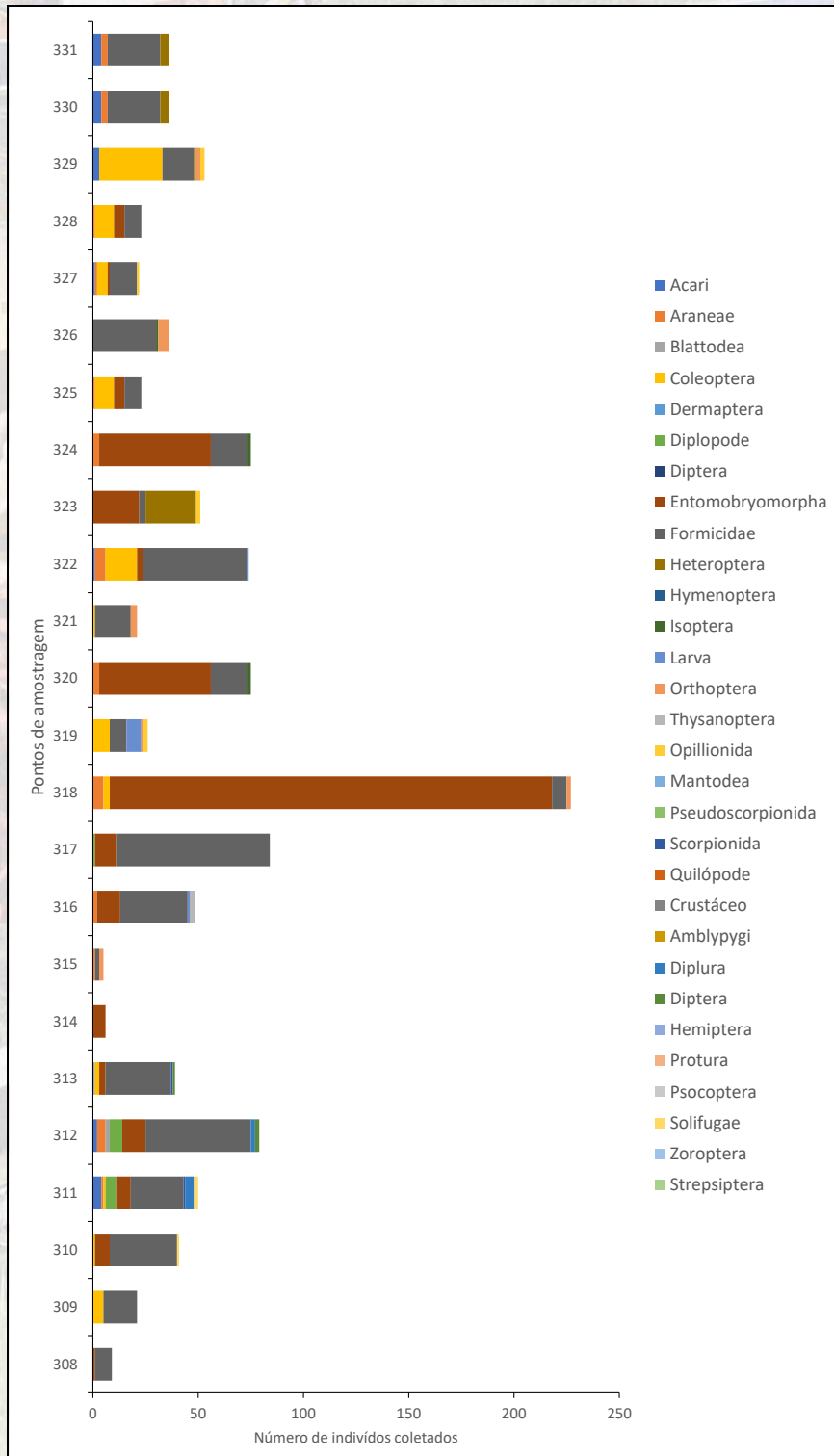


Gráfico 9 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286 e 287 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 11 – Grupos taxonômicos identificados nas amostras 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330 e 331 no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

6 CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A matéria orgânica do solo é definida como todo derivado dos materiais vegetais e animais agregados ao solo ou posicionados sobre sua superfície, na forma viva ou nos vários níveis de decomposição, excluindo-se a parte aérea das plantas (LAL, 2005). Segundo Six e outros (2002), a matéria orgânica do solo representa a principal fonte de energia e nutrientes para a atividade microbiana. Desse modo as atividades como a respiração microbiana do solo ou evolução de dióxido de carbono (CO₂) estão intrinsicamente relacionadas ao teor e à qualidade do carbono orgânico do solo, conseqüentemente refletirá na própria diversidade biológica.

Por estar fortemente correlacionado a diversas funções essenciais e as propriedades e processos do solo, a matéria orgânica do solo constitui um excelente indicador de qualidade de solo (MARTINEZ-SALGADO *et al.*, 2010), exercendo influência sobre propriedades biológicas, físicas e químicas do solo (COSTA *et al.*, 2013).

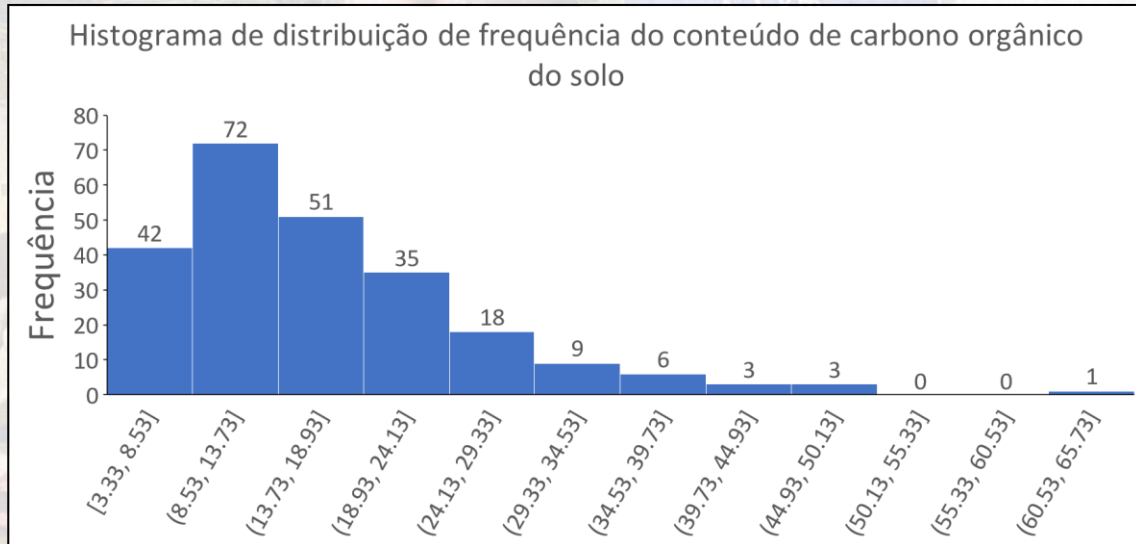
As propriedades físicas influenciadas são grau de agregação de solo, grau de aeração, umidade, infiltração, intensidade de cor, conseqüentemente a temperatura do solo (BRADY; WEIL, 2013). Estas propriedades aumentam quanto maior for o conteúdo de carbono orgânico do solo. Inversamente proporcional ao teor de carbono orgânico têm-se as menores taxas de escoamento superficial, resultando na diminuição de erosão (PANIVATO *et al.*, 2017). A melhora na capacidade de troca catiônica, desenvolvimento de cargas negativas no solo, aumento na disponibilidade de elementos inorgânicos importantes para nutrição das plantas, aumento da absorção de íons, no número das raízes, conteúdo de clorofila são propriedades químicas afetadas pela matéria orgânica no solo (SILVA, 2003).

Quanto às propriedades biológicas, podem ser citadas as medidas de abundância de diferentes organismos do solo (minhocas, nematoides, térmitas, formigas, actinomicetes etc.), a biomassa microbiana, atividade enzimática, entre outros (PRADO *et al.*, 2015). Entre estas funções, por exemplo, a MOS é a fonte primordial de carbono (C - SOMBROEK *et al.*, 1993). É o maior depósito de C na superfície terrestre, estimado em três a quatro vezes maior que o C atmosférico (BATJES, 1996; STOCKMANN *et al.*, 2013).

É importante ressaltar que a fauna invertebrada e as raízes contribuem também para emissão de CO₂ desse componente do ecossistema, tonando-se assim um importante regulador de processos globais, atuando nas trocas gasosas e fluxos de nutrientes nos sistemas solo-vegetação-atmosfera. (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

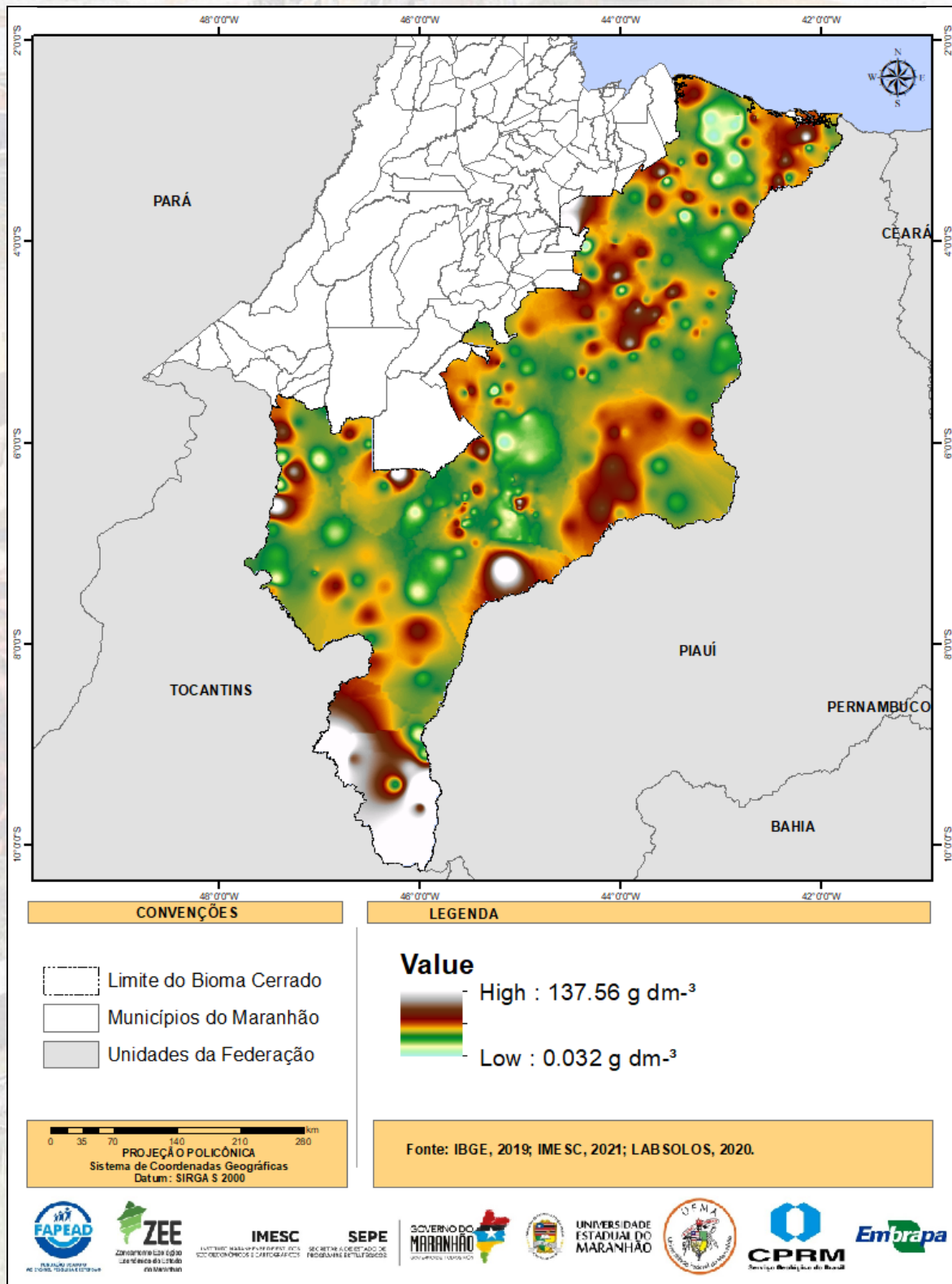
A distribuição espacial do carbono orgânico do solo é descrita pelo Gráfico 12 e Mapa 5, por meio do histograma de distribuição de frequência e o mapa de variabilidade espacial do conteúdo de carbono orgânico do solo (SOC).

Gráfico 12 – Histograma de distribuição de frequência para o conteúdo de carbono orgânico do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão



Fonte: Registro da Pesquisa.

Mapa 5 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de carbono orgânico no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Verifica-se que os maiores valores de carbono orgânico estão alocados no extremo Sul do Estado do Maranhão, havendo manchas de variabilidade espacial de carbono orgânico dispostos principalmente na zona de transição entre o Bioma Cerrado e Amazônia, destacando a importância da conservação destes ecótonos. De todo o conteúdo de carbono orgânico do solo, cerca de 58% se encontram estocados no solo na forma de carbono orgânico do solo, havendo um maior conteúdo de SOC nas camadas superficiais diminuindo em profundidade (NELSON; SOMMER, 1996). Por outra parte, Dixon e outros (1994) descrevem que nos ecossistemas florestais cerca de 40% do carbono estão armazenados no solo, representando assim uma quantidade de carbono estocada superior à presente na atmosfera (LAL, 2004).

Desta maneira, na perspectiva das mudanças climáticas, a manutenção de valores ótimos de carbono orgânico do solo é fundamental para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. É importante destacar que os menores valores do conteúdo de carbono orgânico do solo estão alocados na porção central e no Bioma Costeiro do Estado do Maranhão, indicando que nestas regiões deve haver um maior cuidado e atenção com o uso e ocupação do solo, pois de maneira geral representam as regiões com maior fragilidade ambiental no tocante a conteúdo de carbono orgânico do solo.

Os mapas de variabilidade espacial da riqueza de organismos da fauna invertebrada (Mapa 4) e o mapa de variabilidade espacial do SOC (Mapa 5) possuem determinada relação espacial, sendo que as regiões com maior conteúdo de carbono orgânico correspondem às regiões do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro com maior riqueza de organismos da fauna do solo. Nesse sentido, o manejo do solo considerando estes fatores individualmente não corroboram para o planejamento adequado das ações de uso e ocupação, bem como da delimitação de área prioritárias para conservação.

Por outra perspectiva, é importante destacar que a abundância de organismos não apresentou comportamento espacial correlacionado ao conteúdo de carbono orgânico, no entanto, cabe salientar que abundância não é sinônimo de riqueza de grupos taxonômicos, e em muitos casos pode refletir desequilíbrio ambiental ou áreas com indicativo de que ações humanas estão afetando a diversidade da fauna invertebrada do solo.

O Mapa 6 e o Gráfico 13 apresentam o mapa de variabilidade espacial e o histograma de distribuição de frequência do pH, respectivamente. Com relação ao pH o mapa indica que a região extremo Sul do Maranhão, a região Centro Maranhense e parte do Bioma Costeiro apresentam os menores valores de pH, e, conseqüentemente, indica que estas áreas possuem sérios problemas com acidez do solo.

O pH ou potencial hidrogeniônico é a medida do grau de acidez de uma solução, e é determinado pela concentração de íons H^+ . O pH varia de 0 (mais ácido) a 14 (mais básico),

apresentando neutralidade para valores iguais a 7. Dessa maneira, sempre que o solo apresentar pH inferior a 7,0 será considerado de caráter ácido (KAMINSKI, 2007) o que irá influenciar a disponibilidade de nutrientes (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Segundo Moreira e Siqueira (2016), a maioria dos solos tem pH entre 4,0 e 8,5. Os horizontes de solos em climas mais úmidos são geralmente ácidos devido à lixiviação de bases e decomposição da serrapilheira. Já os solos de regiões mais secas e ou semiáridas tendem a ser geralmente mais alcalinos. Veloso e outros (1992) afirmaram que os solos ácidos geralmente apresentam alumínio e manganês em nível tóxicos, além de deficiências de cálcio, magnésio e fósforo, porém Kaminski, (2007) ressalta que usar o conceito de ácido diretamente para solos pode não ser suficientemente adequado, tendo em vista o significado do valor do pH sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas e para sua microbiota.

A maioria das plantas prefere solos levemente ácidos porque as concentrações altas de H⁺ deslocam das partículas de solo os minerais carregados positivamente, tornando-os mais disponíveis para absorção (REECE *et al.*, 2015). Quando o pH é ligeiramente alcalino ou tendendo a alcalino, o desenvolvimento das plantas pode ser prejudicado devido à baixa disponibilidade do fósforo e/ou dos micronutrientes como ferro, manganês, cobre e zinco (CHAVES *et al.*, 1998).

A diversidade e a funcionalidade microbiana dos solos são descritas como fortemente relacionada aos valores de pH (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Os fungos, em sua maioria, estão mais adaptados a condições de pH mais ácido (acidófilos), apresentando melhor desenvolvimento em solos com valores de pH menores que 5,0 (LEITE, 2007). A maioria das bactérias tem um pH ótimo próximo da neutralidade ou ligeiramente alcalino (6,8 - 7,5 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Diante disso, pode-se observar que, com relação à variabilidade espacial do potencial hidrogeniônico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Mapa 6), o pH está abaixo de 5,0 em grande parte. O município Alto do Parnaíba e o sul do município de Balsas apresentam solo com acidez bastante elevada. O norte da cidade de Fernando Falcão, região central de Barra do Corda, nordeste de Chapadinha, grande parte de Coroatá e Alto alegre do Maranhão e região dos Lençóis Maranhenses apresentaram pH extremamente ácidos. Estes valores podem estar relacionados, dentre vários fatores, ao clima e ao tipo de solo que são bem ou excessivamente drenados e apresentam alto grau de lixiviação.

É possível realizar a correção de pH do solo, e segundo Reece e outros (2015), se o solo for demasiadamente alcalino, a adição de sulfato ou de matéria orgânica diminuirá o pH, por outra parte, solo demasiadamente ácido pode ser corrigido por um processo chamado de calagem em que ocorre a adição de calcário ou gesso agrícola. Nesse sentido, é essencial manter o pH em uma faixa que

promova um bom desenvolvimento da microbiota do solo, para que dessa forma, estes seres possam realizar o seu papel na mobilização de nutrientes, havendo sua melhor aplicação em agricultura, beneficiando as plantas cultivadas e o sistema produtivo como um todo (MOREIRA, 2008).

Mapa 6 – Mapa de variabilidade espacial do pH (CaCl₂) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil

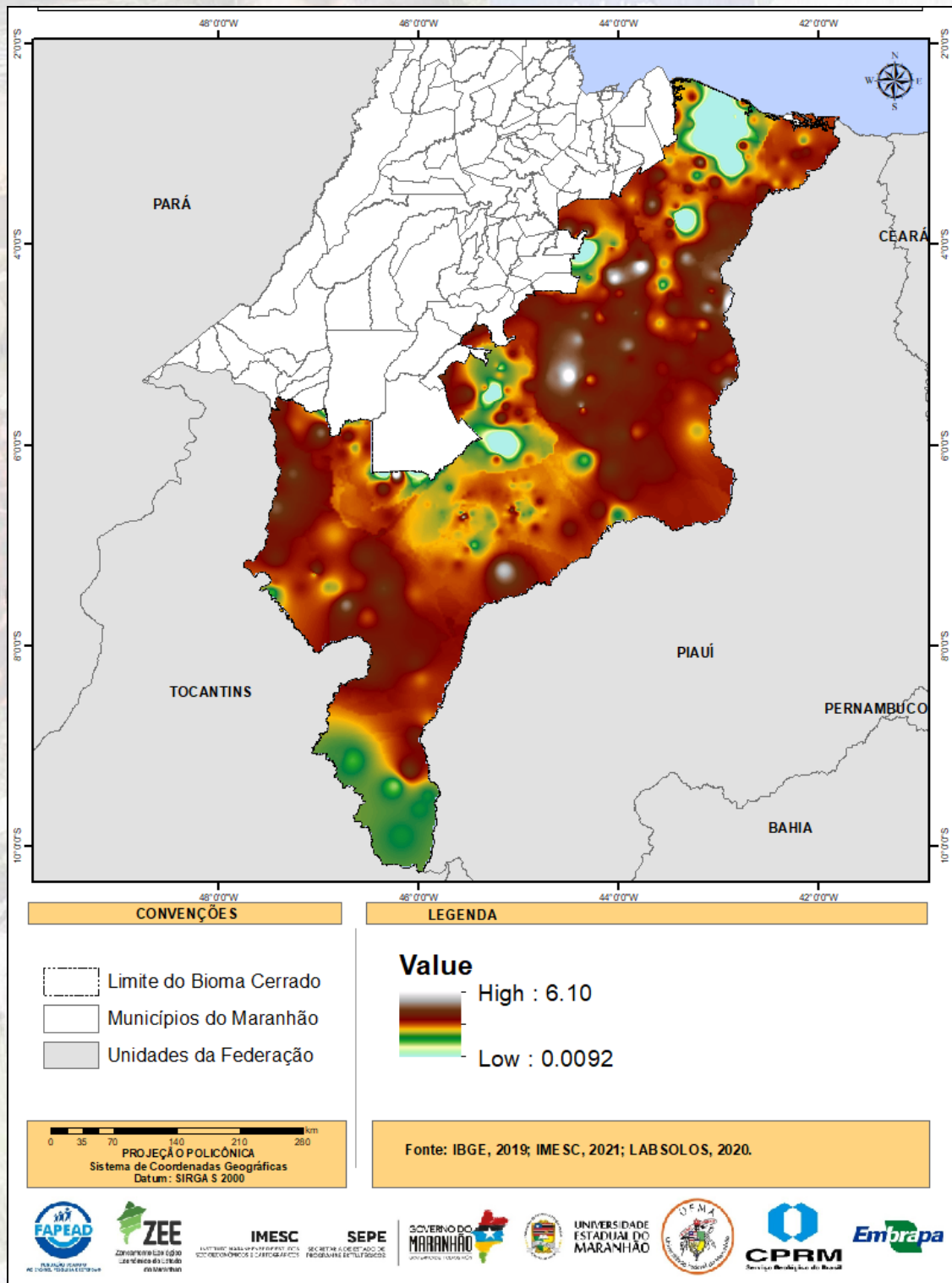
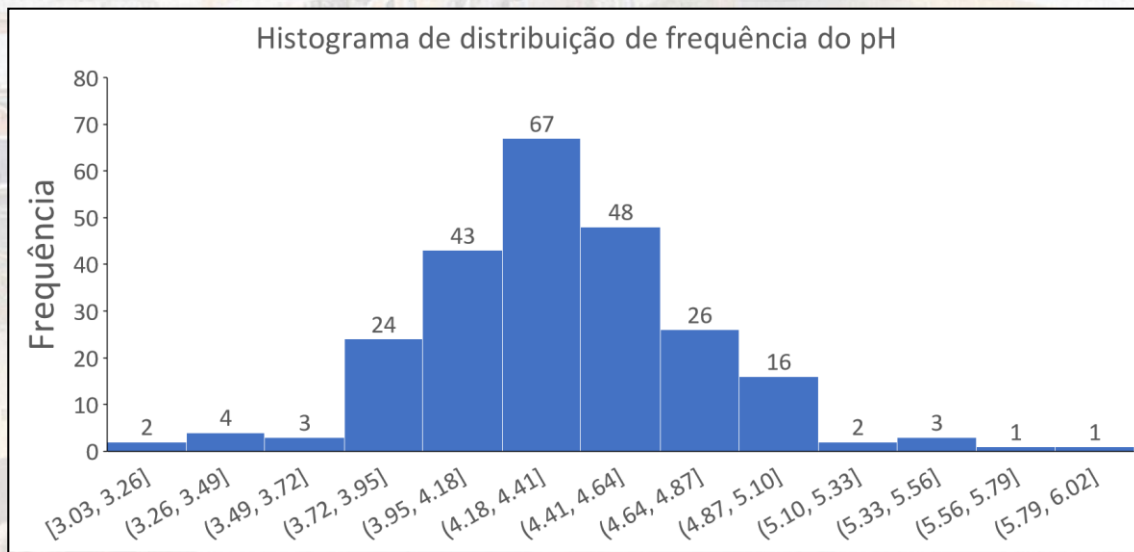


Gráfico 13 – Histograma de distribuição de frequência do pH (CaCl₂) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



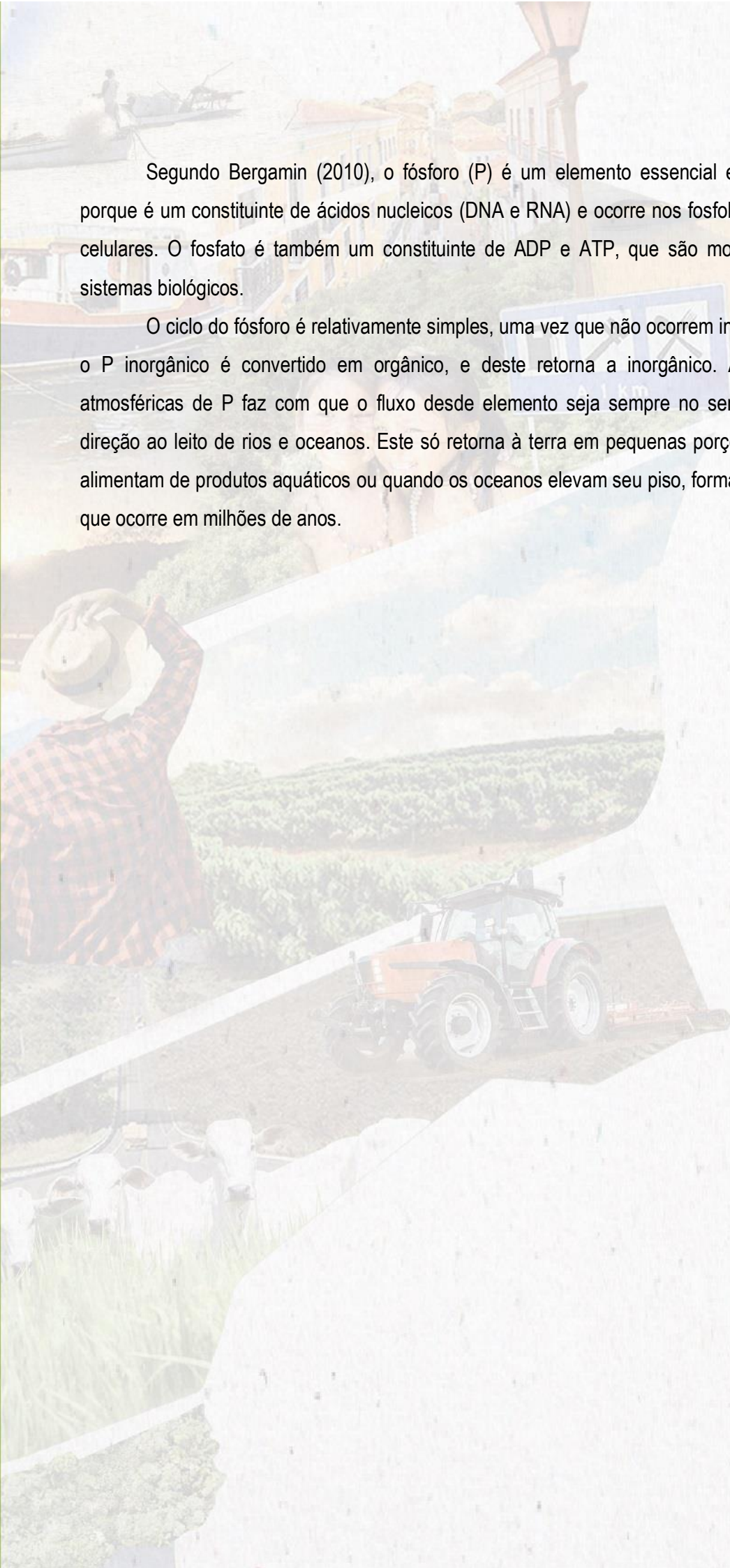
Fonte: Registro da Pesquisa.

O mapa do pH (Mapa 6) demonstra que a supressão vegetal no processo de uso e ocupação do solo das áreas com maior acidez deve ser realizada com cuidado, sobretudo para os sistemas de produção agrícola e pecuária, pois são solos que necessitam mais atenção agrônômica e seu uso indevido pode levar a sérios problemas de degradação ambiental. Nesse sentido, é importante destacar que no extremo Sul do Estado Maranhão está localizado o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, que tem sofrido enorme pressão pelo avanço da agricultura nesta região, e por isso as ações governamentais devem considerar as informações apresentadas neste relatório a fim de que a ocupação do solo seja realizada considerando suas características naturais, e níveis adequados de tecnologia, senão sérios problemas ambientais podem ocorrer. A elevada acidez no Bioma Costeiro está relatada na região do município de Santo Amaro, que possui solos arenosos e margeando o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, demonstrando assim, outra região com elevada fragilidade e que a ocupação desordenada do solo pode comprometer o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, pois se trata de uma zona de amortecimento.

O Mapa 7 apresenta o mapa de variabilidade espacial para o conteúdo de fósforo (P) e o Gráfico 14 apresenta o histograma de distribuição de frequência do P no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil. O fósforo naturalmente é bastante escasso na natureza, e representa um macronutriente essencial para o desenvolvimento vegetal, e por isso, a ocupação pela agricultura e pecuária no Estado do Maranhão deve considerar as potencialidades locais do ambiente com relação a este nutriente. É importante salientar que as regiões com maior conteúdo de fósforo estão associadas à divisa com Estado do Piauí, e por conseguinte com a bacia do Rio Parnaíba.

Segundo Bergamin (2010), o fósforo (P) é um elemento essencial em sistemas biológicos porque é um constituinte de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e ocorre nos fosfolipídios das membranas celulares. O fosfato é também um constituinte de ADP e ATP, que são moléculas de energia em sistemas biológicos.

O ciclo do fósforo é relativamente simples, uma vez que não ocorrem intermediários gasosos e o P inorgânico é convertido em orgânico, e deste retorna a inorgânico. A ausência de formas atmosféricas de P faz com que o fluxo desse elemento seja sempre no sentido do continente em direção ao leito de rios e oceanos. Este só retorna à terra em pequenas porções quando animais se alimentam de produtos aquáticos ou quando os oceanos elevam seu piso, formando porções de terra o que ocorre em milhões de anos.



Mapa 7 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de fósforo (P) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil

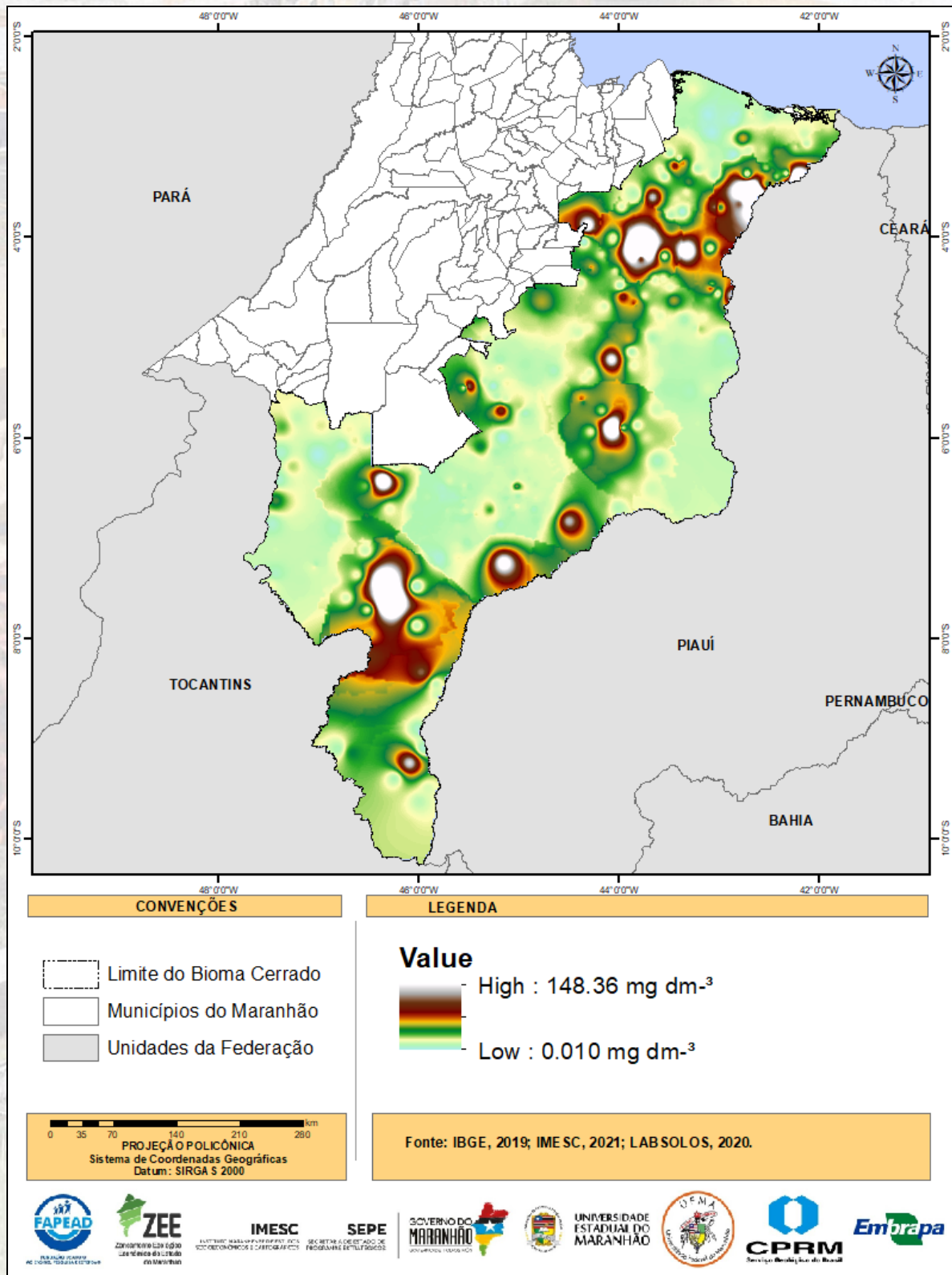
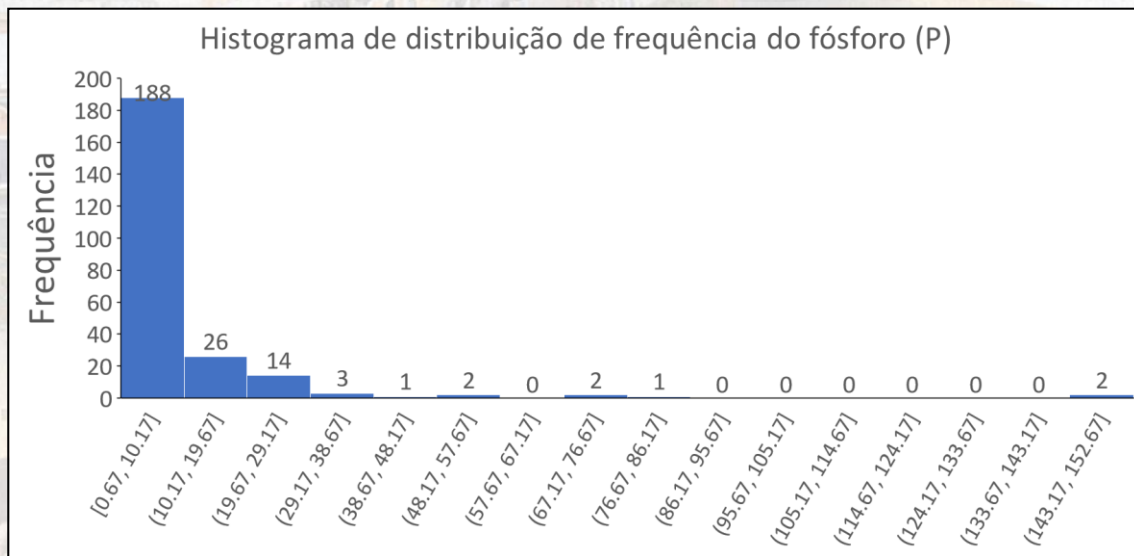


Gráfico 14 – Histograma de distribuição de frequência do fósforo (P) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

A maior fonte de fósforo não vem da atividade microbiana, como acontece com outros elementos e sim de fontes minerais que sofrem intemperismo. Fungos e substâncias liberadas pelas raízes das plantas podem acelerar este processo em ecossistemas terrestres. O P sempre foi extremamente importante para a produção agrícola devido sua importância na formação de compostos presentes nos seres vivos. Fontes artificiais de P são introduzidas nesses sistemas a fim de suprir as necessidades do sistema. O ciclo global de P é peculiar entre os grandes ciclos biogeoquímicos, uma vez que esse elemento não produz, em nenhum momento, qualquer substância volátil em quantidades relevantes. O potencial redutor da maioria dos solos não permite a formação do gás fosfina (PH_3). O fluxo de P na poeira na atmosfera também é insignificante em termos de ciclo global, apesar de esse processo ser bastante importante para a manutenção de ecossistemas florestais e atividade planctônica em oceano aberto (NOGUEIRA, 2020).

Ao contrário do que acontece com o nitrogênio, a maior fonte global de P, nos ecossistemas naturais, não vem da atividade microbiana. A quase totalidade do P nesses ecossistemas é derivada do intemperismo de minerais à base de fosfato de cálcio, dentre os quais a apatita tem lugar de destaque. Substâncias liberadas pelas raízes das plantas e pelos fungos associados a essas raízes podem acelerar o intemperismo em ecossistemas terrestres, mas não existe, no ciclo do fósforo, nenhum processo biológico equivalente à fixação biológica de nitrogênio capaz de produzir aumentos substanciais de fósforo em habitats carentes desse elemento.

O conteúdo de fósforo na maioria das rochas é muito baixo e, na maioria dos solos, apenas uma fração do fósforo total está disponível para a biota. Assim, tanto na terra quanto no mar, a biota

persiste nos ecossistemas naturais através de um eficiente processo de reciclagem de fósforo a partir de suas formas orgânicas. Essa reciclagem biogeoquímica pode reter temporariamente e reciclar parte do fósforo do processo irrefreável de fluxo de P das rochas intemperizadas para o sedimento oceânico (JUHOS, 2016).

O maior fluxo anual do ciclo de fósforo é o exercido pelo transporte fluvial. Os rios transportam para os oceanos aproximadamente 21 milhões de toneladas por ano. Apenas cerca de 10% desse aporte fluvial vai ficar disponível para o uso da biota marinha, o restante está ligado a partículas de solo que são pesadas e se sedimentam rapidamente logo que chegam ao mar. Do material que chega solubilizado, grande parte está na forma de fosfato (PO_4^{3-}) que possui baixa solubilidade no ambiente alcalino do oceano (ADUAN, 2004).

A reciclagem de fósforo orgânico no oceano é bastante eficiente: aproximadamente 90% do fósforo absorvido pela biota é reciclado no oceano superficial. O resto é mineralizado no oceano profundo, que contém o maior estoque desse elemento na crosta terrestre, com aproximadamente 4×10^{21} g P ou quatro quatrilhões de toneladas. O ciclo global de P somente se completa no tempo geológico, quando os processos tectônicos da crosta terrestre ressuspendem as rochas sedimentares oceânicas para acima do nível do mar onde estas podem ser novamente intemperizadas, recomeçando o ciclo.

Artoli (2019) relata que, em sistemas agrônômicos, o fósforo sempre foi significativamente limitante da produção. Além disso, dada a sua grande importância nos processos fisiológicos de todos os seres vivos, a ingestão de alimentos ricos em fósforo é fator primordial na dieta de uma população. Assim, na grande maioria dos solos e, praticamente, em todos os sistemas de produção modernos, não se pode contar apenas com o fósforo disponível naturalmente no solo que acaba se exaurindo ao longo dos sucessivos cultivos, mediante exportação de produtos. Nas áreas agrícolas, os humanos, em geral, aumentam a quantidade de P disponível pela aplicação de rochas fosfatadas, tratadas ou apenas moídas que são usadas como fertilizante

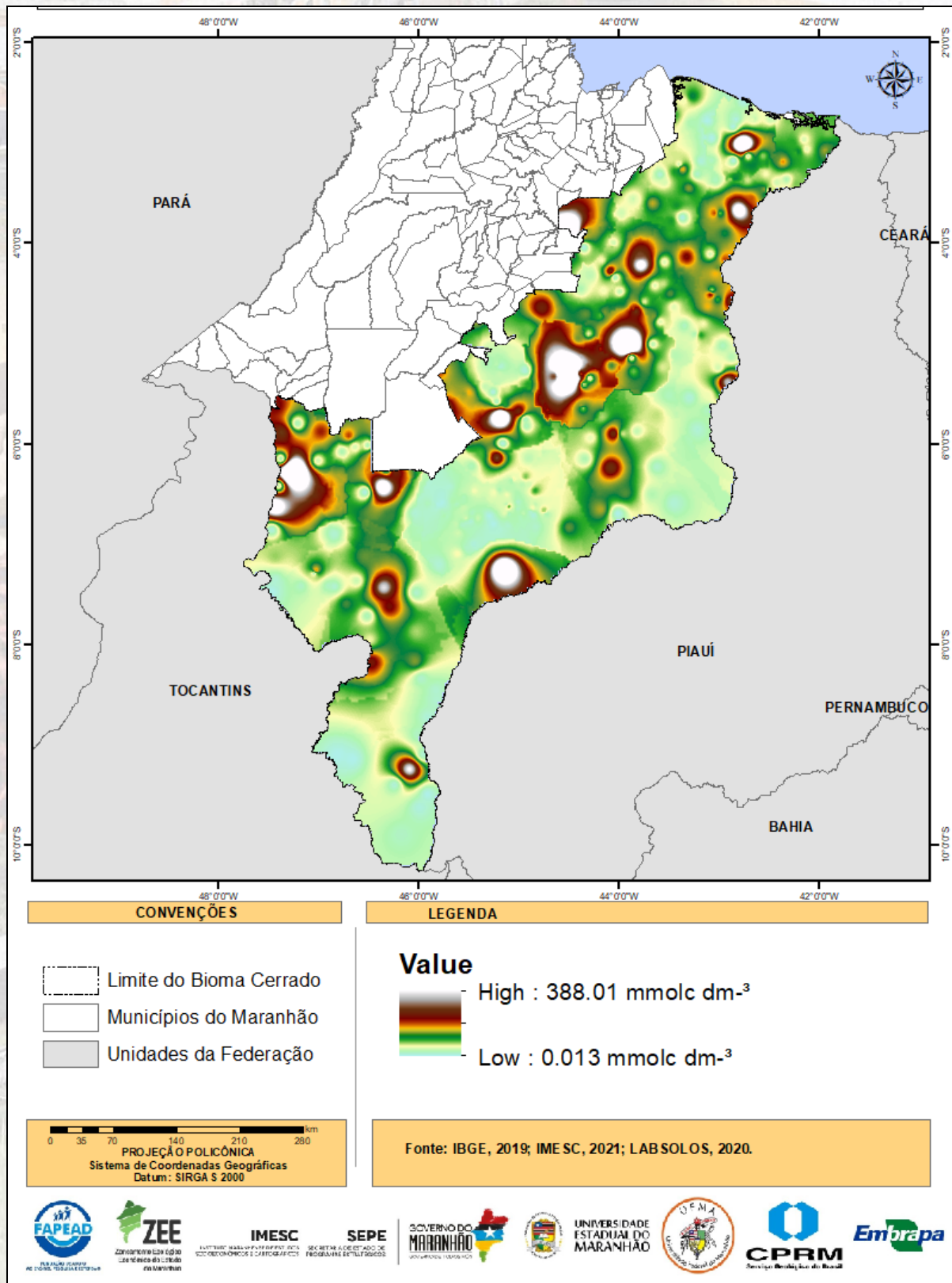
A atividade de mineração retira atualmente cerca de doze milhões de toneladas por ano. Do total de P utilizado atualmente na atividade agroindustrial, cerca de 85% vêm de rochas sedimentares, 15% de rochas ígneas ou metamórficas (BENAZZI, 2013). O elevado uso das rochas sedimentares sugere que a atividade humana, nos últimos séculos, tem acelerado o ciclo global de fósforo. Em muitas bacias hidrográficas, o fluxo de P pelos rios é atualmente bem mais elevado que na Pré-História, consequência do aumento da poluição, carreamento de fertilizantes e aceleração do processo de erosão. A única etapa do ciclo não acelerada pela ação humana é a de disponibilização do fósforo nos continentes (ADUAN 2004).

As reservas mundiais de fósforo em rochas continentais estão estimadas em 10×10^{15} g P e as rochas fosfatadas, no entanto, são muito mal distribuídas dentro do globo, estando concentradas em pequenas regiões dos Estados Unidos, Norte da África (principalmente Marrocos e Argélia), China, Rússia e Oriente Médio. A extração do fósforo de rochas é também cada vez mais cara, uma vez que as rochas estão sendo encontradas em profundidades cada vez maiores e em quantidades relativas de fósforo cada vez mais baixas. Estima-se que as reservas de fósforo, cuja exploração econômica é atualmente viável, possam suprir a atividade agroindustrial e a população humana em crescimento por um período de 60 a 250 anos. Se no processo natural de carreamento de fósforo (rocha/vegetação/rio/oceano/sedimento), a reciclagem a partir de formas orgânicas é surpreendentemente eficiente, no processo humano (rocha/indústria/sistema agrícola/centro urbano/sistema sanitário) a reutilização do fósforo é muito baixa. Do aumento da eficiência dessa reciclagem e da diminuição das perdas de fósforo pelo processo de erosão do solo pode depender a qualidade de vida e a segurança alimentar de gerações humanas não muito distantes da nossa.

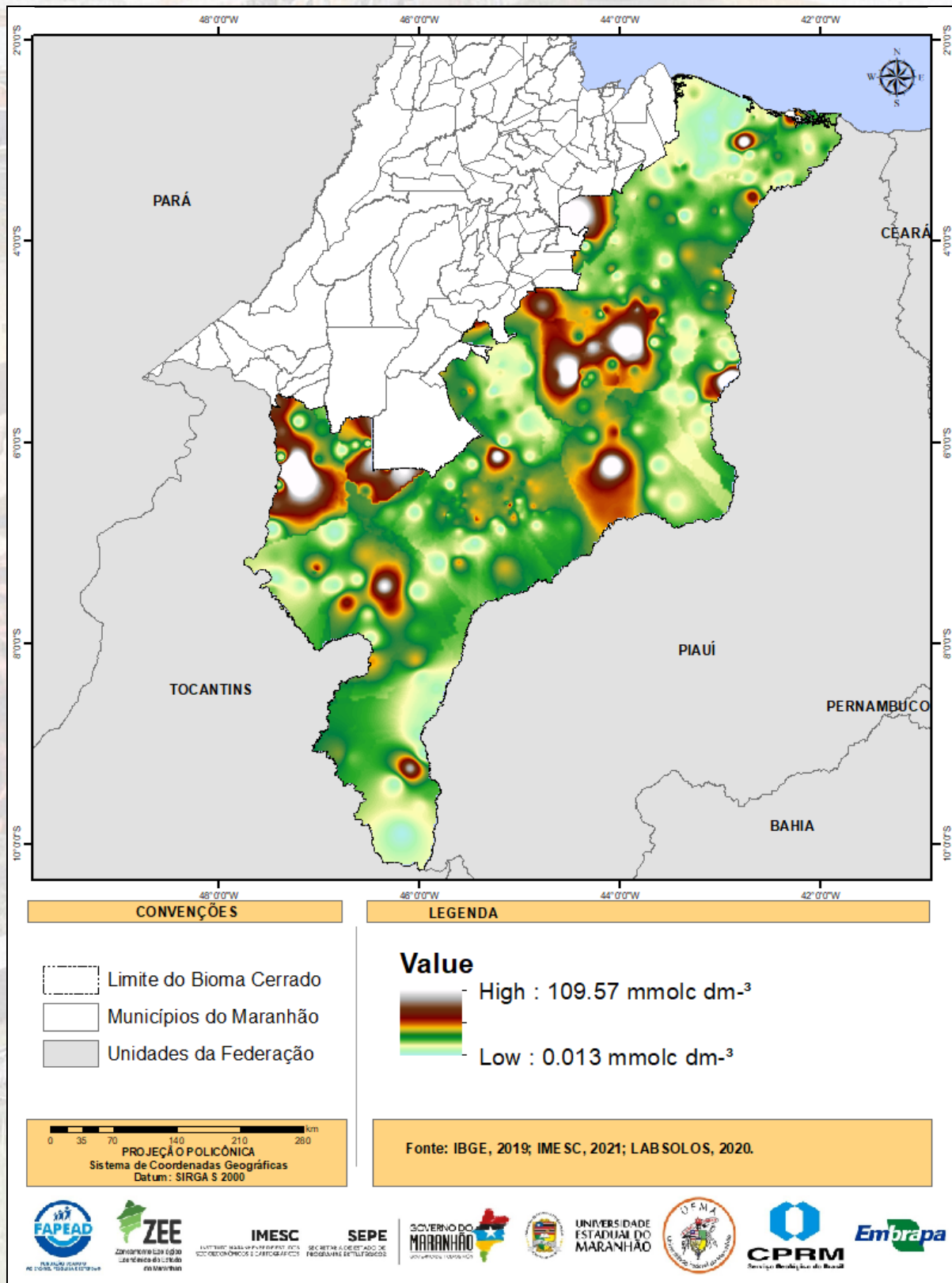
A disponibilidade do elemento fósforo (P) controla muitos aspectos do funcionamento dos ecossistemas em escala local e a química global. O fósforo, em tecidos vivos, é um componente essencial da molécula de DNA, ATP e de todos os fosfolipídios de membrana. Assim, o fósforo é condição indispensável para a presença e a manutenção da vida em qualquer ecossistema.

Os Mapas 8, 9 e 10 apresentam, respectivamente, os mapas de variabilidade espacial para o conteúdo de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , e os Gráficos 15, 16 e 17 apresentam os histogramas de distribuição de frequência do conteúdo de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

Mapa 8 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cálcio (Ca²⁺) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Mapa 9 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de magnésio (Mg²⁺) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Mapa 10 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de potássio (K⁺) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil

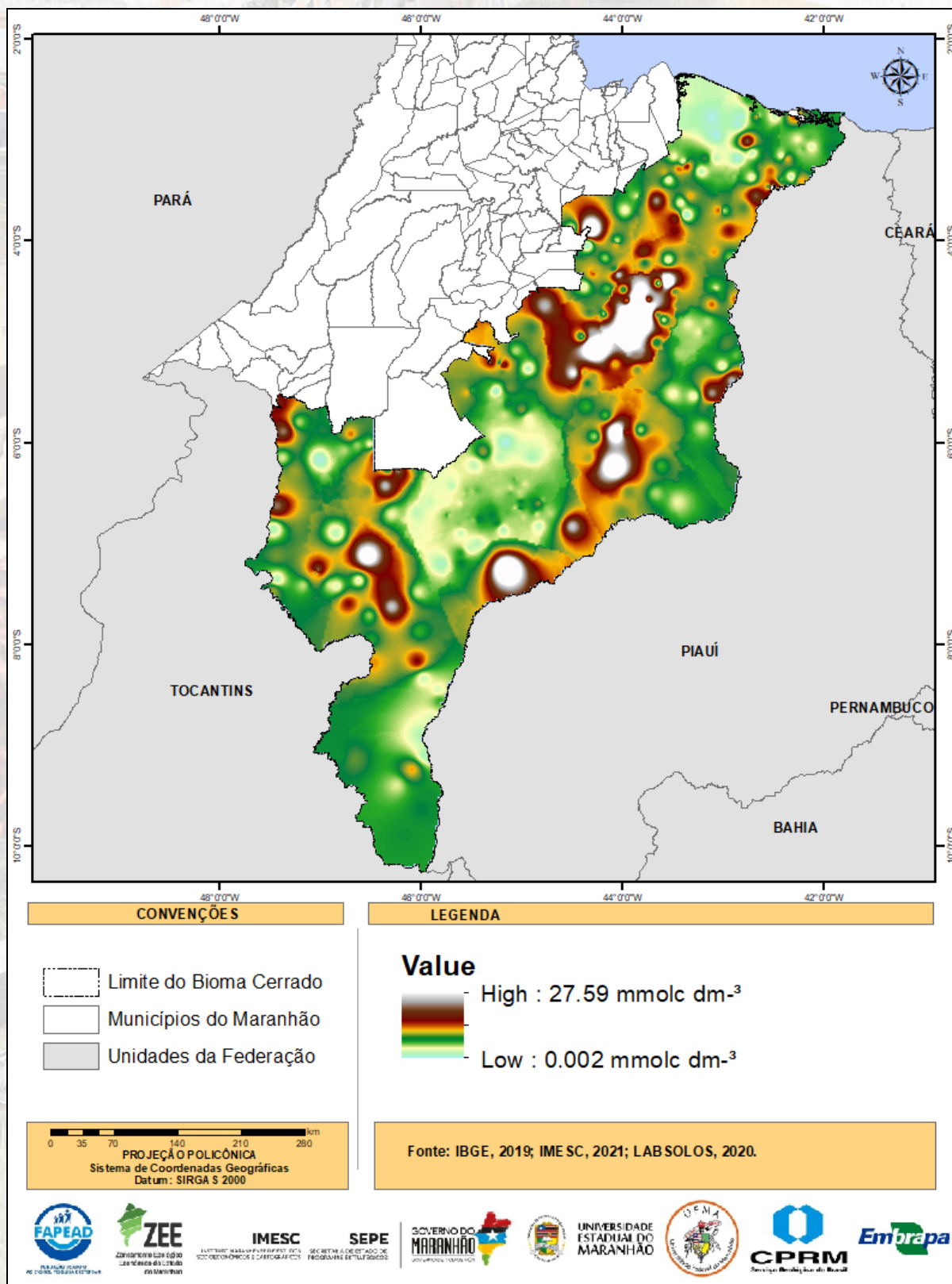
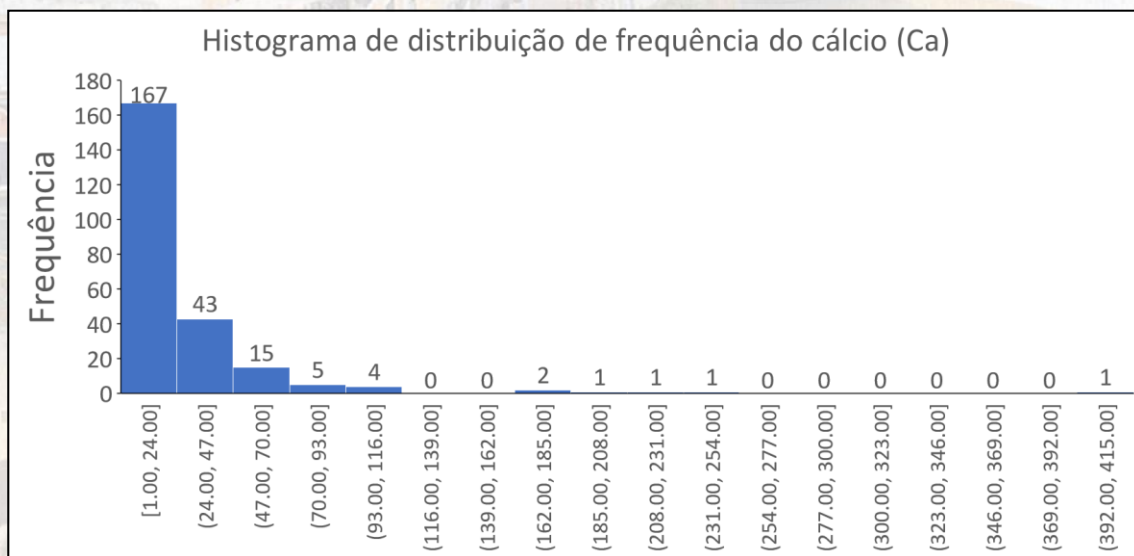
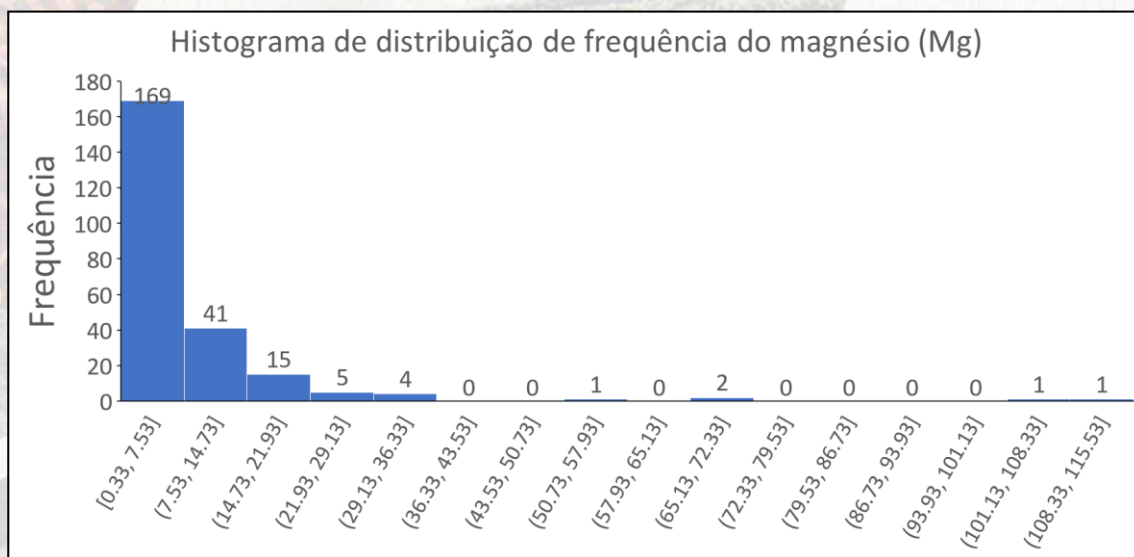


Gráfico 15 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de cálcio (Ca^{2+}) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



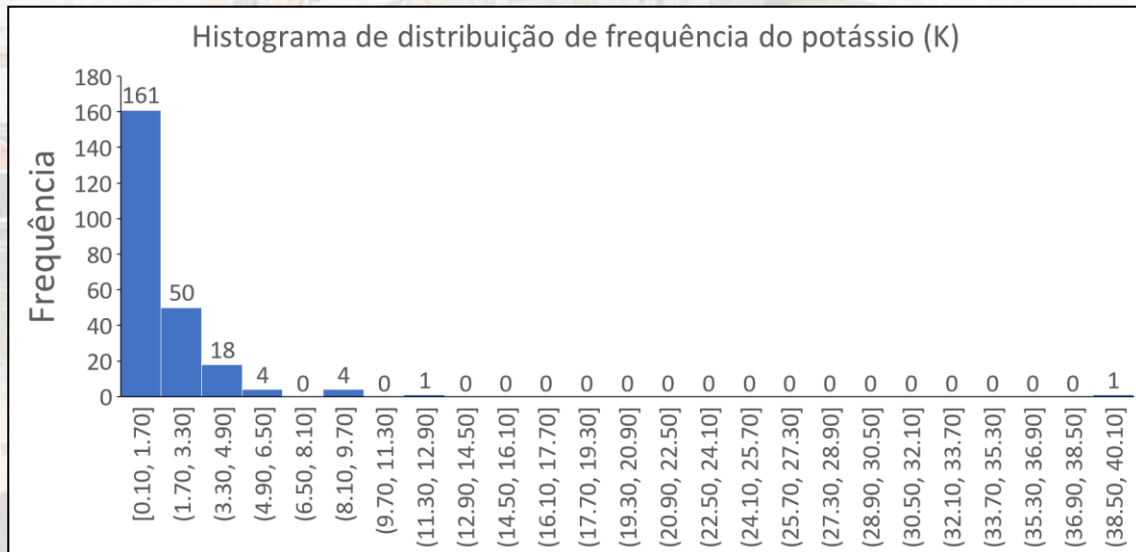
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 16 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de magnésio (Mg^{2+}) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 17 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de potássio (K^+) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

Os mapas de variabilidade espacial dos cátions do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) demonstram que existe relação na distribuição das linhas de contorno em agrupamentos: o agrupamento 1 refere-se ao conteúdo de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ que apresentam distribuição comum, com maiores valores margeando a porção superior da Região Sul Maranhense, partindo de Campestre do Maranhão até São Felix de Balsas; o segundo agrupamento (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) demonstra que os maiores conteúdos destes cátions está associado a região Centro Maranhense e Leste Maranhense.

O comportamento espacial do conteúdo de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ é reflexo em parte do material de origem dos solos das regiões com maior ou menor concentração de elementos, uma vez que estes elementos químicos estão associados principalmente a regiões com rochas sedimentares.

São variados os efeitos do Ca^{2+} na produtividade do solo, atuando como moderador da ação dos hormônios vegetais, regulando a germinação e o crescimento; e também está relacionado com o geotropismo, fotossíntese e processos de divisão celular, entre outras funções, como aumento no turgor, expandindo o limbo foliar.

Ilze (2013) ressalta que o cálcio participa de funções enzimáticas em processos de transferência do fosfato como, por exemplo, a enzima fosfolipase, constituinte de pectatos, que são depositados na lamela média, dando resistência às paredes celulares. Constituinte ou ativador de várias enzimas como alfa amilase e nucleases, o cálcio atua também na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico. Auxilia na disponibilidade de molibdênio e de outros micronutrientes e no solo; reduz a acidez do solo e diminui a toxidez do alumínio, cobre e manganês. As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo.

O cálcio é responsável pela estabilidade estrutural e fisiológica dos tecidos das plantas. Juntamente com outras substâncias, ele regula os processos de permeabilidade das células e tecidos; também tem função de ativador enzimático. O cálcio forma fitatos e pectatos, que o torna importante na manutenção da integridade da parede celular. O cálcio promove a redução da acidez do solo, melhora o crescimento das raízes, aumenta a atividade microbiana e a disponibilidade de nutrientes. Além disso, diminui a toxidez do alumínio (Al), cobre (Cu) e manganês (Mn). Plantas que apresentam altos teores de cálcio resistem melhor a toxidez desses elementos (DE HOLANDA, 2017).

O indicador da disponibilidade de cálcio nos solos é o Ca-trocável, e apesar dos teores de Ca^{2+} da grande maioria dos solos brasileiros serem considerados baixos, ele não tem sido um problema para a agricultura brasileira.

Portilho (2011) menciona o cálcio como um elemento pouco móvel na planta, por isso os sintomas de deficiência aparecem nas folhas jovens. Essas folhas normalmente são menores do que as normais; elas possuem superfície entre as nervuras cloróticas, pintas necróticas e tendência a se encurvarem para baixo.

O cálcio existe tanto na forma de cátion como parte insolúvel dos minerais do solo. As formas disponíveis Ca^{2+} são absorvidas nos coloides do solo. Pela troca de cátions, elas passam para a solução do solo e depois são absorvidas pelas plantas. O calcário e o gesso são as principais fontes de cálcio. Além destes, existem fertilizantes que contêm na sua composição o cálcio como o superfosfato simples com 18-20% de cálcio, o superfosfato triplo com 12%.

A respeito do magnésio (Mg), Borin (2018) descreve que este elemento compõe cerca de 2% da crosta terrestre e no solo tem sua origem em minerais primários silicatados como hornblenda, augita, olivina, talco, serpentina, clorita, biotita. No entanto, a principal fonte de Mg para o manejo da fertilidade do solo é a dolomita - $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$.

Os solos brasileiros são, de modo geral, pobres em Mg. Isso se deve tanto ao material de origem com baixas concentrações no nutriente quanto a intensos processos pedogenéticos ao longo da formação dos solos nos quais os produtos de intemperização, como o Mg são lixiviados.

O processo de acidificação do solo também influencia negativamente o Mg devido a reduzida estabilidade de carbonatos, sulfatos, silicatos e alumino silicatos de Mg em meios ácidos. No solo, o Mg total pode ser dividido nas frações: (1) não trocável, presente na estrutura dos minerais; (2) trocável, que está adsorvido de forma eletrostática aos coloides minerais e orgânicos do solo e, (3) como íon livre na solução do solo cujas concentrações variam de 5 a 50 mg/L (HERNÁNDEZ, 2018).

A fração ou fase não trocável, a qual contém a maior proporção do Mg total, é composta pelo Mg dos minerais primários e por parte do Mg de minerais de argila secundários. O Mg, assim como

outros nutrientes, pode ser removido do solo por lixiviação, exportação via colheitas e erosão. As perdas por erosão dependem da textura e topografia do solo, do volume de chuvas, do sistema de cultivo e do teor dos nutrientes no solo (BERTONCELLI, 2017).

Em função da dinâmica de liberação, a fração não trocável de Mg não é considerada uma fonte importante de fornecimento do nutriente para plantas de cultivo anual. Contudo, dependendo do material de origem do solo e das condições de intemperismo, essa fração pode contribuir significativamente para a manutenção da disponibilidade de Mg no solo. Comportamento semelhante tem sido observado para o potássio (K) em solos com teores solúveis muito baixos, com fornecimento de K às plantas em quantidades suficientes (PORTILHO, 2011). Com relação ao potássio (K), Pereira (2017) descreve que a contribuição da fração não trocável de K ocorre em condições de muito baixa disponibilidade de K ($\sim 0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Mesmo nessas condições, produtividades acima de 3000 kg ha^{-1} podem ocorrer. Isto é possível pela reserva de K não trocável, que não é acessada pelo extrator Mehlich-1 na avaliação do teor disponível. Contudo, à medida que a reserva não trocável de K ou de Mg é exaurida pelos processos naturais de perda ou exportação pelas colheitas, torna-se impossível alcançar alta produtividade do solo, mesmo sem a ocorrência dos sintomas aparentes da deficiência dos nutrientes (fome oculta).

O Mg disponível no solo apresenta-se na forma catiônica (Mg^{2+}) distribuída no complexo de troca de cátions e na solução do solo. Os principais fatores que afetam a sua disponibilidade às plantas são as quantidades totais de Mg trocável e a sua concentração relativa ao grau de saturação do complexo de troca e, também, em relação aos demais cátions predominantes nesse complexo (BENAZZI, 2013).

A taxa de absorção pode ser fortemente reduzida por outros nutrientes no solo; bem como pelo desequilíbrio em relação ao cálcio (Ca^{2+}), manganês (Mn^{2+}), amônio (NH_4^+) e K^+ . Altas atividades de H^+ em solos com baixo pH (H_2O) ($\sim 4,5$ ou menos) também reduzem a disponibilidade de Mg. A deficiência de Mg induzida por cátions competidores é, portanto, um fenômeno que pode ser bastante comum em condições de manejo inadequado da calagem e da adubação.

Segundo Benazzi (2013), no caso específico da relação K/Mg (potássio/magnésio), o desequilíbrio reduz a disponibilidade de Mg, pela intensificação da inibição competitiva. Por esse motivo, é recomendado avaliar o teor de Mg no solo e o seu equilíbrio em relação aos demais nutrientes. Com isso, observa-se que a deficiência de Mg por competição com outros cátions do solo pode ser comum, em função de desbalanços causados por outros íons provenientes da calagem e da adubação. Originalmente, a deficiência de Mg ocorre em solos ácidos e de textura arenosa, cujo material de origem é pobre em Mg, consequentemente, esses solos possuem baixos teores naturais de

Mg e, principalmente, altos teores de K. No Brasil, os principais processos que têm conduzido à deficiência de Mg no solo são o manejo inadequado da calagem, da gessagem e da adubação.

As perdas por lixiviação são dependentes da textura e da mineralogia do solo, que é diretamente relacionada à CTC do solo e que, em solos tropicais, é predominantemente dependente do pH. Dessa forma, esse fenômeno pode ser fortemente associado à quantidade, tipo e forma de aplicação do corretivo de solo. A absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas ocorre a partir da solução do solo, mantida em equilíbrio pela liberação dos nutrientes retidos na fase sólida. No entanto, a adição de nutrientes aos sistemas de produção e/ou sua ciclagem resultante da incorporação de diferentes culturas também influenciam o equilíbrio químico do Mg no solo, o que reforça a importância de sistemas de produção mais diversificados.

O mecanismo de contato e a posterior absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas podem ocorrer por três processos: interceptação radicular, fluxo em massa e difusão. No caso do Mg, o fluxo em massa tem fundamental importância e é altamente dependente da disponibilidade de água no solo e da transpiração das plantas. Outro processo que também contribui significativamente para a absorção do Mg é a interceptação radicular, o que indica que a aplicação do nutriente deve ser, preferencialmente, feita a lanço e incorporada. Contudo, a aplicação dos corretivos de acidez, principal fonte de Mg, é geralmente feita a lanço, na superfície do solo. Assim, devido ao posicionamento do Mg^{2+} é necessário mais tempo de reação para a solubilização do calcário e eventual contato do íon com as raízes (DE HOLANDA, 2017).

De acordo com Castro (2018), a distribuição dos nutrientes no perfil do solo, na frente de desenvolvimento das raízes, tem sido cada vez mais importante, não só para a nutrição e fornecimento de água às plantas, mas também, para reduzir os efeitos do alumínio (Al) tóxico, que pode ser mitigado pelo Mg. Esse efeito benéfico ocorre na presença de Ca, que desempenha papel fundamental na proteção do crescimento das raízes contra os efeitos do baixo pH. Contudo, vale ressaltar a importância do Mg na alongação radicular. O Mg em baixas concentrações é mais eficiente que o Ca para reduzir a rizotoxicidade do Al, e os mecanismos fisiológicos envolvidos no efeito protetor do Mg contra a toxicidade do Al às raízes ainda não são conhecidos.

Considerando somente os nutrientes no solo, os cátions trocáveis não são retidos com a mesma força pelos colóides, existindo uma ordem preferencial de retenção: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$. De modo geral, essa série preferencial leva em consideração a energia de ligação e o raio iônico hidratado do cátion. A variação nas concentrações dos cátions na solução do solo, por força da lei de ação das massas e da atividade iônica, pode saturar o complexo de troca com outro cátion, deslocando os demais cátions trocáveis para a solução. Assim, manejo de solos que privilegiam aplicações constantes

e elevadas de calcário calcítico, gesso ou de adubação potássica, em desequilíbrio com o Mg no solo, podem conduzir à deficiência desse nutriente no solo.

O Mg é constituinte da clorofila e participa de processos vitais como fotossíntese, respiração, síntese de macromoléculas, absorção de íons, principalmente, o íon fosfato no qual o Mg exerce um efeito sinérgico na absorção do P, cofator enzimático iônico, na ativação de muitas enzimas e importante papel na regulação do pH celular. Portanto, o magnésio possui várias funções quando absorvido pelas plantas como, por exemplo, fixação fotossintética do dióxido de carbono, síntese proteica e formação de clorofila. Muitos processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas são afetados pela falta de magnésio, provocando prejuízos no crescimento e na produção. Dessa forma, o teor de magnésio encontrado no resíduo é satisfatório na fertilização, contribuindo, assim, para um melhor funcionamento do organismo das plantas (EBELING, 2016).

De acordo com Araújo (2020), o potássio (K) desempenha diversas funções metabólicas e estruturais na planta. Nos solos da região tropical, os teores de K normalmente são baixos, tornando necessária a complementação desse nutriente com fertilizantes para possibilitar produtividades sustentáveis. O K, seguido pelo N, é o nutriente mais absorvido por vegetais de modo geral. Para cada 100 t ha⁻¹ de colmos, são exportados cerca de 150 kg ha⁻¹ de K₂O, embora em solos com teores elevados de K a exportação pelos colmos possa atingir 285 kg ha⁻¹ de K₂O.

O potássio possui importante ação na translocação de sacarose, e está envolvido no processo de transporte e armazenamento desta molécula. Deficiência de K⁺ pode ocasionar uma taxa fotossintética menor por fechamento dos estômatos. Altas produções são mantidas às custas de alto consumo de K. Por mais que existam mecanismos, técnicas e sistemas de ciclagem desse nutriente, sempre haverá perdas devidas a sua alta mobilidade. Em curto e médio prazos, a dependência de importações é quase certa e comprometedor, pois os grandes produtos agrícolas brasileiros dependem de sua disponibilidade (KINPARA, 2004).

A introdução de novas formas de exploração agropecuária depende da busca de outras fontes de K não apenas aquelas focadas na solubilidade do elemento, mas na forma de obtenção do produto, ou seja, fontes do elemento que não degradem o ambiente, tanto no processamento, quanto em sua aplicação. Cada vez mais, a importância de estudar novas fontes de K torna-se um imperativo socioeconômico. Mais do que o equilíbrio da balança comercial é o futuro desenvolvimento da nação baseado em sua vocação agrícola. É um nutriente que atua em funções que dizem respeito às relações osmóticas, dinâmica dos estômatos e ativador enzimático. O potássio é um elemento que não forma compostos orgânicos no interior das plantas, predominando na forma iônica K⁺ (NOGUEIRA, 2020).

Segundo Kinpara (2004), o critério utilizado com indicador da disponibilidade de potássio nos solos é o K-trocável, isto é, o potássio encontrado adsorvido nas cargas do solo formando compostos de esfera externa. Por ser um elemento bastante móvel no interior das plantas, os sintomas de deficiência de potássio ocorrem em folhas mais velhas.

Para medir a disponibilidade de K no solo, pode-se utilizar a relação entre o potássio e a CTC, denominada Índice de Disponibilidade de Potássio (IDP). Recomenda-se que o IDP não passe de 3% para prevenir a lixiviação (VILELA *et al.*, 2002). A incorporação dos restos culturais, o parcelamento da adubação com K, a forma de aplicação (a lanço, no sulco), a calagem e o uso de outras fontes são recursos que o agricultor pode utilizar para controlar a perda do K (VILELA *et al.*, 2002).

A concentração normal de potássio nas folhas da videira varia de 1,50 a 2,50%, sendo que a planta absorve cerca de 6kg de K_2O para produzir 1000kg de frutos. O uso indiscriminado de fertilizantes potássicos aumenta a concentração desse elemento no solo. Em solos cultivados existem entre 7 kg ha^{-1} e 15 t ha^{-1} de K, dos quais apenas 1% a 2% estão disponíveis nas formas trocável (adsorvido) ou solúvel (na solução do solo), utilizadas pela planta. O solo de Cerrado não é muito favorável à elevada retenção de K. Como justificativa pela baixa CTC do solo, o que leva a uma baixa capacidade de *tampunar* o K. Vale ressaltar a alta solubilidade do K em sua forma salina. Esses dois fatores explicaram a alta lixiviação do elemento no perfil de solo (KINPARA, 2004).

O regime de chuvas na região contribui para a lixiviação, e daí a importância da aplicação de K não se resumir à sua adição ao solo. Deve-se levar em conta sua interação com outros fatores bióticos e abióticos. As respostas às adubações potássicas não são tão expressivas como são as fosfatadas. O efeito do potássio estava condicionado à correção da acidez e à deficiência de outros nutrientes. Portanto, os cátions de cálcio, magnésio e potássio presentes no solo afetam a disponibilidade um dos outros. Por este motivo, normalmente, são considerados em conjunto nas análises de solo.

O Mapa 11, Gráfico 18, Mapa 12 e o Gráfico 19 apresentam, respectivamente, os mapas de variabilidade espacial para a CTC (capacidade de troca de cátions), SB (soma das bases) e V% (saturação por bases) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil), respectivamente. Os Gráficos 18, 19 e 20 e os Mapa 12 e 13 apresentam os histogramas de distribuição de frequência para o conteúdo de para a CTC (capacidade de troca de cátions), SB (soma das bases) e V% (saturação por bases) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão.

Mapa 11 – Mapa de variabilidade espacial da capacidade de trocas de cátions (CTC) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão – Brasil

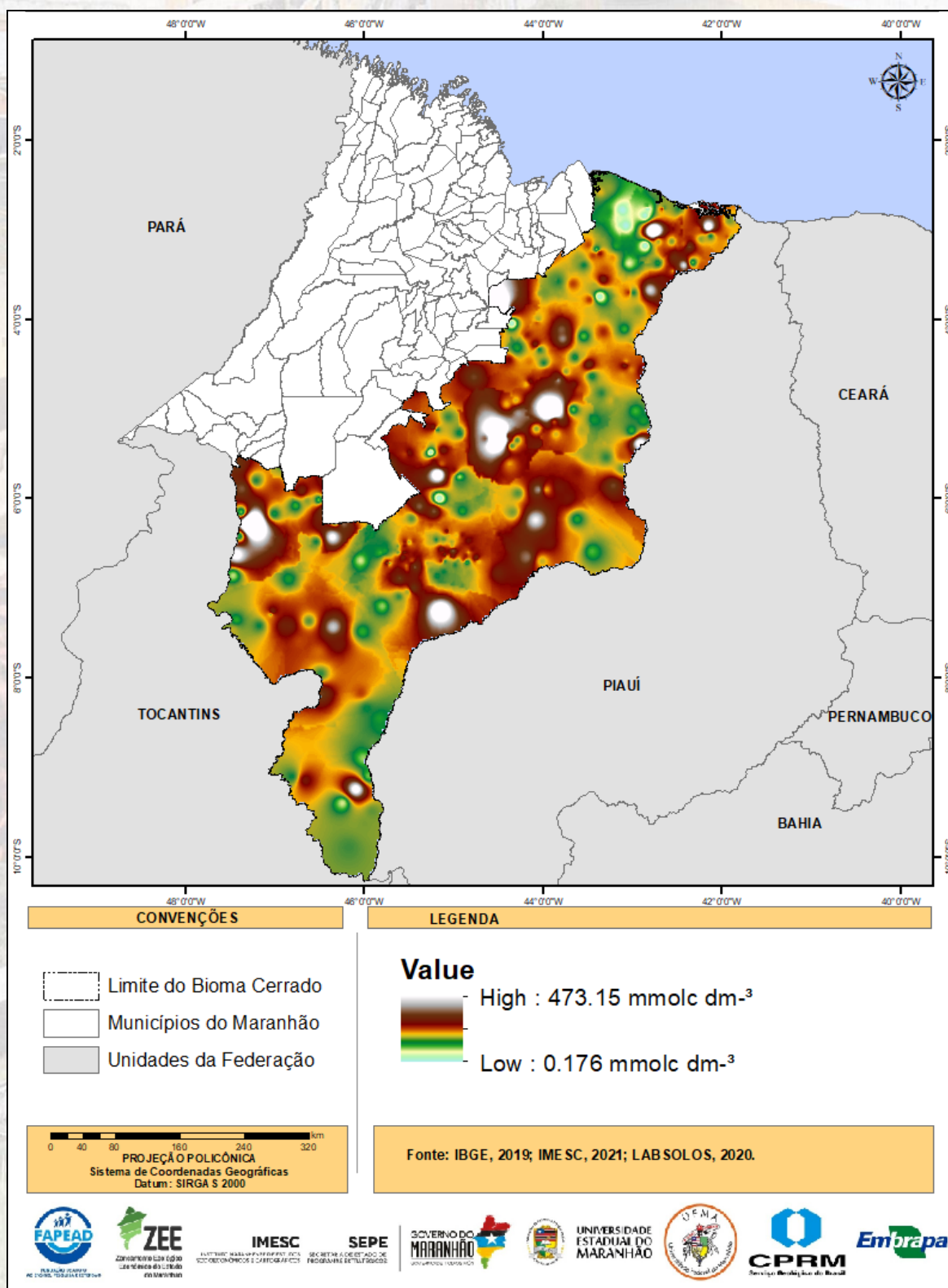
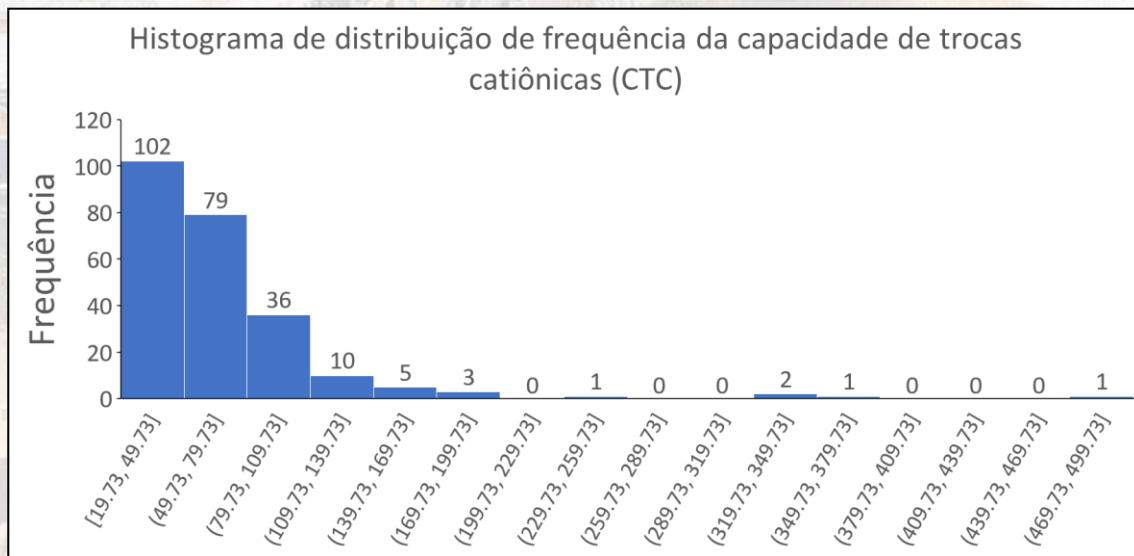


Gráfico 18 – Histograma de distribuição de frequência da capacidade de trocas catiônicas (CTC) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

A CTC representa a quantidade total de cátions retidos e permutáveis na fração mineral do solo (argilas coloidais, substâncias húmicas e os sesquióxidos de ferro e alumínio), e desta maneira indicam a fertilidade natural de um solo (EMBRAPA, 1994). Nesse sentido, se verifica no Gráfico 10 que as regiões com maior fertilidade natural estão alunadas na divisa entre as regiões Sul Maranhense e Centro Maranhense, indicando ainda regiões com maior capacidade de liberação de nutrientes ao longo do tempo ou ainda pode ser interpretada como valores de referência para reposição de nutrientes, evitando-se ainda os efeitos tóxicos de aplicação de fertilizantes.

A capacidade de troca iônica dos solos representa, portanto, a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes e a descreve como a permuta de cátions com os sítios negativos dos coloides, sendo influenciada diretamente pelo pH e pelas cargas negativas das superfícies dos óxidos (RONQUIM, 2010). Segundo Ferreira e Botelho (1999), é uma propriedade, cuja importância no solo pode ser comparada a determinadas funções vitais, como a respiração para os animais e a fotossíntese para os vegetais.

A ligação das partículas de argila e húmus aos cátions permite a retenção desses nutrientes no solo, impedindo perda por lixiviação e percolação (RAVEN *et al.*, 2014). Dessa maneira, os cátions que apresentam ligações mais fracas, como é o caso do H⁺, Na⁺ e NH₄⁺, podem ser trocados com maior facilidade, liberando outros cátions (Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺). Assim, os íons são dissolvidos na solução de solo, tornando-os disponíveis para assimilação dos vegetais (RAVEN *et al.*, 2014).

Os solos dos ecossistemas naturais não possuem quantidade de nutrientes adequadas para grandes sistemas agrícolas. Embora a CTC natural seja suficiente para sustentar comunidades de

plantas nativas, Raven e outros (2014) afirmaram que é necessário programas para suplementar o fornecimento de nutrientes para a agricultura, estes precisam ser fundamentados em teste de solo, que são usados para diagnosticar deficiências nutricionais e prever respostas desejadas com adição de fertilizantes em quantidades recomendadas. Desta maneira, os resultados apresentados neste relatório compreendem um levantamento em macro escala para o entendimento e manejo da CTC do solo no Estado do Maranhão.

De acordo com Lopes et. al. (1998) a capacidade de troca catiônica (CTC) pode ser CTC total, quando essa propriedade é definida pela quantidade de cátions adsorvida em um solo, caso a correção seja feita para elevar o pH a 7,0 ou também o máximo de cargas liberadas, passíveis de serem ocupadas, obtida através da fórmula:

$$CTC \text{ total} = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} + H^{+} + Al^{3+} \quad (4)$$

De acordo com Ferreira e Botelho (1999), a CTC efetiva é capacidade de o solo reter cátions próximos ao valor do pH natural. É estimada pela soma dos cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) e os valores dos ácidos (H^{+} e Al^{3+}). Assim, a CTC estimada dá uma ideia do real potencial de cargas, adsorvidos por forças eletrostáticas, nas superfícies dos coloides minerais ou orgânicos, extraídos com soluções não-tamponadas.

Sobral e outros (2015) consideraram uma CTC efetiva baixa quando os valores estão abaixo de $20,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Para valores entre $20,0$ e $40,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, entende-se que o solo apresenta CTC média e alta para valores acima de $40,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, deduzindo-se ser um solo muito fértil. Análogo a isso têm-se os valores da CTC a pH 7,0. Considera-se baixo quando este apresenta valores abaixo de $50,0 \text{ dm}^{-3}$, médio para valores entre 50 e $150 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e CTC alta para valores acima de $150 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Tabela 2 – Valores de referência de CTC efetiva e CTC total adaptado de Sobral (2015)

PARÂMETROS	BAIXO	MÉDIO	ALTO
CTC (efetiva) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	<20,0	20,0 – 4,0	>40,0
CTC (total) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	<50,0	50,0 – 15,0	>150,0

Fonte: Registro da Pesquisa.

Desta maneira, se verifica no Gráfico 10 que as regiões com maior fertilidade natural estão alunadas na divisa entre as regiões Sul Maranhense e Centro Maranhense, indicando ainda regiões com maior capacidade de liberação de nutrientes ao longo do tempo ou ainda pode ser interpretada como valores de referência para reposição de nutrientes, evitando-se ainda os efeitos tóxicos de aplicação de fertilizantes.

No sul maranhense, o alto índice de CTC pode ser observado nas microrregiões de Porto Franco, Chapada das Mangabeiras e Gerais de Balsas, com destaque para o município Alto do Parnaíba. Na região central do Maranhão, os índices elevados de troca catiônica aparecem nas microrregiões de Presidente Dutra, destaque para município de mesmo nome, e parte norte da microrregião Alto Mearim e Grajaú. O leste maranhense possui CTC alta na região central da Chapada do Alto Itapecuru e na microrregião de Codó. Na parte norte do estado, a microrregião dos Lençóis Maranhenses exhibe altos índices no município de Paulino Neves, porém, por outro lado, nos municípios de Santo Amaro e Barreirinhas, caracterizados pelos depósitos de areias quartzosas e baixo teor de matéria orgânica, o nível de troca catiônica é mínimo.

Para Lopes e Guilherme (2004), as regiões com CTC acima de $60 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são caracterizadas por alta percentagem de argila ou teor de matéria orgânica, grande capacidade de retenção de nutrientes e umidade. Por conseguinte, maior quantidade de calcário é necessária para aumentar o pH. Alusivo as taxas abaixo de $50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, Lopes e Guilherme (2004) destacaram a necessidade de uma quantidade menor de calcário para correção de pH, possuindo maior quantidade de perda de nitrogênio e potássio por lixiviação.

O mapa de variabilidade espacial da soma das bases (SB – Mapa 12) indica as regiões com maior capacidade de permutação de cátions trocáveis. Nesse sentido, verifica-se que as regiões com maior concentração de cátions trocáveis estão diretamente relacionadas a CTC, na zona de contato entre as Sul Maranhense e Centro Maranhense. A soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis e refere-se ao total de cálcio, magnésio, potássio e, se for o caso, também o sódio, todos na forma trocável (ROQUIM, 2010). Para Lopes e Guilherme (2004), os valores absolutos resultantes das análises destes componentes refletem os níveis destes parâmetros de forma individual, a soma de bases dá uma indicação do número de cargas negativas dos colóides que está ocupado por bases. Por meio da soma de bases, é possível calcular a percentagem de saturação de alumínio e saturação de bases da CTC.

$$SB^* = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + (Na^+) \quad (5)$$

*valores expressos em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ou $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Mapa 12 – Mapa de variabilidade espacial da soma das bases (SB) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil

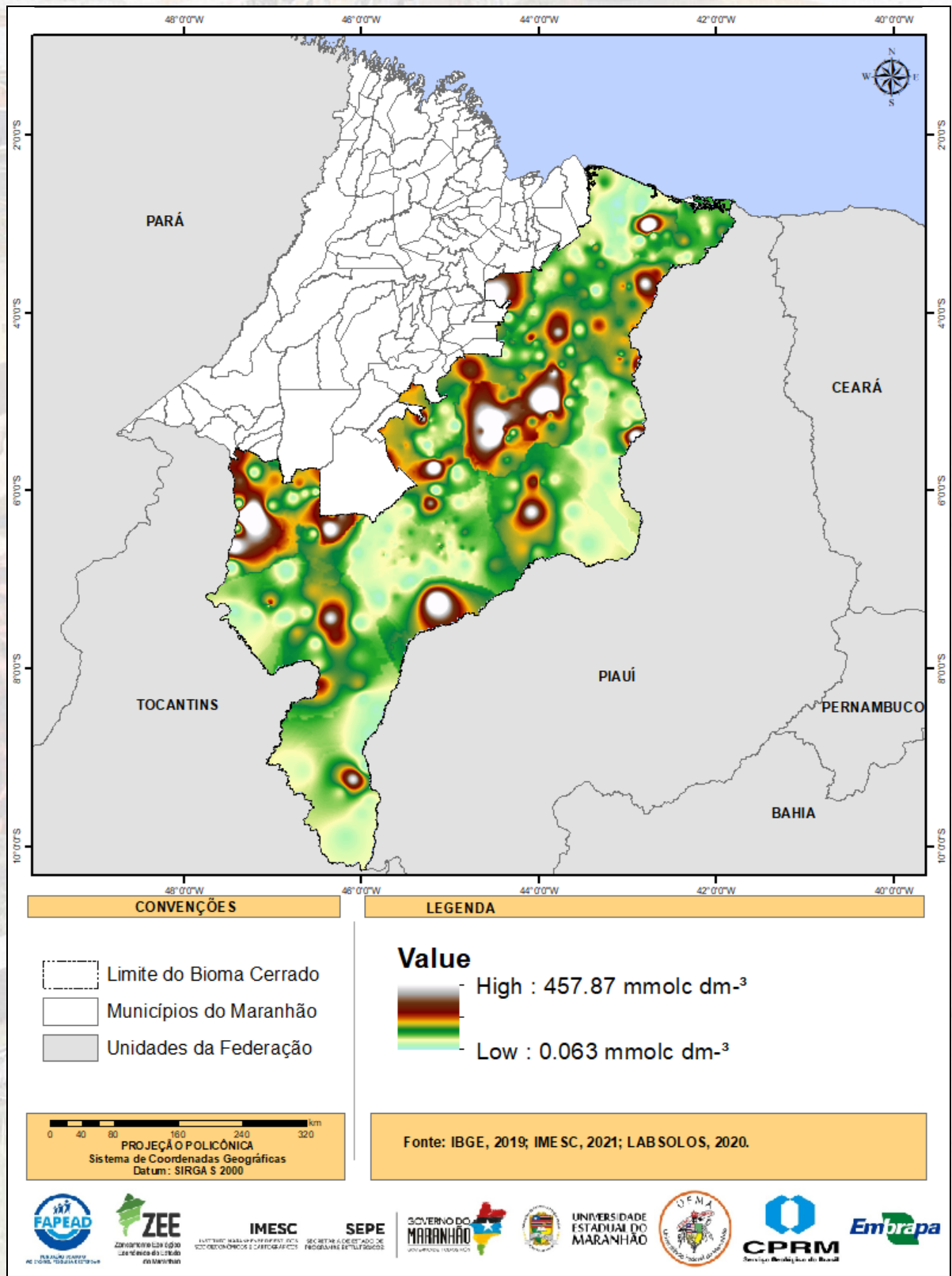
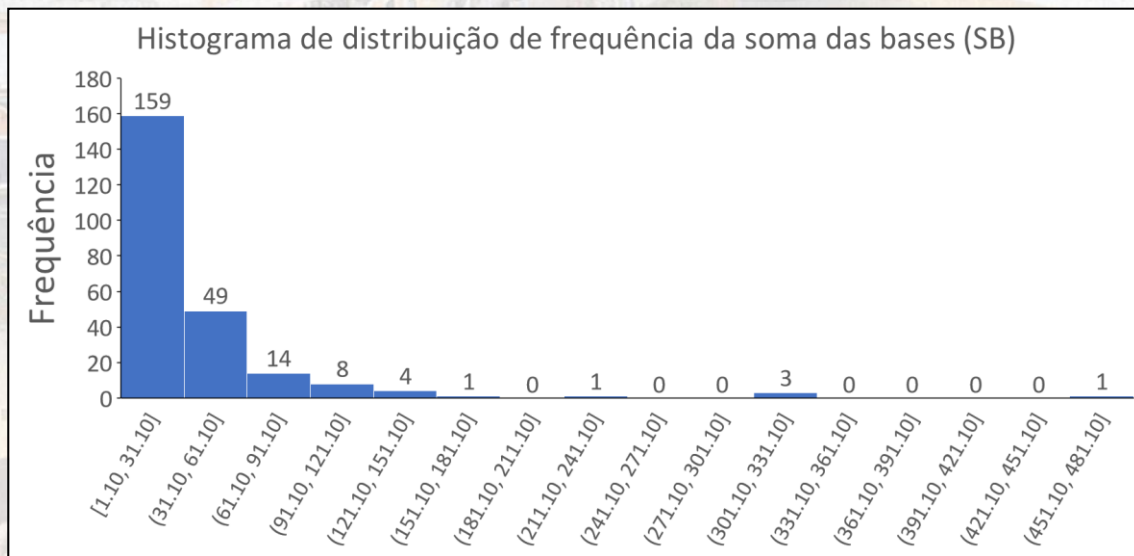


Gráfico 19 – Histograma de distribuição de frequência da soma das bases SB no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

A quantidade de bases trocáveis indica o grau de intemperismo do solo, e em solos mais jovens, os teores dos quatro elementos ($K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$) são mais altos (SOBRAL *et al.* 2015); e em solos mais intemperizados os teores de $K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$ são mais baixos (SOBRAL *et al.*, 2015).

Tabela 3 – Classes de interpretação para a soma de bases (SB)

	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
SB	$K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$	$mmol_c \text{ dm}^{-3}$	< 20	20 – 50	> 50

Fonte: Adaptado de Prezotti e Guarçoni (2013).

Importa ressaltar que esta tabela de classificação para SB é apenas didática não possuindo aplicação prática, tendo por objetivo subsidiar os cálculos da CTC Total, CTC efetiva e saturação por bases (V), conforme Prezotti e Guarçoni (2013).

Denomina-se saturação por bases (V% - Mapa 13) a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions (RONQUIM, 2010). A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos (SANTOS *et al.*, 2018).

$$V = \frac{\text{Somatório de bases (SB)}}{\text{CTC total (T)}} \times 100$$

O índice de saturação de solo é utilizado para classificar os solos em eutróficos, que são os férteis que apresentam índice maior ou igual a 50%, e os distróficos para aqueles que apresentam índices inferiores a 50% (RONQUIM, 2010). Outra classificação que pode ser encontrada na literatura é valores de baixa, média e alta saturação, conforme mostra a tabela a seguir descrita por Prezotti e Guarçoni (2013).

Tabela 4 – Classes de interpretação para a saturação por bases (V)

	Método	Unidade	Classificação (%)		
			Baixo	Médio	Alto
V%	SB/ CTC efetiva x 100	%	< 50	50 – 70	> 70

Fonte: Registro da Pesquisa.

Mapa 13 – Mapa de variabilidade espacial da saturação por bases (V%) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil

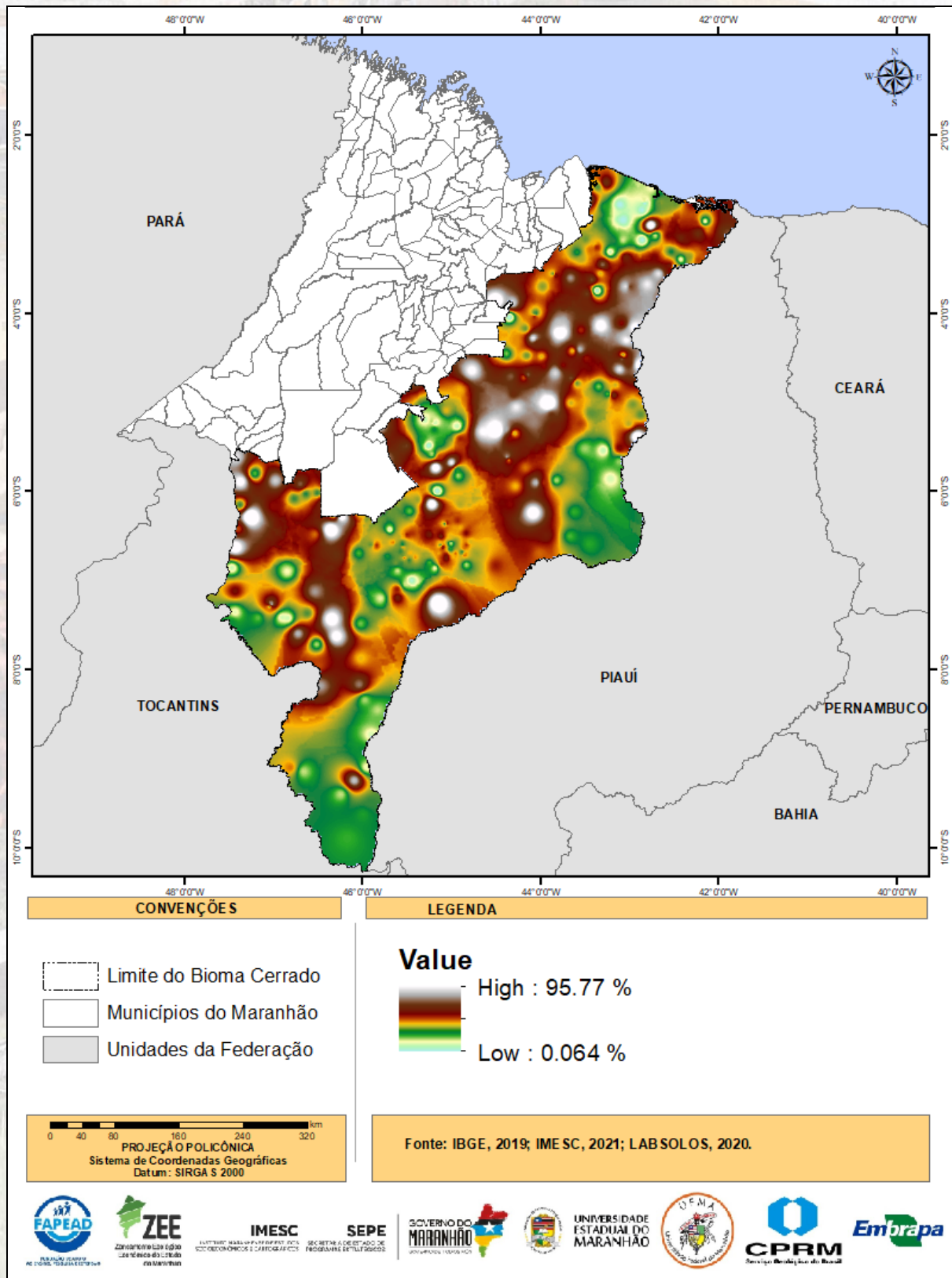
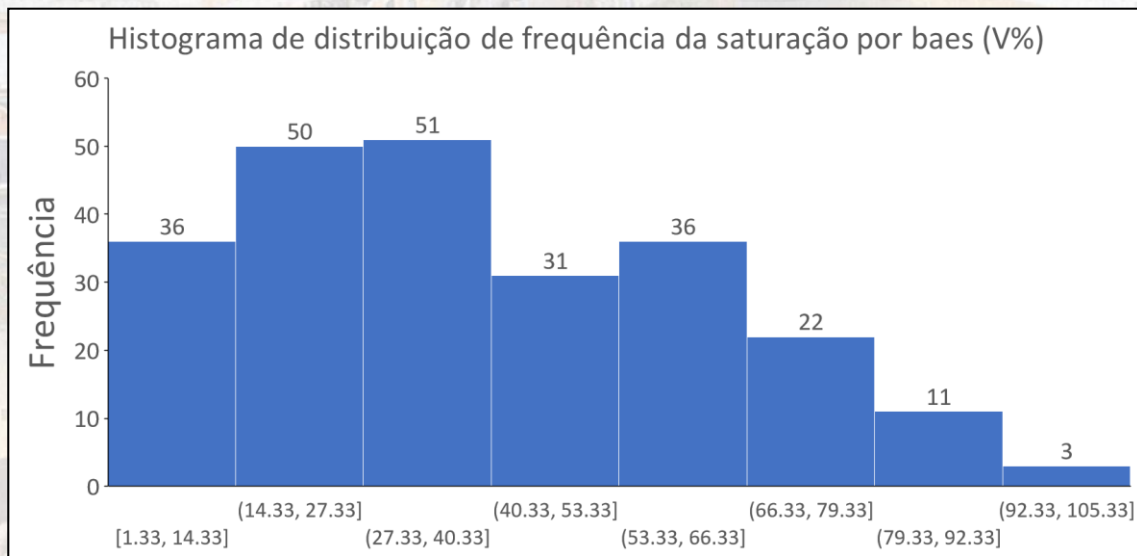


Gráfico 20 – Histograma de distribuição de frequência da soma das bases SB) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

Azevedo e Bueno (2016) encontraram valores de V% inferiores a 50% em todos os horizontes de solo em assentamentos de reforma agrária no município de Chapadinha (Maranhão, Brasil), resultado provavelmente da pobreza química dos sedimentos pouco consolidados da Formação Itapecuru e/ou pelo intemperismo do solo desta região. Nesse sentido, Prezotti e Guarçoni (2013) afirmaram que para elevar a saturação por bases é necessário fazer calagem. O método de calagem por saturação por bases considera a necessidade específica de cada cultura e é definida após ensaios de campo e laboratório e considera as características dos solos de determinada região (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Os valores adequados à exigência da cultura geralmente variam de 50 a 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5 (RONQUIM, 2010).

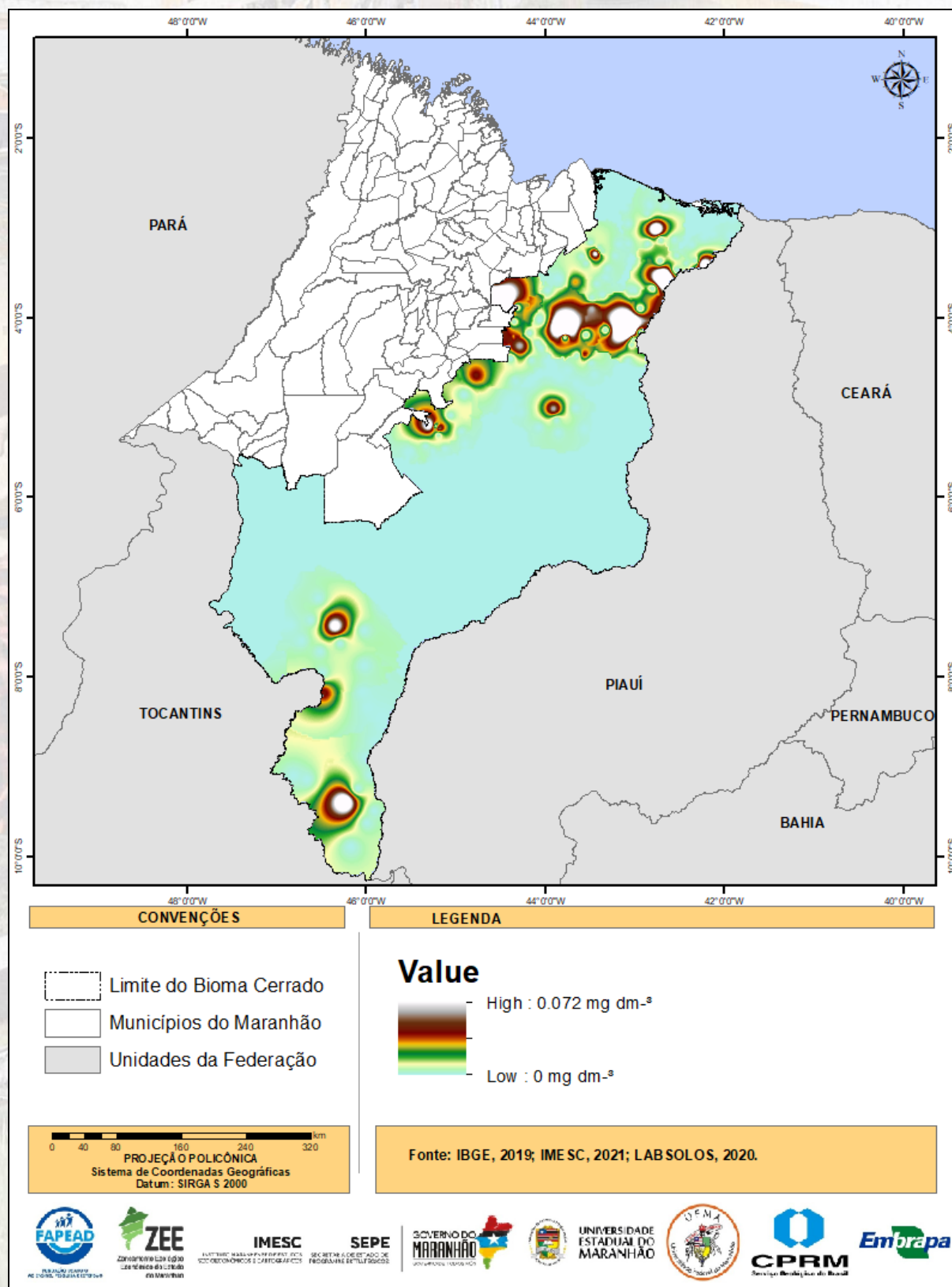
O mapa de variabilidade espacial da saturação por bases (V% – Mapa 13) descreve que a porção superior da região Sul Maranhense e as regiões Centro Maranhense e Leste Maranhense apresentam condições gerais de fertilidade, demonstrando o grande potencial do Estado do Maranhão, uma vez que apenas a região extremo Sul do Estado, e manchas pontuais alocadas na região Centro Maranhense e o Sistema Costeiro do Maranhão apresentam as maiores deficiências no que diz respeito à fertilidade natural.

De maneira geral, os mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, demonstram que a região extremo Sul do Maranhão e o Bioma Costeiro apresentam as maiores deficiências, seja no que se refere à acidez (pH), seja no que se refere às condições naturais de fertilidade (CTC, SB e V%). No Sistema Costeiro, temos alocado o parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, o que permite que essa extensa região seja preservada, apesar da grande especulação

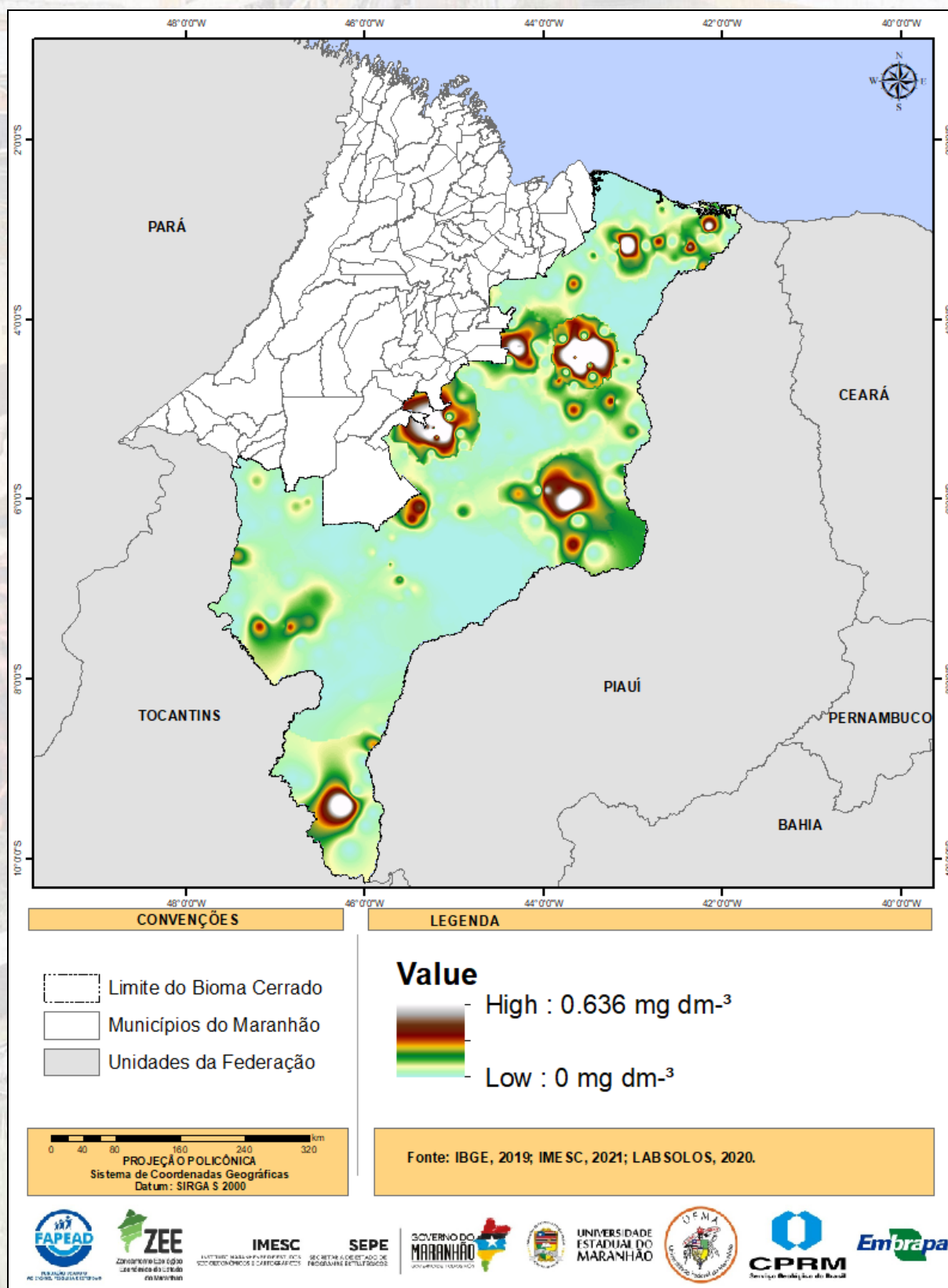
imobiliária impulsionada principalmente pelas potencialidades turísticas da região. Por outra parte, na Região extremo Sul do Maranhão temos apenas o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba na divisa com Piauí e Tocantins, porém, nesta região a expansão da agricultura e pecuária ameaça uma região com elevada biodiversidade de artrópodes do solo e baixa fertilidade natural, indicando que se os solos não forem manejados adequadamente existe uma possibilidade de sérios problemas ambientais relacionados ao depauperamento da riqueza de organismos, conteúdo de carbono orgânico do solo e perda de nutrientes, ademais do risco potencial sobre as nascentes do Rio Parnaíba.

Os mapas de variabilidade espacial do conteúdo de cádmio (Cd , mg dm^{-3}), crômio (Cr , mg dm^{-3}), cobre (Cu , mg dm^{-3}), ferro (Fe , mg dm^{-3}), níquel (Ni , mg dm^{-3}), chumbo (Pb , mg dm^{-3}), zinco (Zn , mg dm^{-3}) e manganês (Mn , mg dm^{-3}) são apresentados nos Mapas 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21, respectivamente. Os histogramas de distribuição de frequência para o conteúdo de cádmio (Cd , mg dm^{-3}), crômio (Cr , mg dm^{-3}), cobre (Cu , mg dm^{-3}), ferro (Fe , mg dm^{-3}), níquel (Ni , mg dm^{-3}), chumbo (Pb , mg dm^{-3}), zinco (Zn , mg dm^{-3}) e manganês (Mn , mg dm^{-3}) são apresentados nos Gráficos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28, respectivamente.

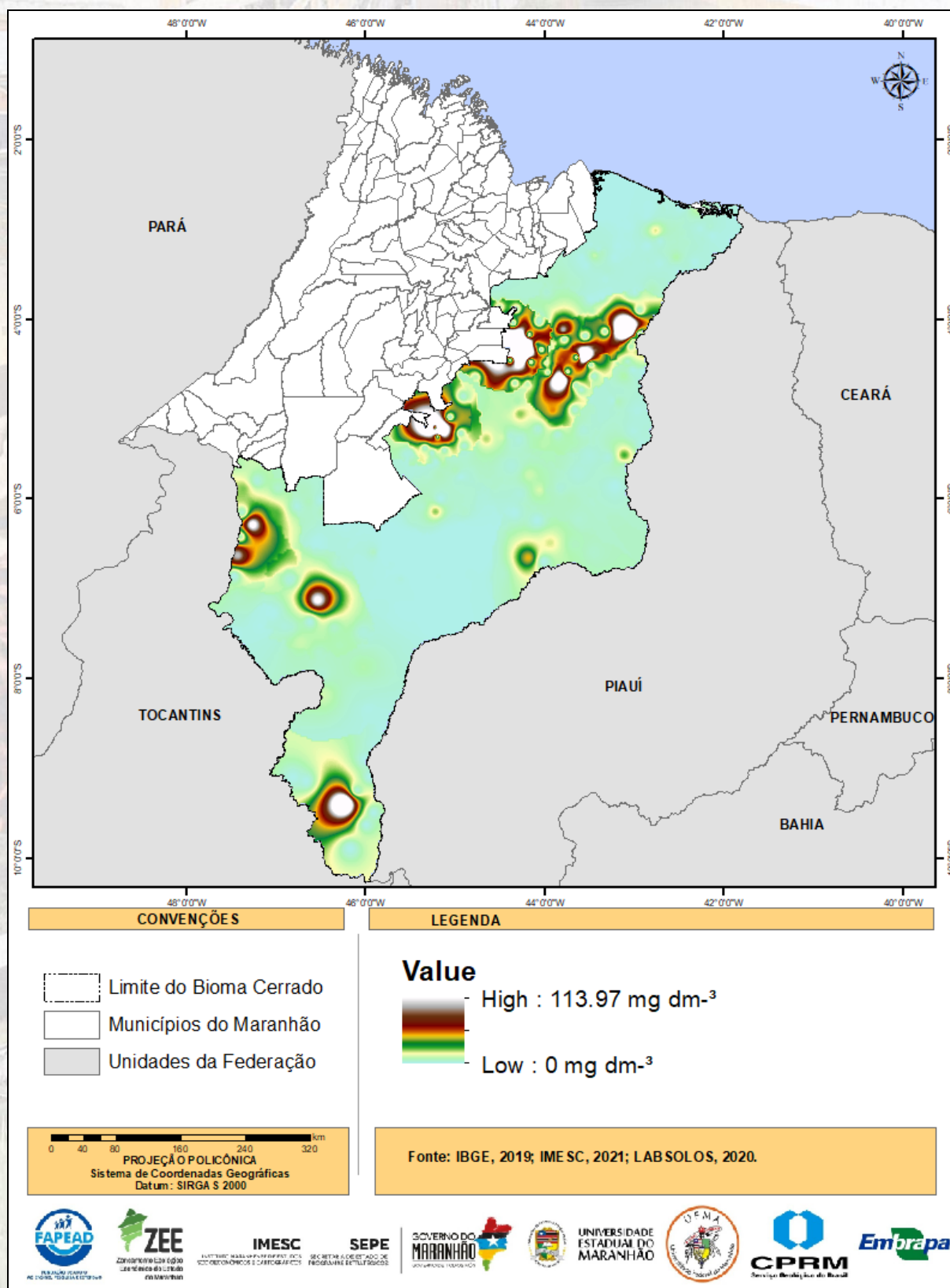
Mapa 14 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cádmio (Cd) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



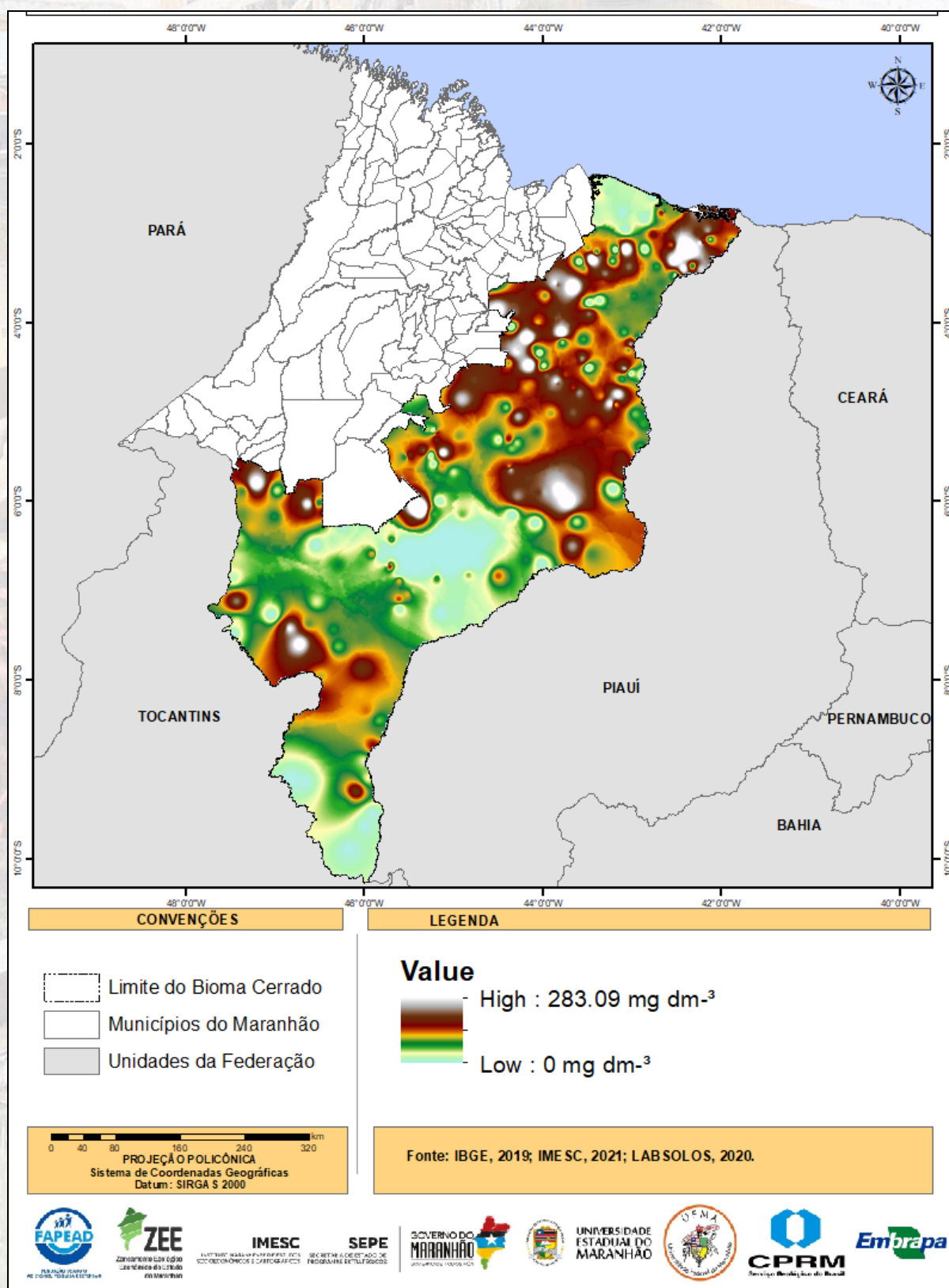
Mapa 15 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cromo (Cr) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão – Brasil



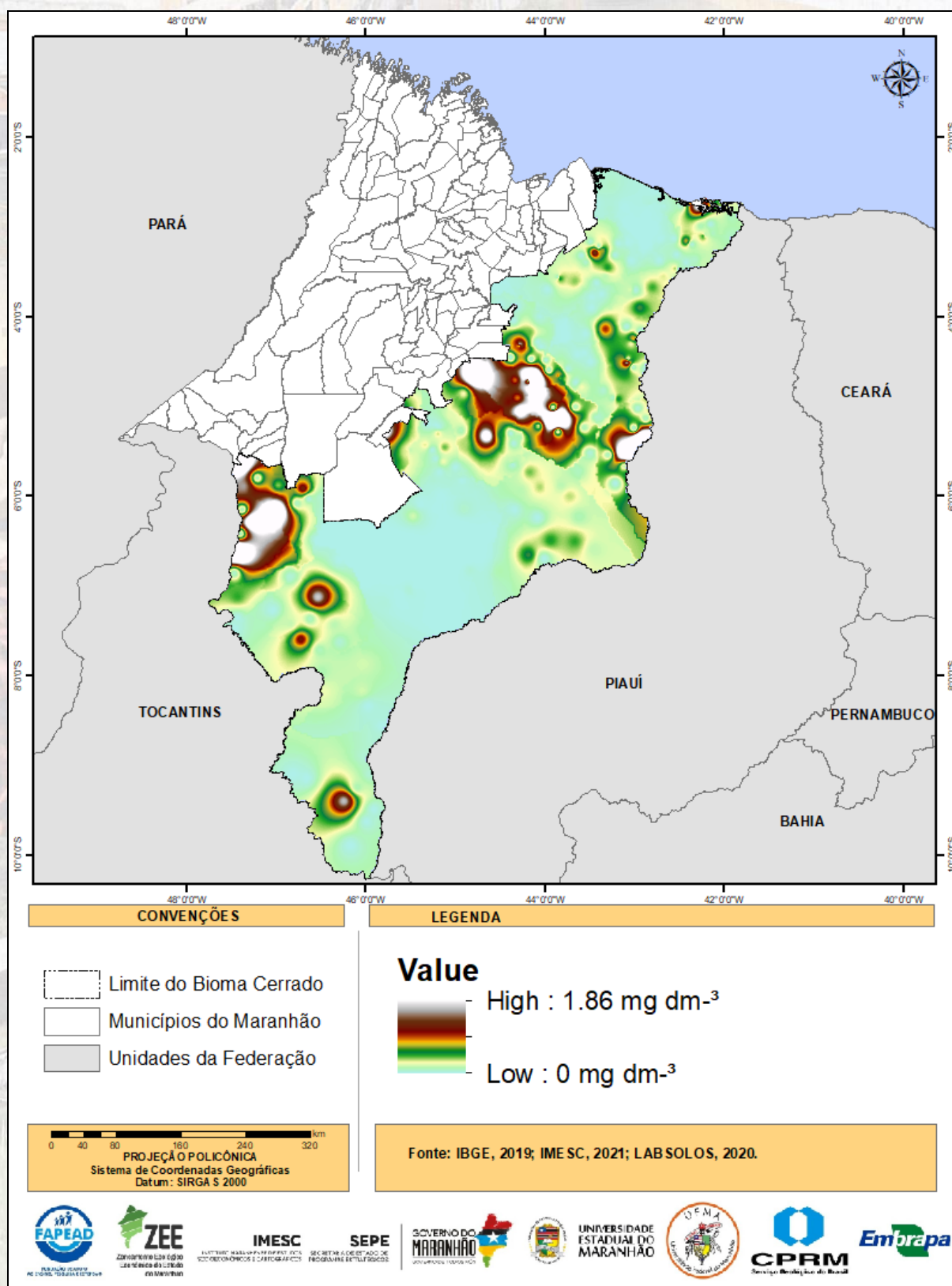
Mapa 16 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cobre (Cu) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



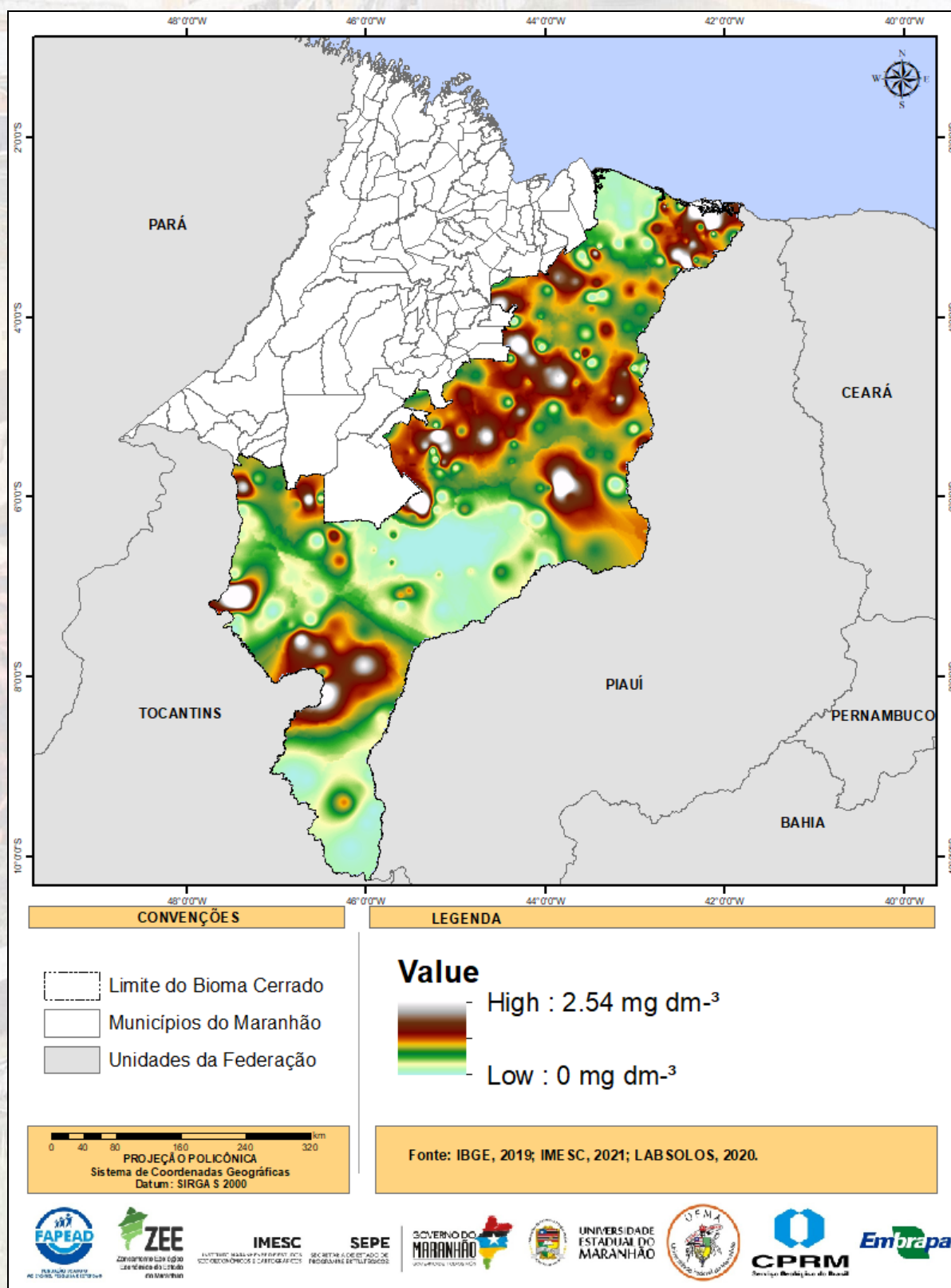
Mapa 17 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de ferro (Fe) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



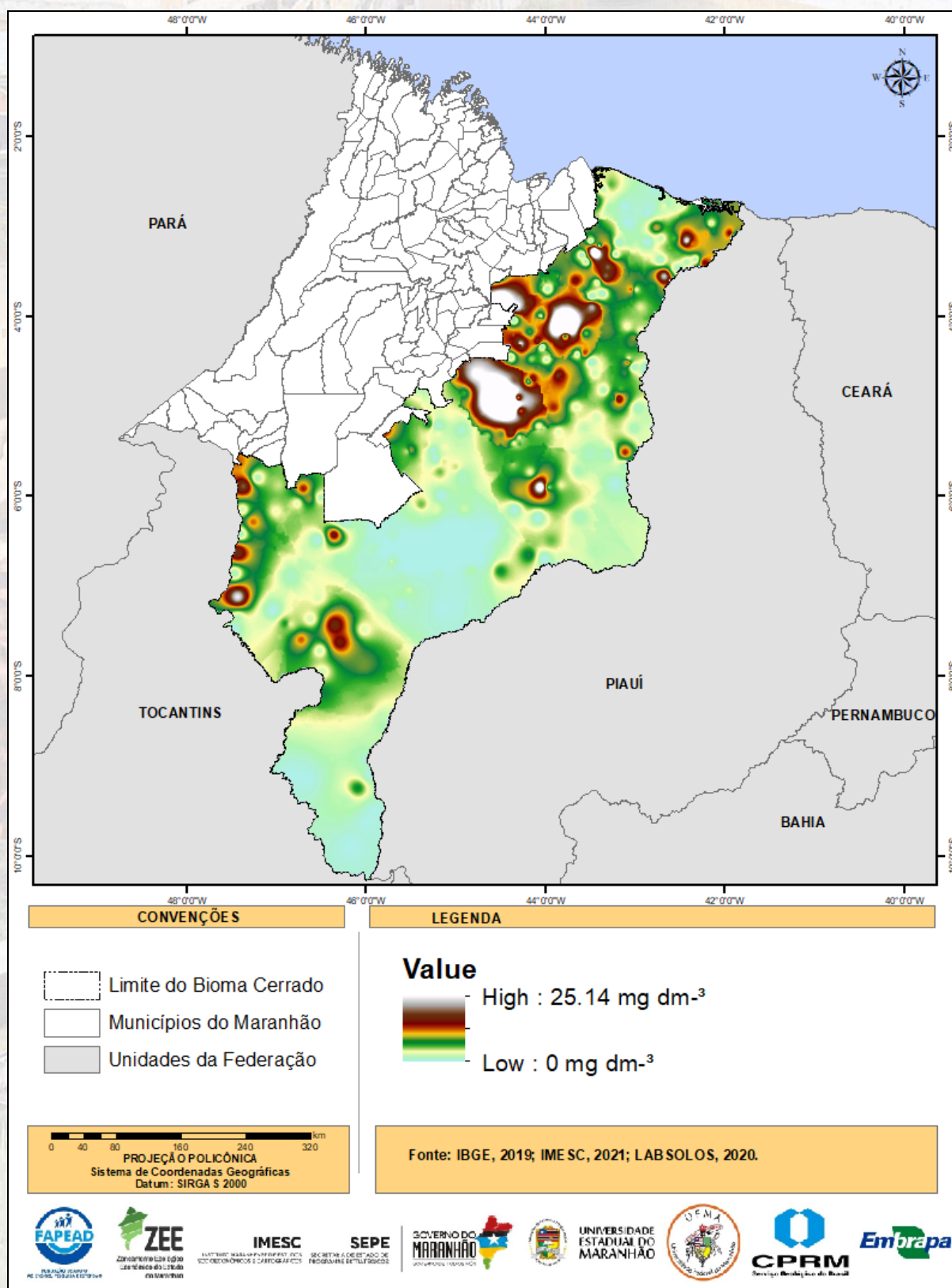
Mapa 18 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de níquel (Ni) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Mapa 19 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de chumbo (Pb) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Mapa 20 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de zinco (Zn) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Mapa 21 – Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de manganês (Mn) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil

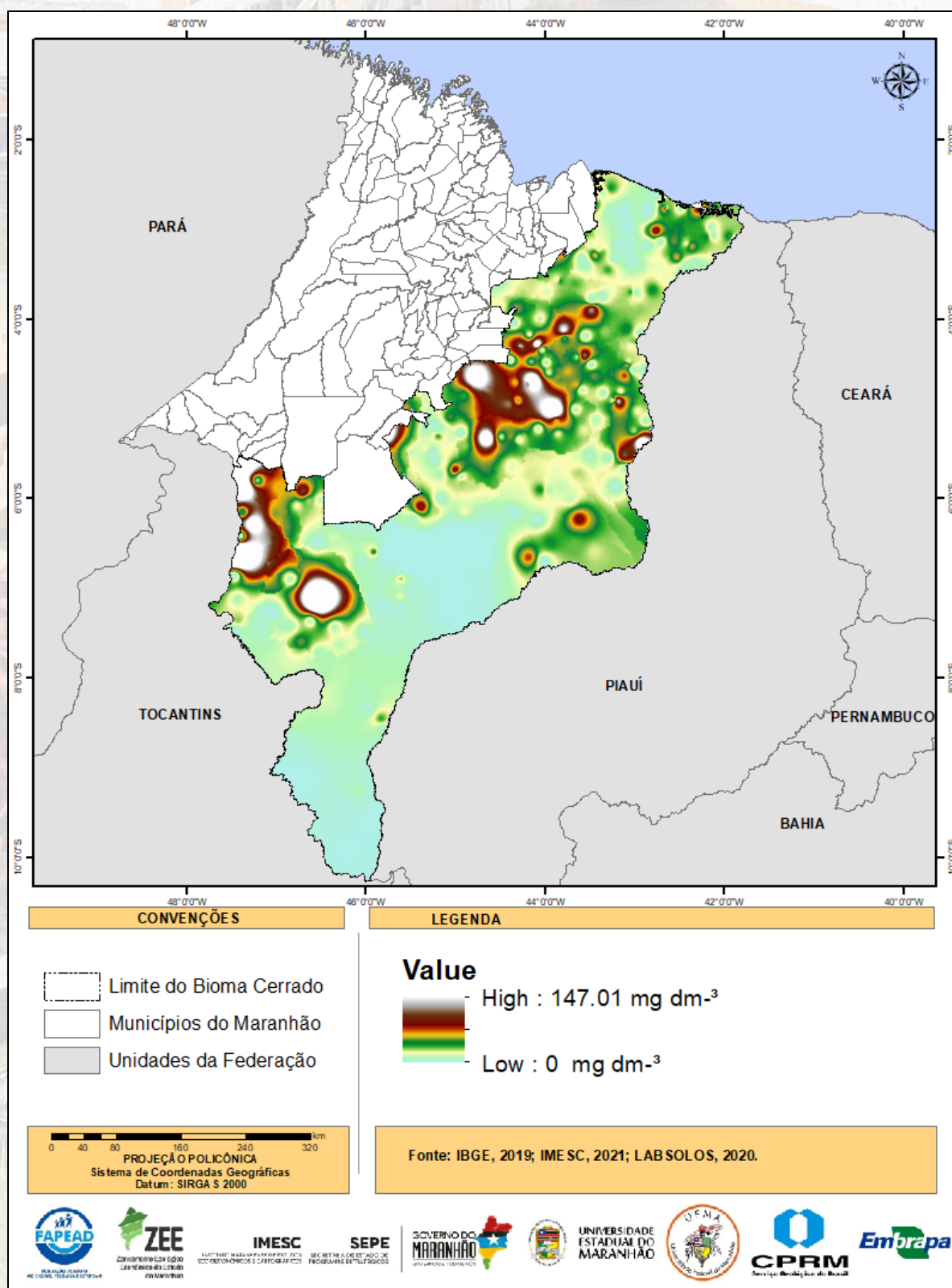
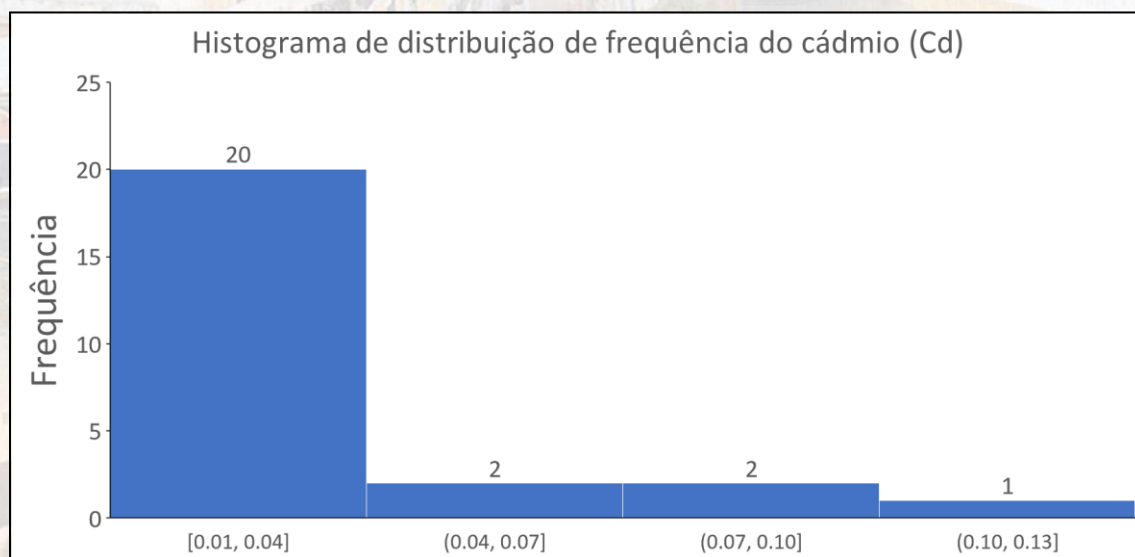
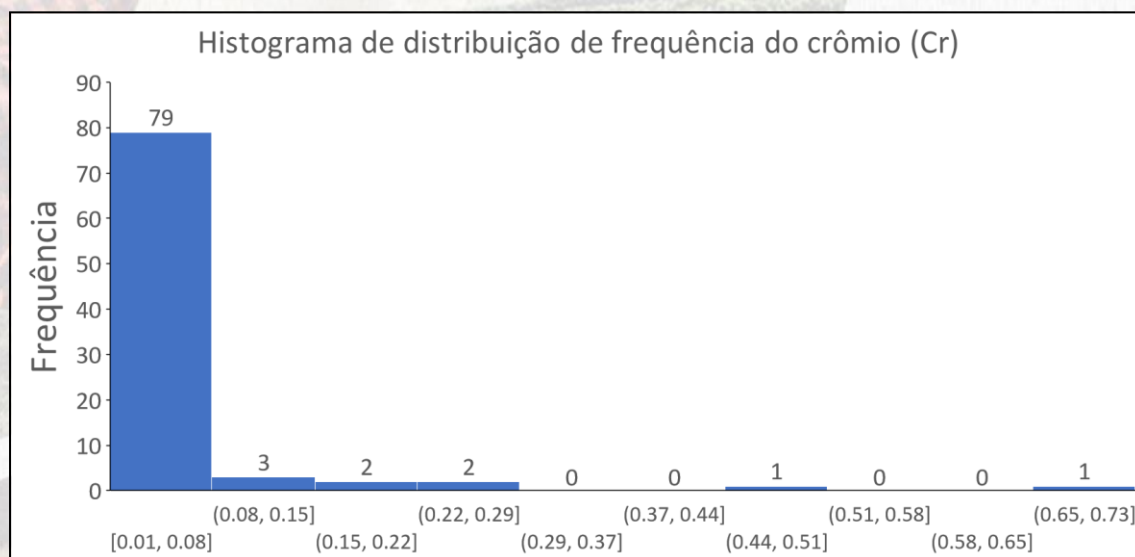


Gráfico 21 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de cádmio (Cd) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



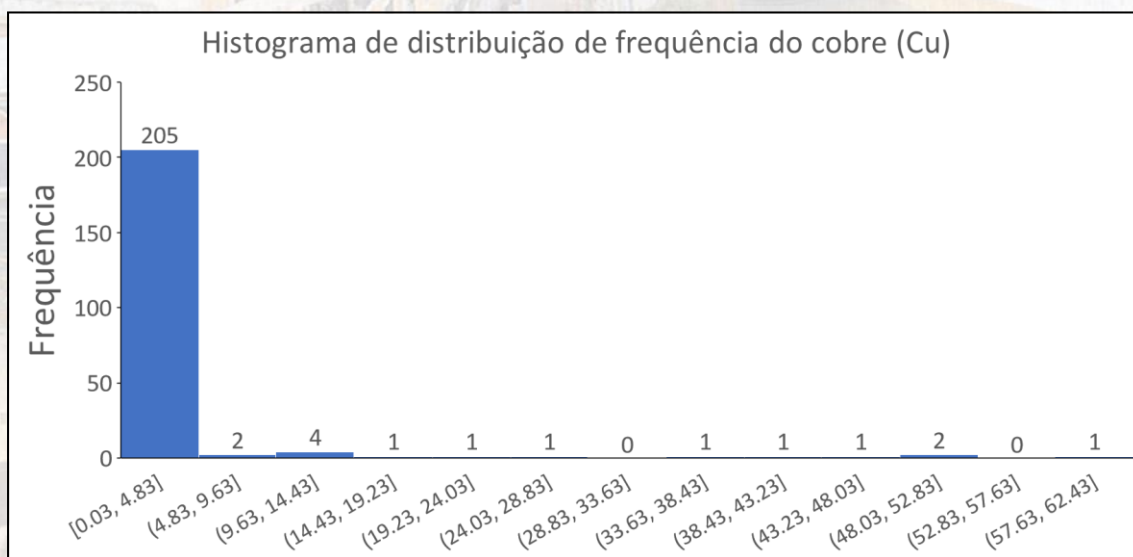
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 22 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de crômio (Cr) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



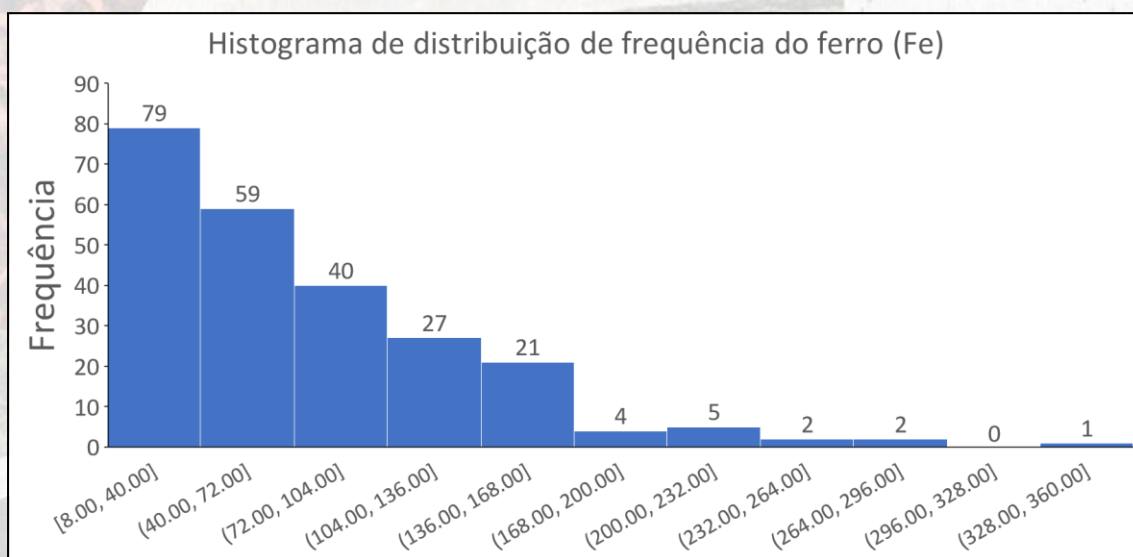
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 23 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de cobre (Cu) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



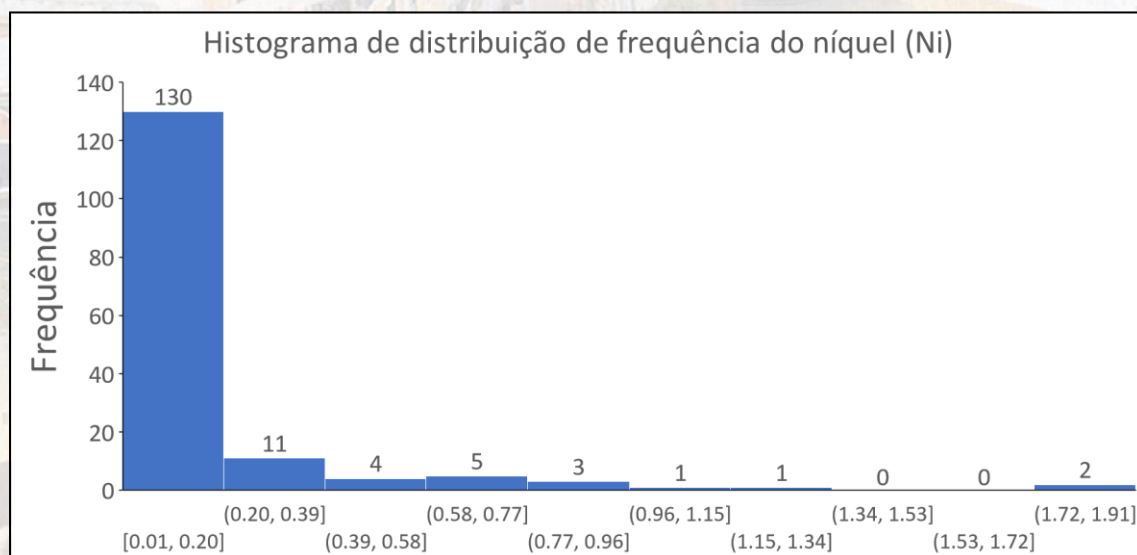
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 24 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de ferro (Fe) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



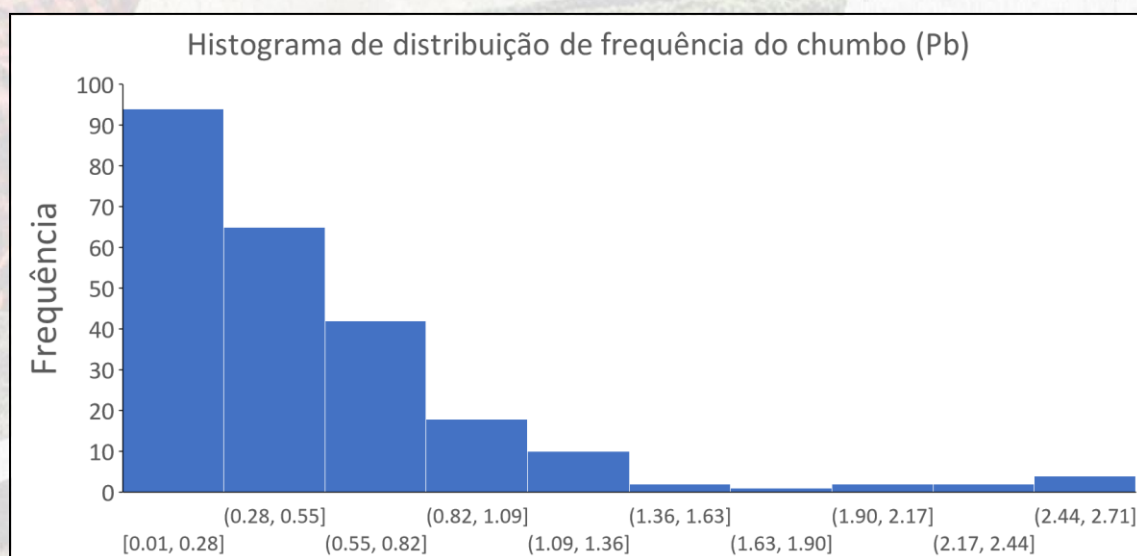
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 25 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de níquel (Ni) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



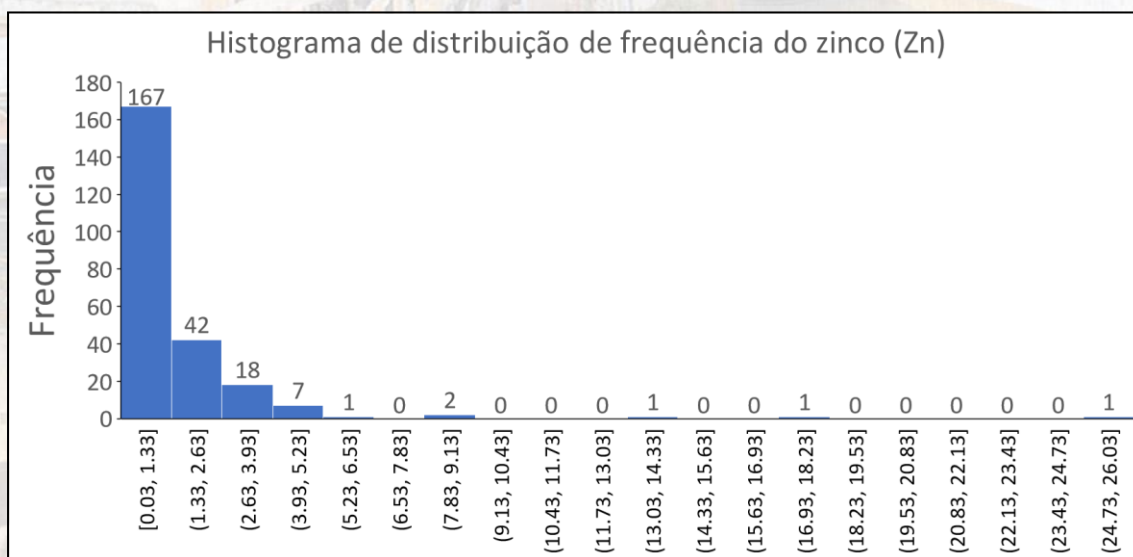
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 26 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de chumbo (Pb) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



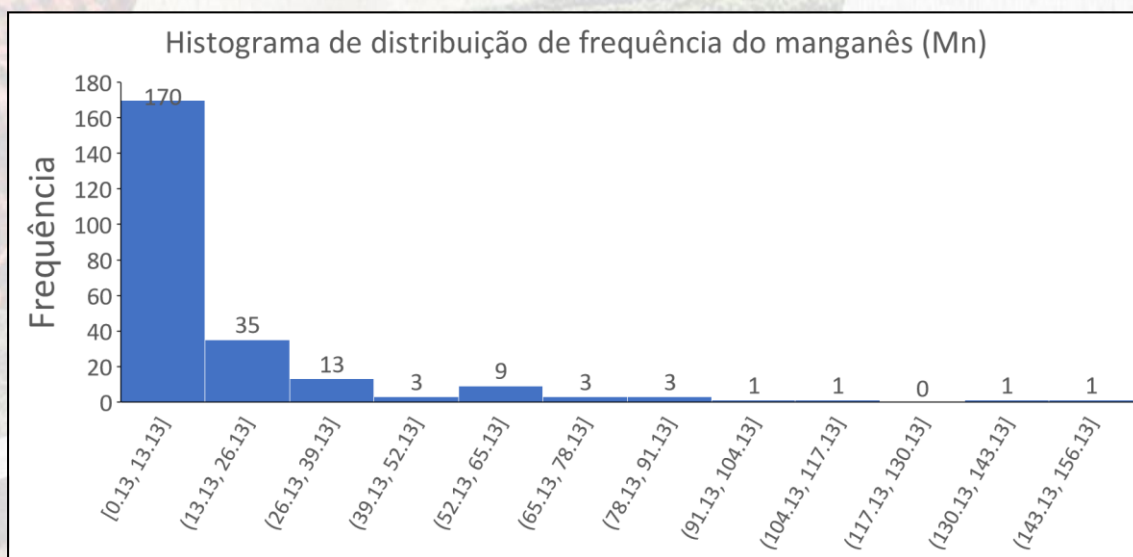
Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 27 – Histograma de distribuição de frequência do conteúdo de zinco (Zn) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

Gráfico 28 – Histograma de distribuição de frequência do manganês (Mn) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão - Brasil



Fonte: Registro da Pesquisa.

O conteúdo de cádmio (Mapa 14), crômio (Mapa 15), cobre (Mapa 16), níquel (Mapa 18), zinco (Mapa 20) e manganês (Mapa 21) apresentou mapas de variabilidade espacial com similaridade na distribuição das zonas com maior concentração destes elementos. Naturalmente estes elementos químicos são encontrados em baixas quantidades na natureza, e por essa razão o seu monitoramento para futura determinação de valores de referência se faz necessário, considerando que em quantidades elevadas podem contribuir para depauperamento da saúde humana, ademais de seu potencial poluente no meio ambiente e da dificuldade para se recuperar áreas contaminadas.

Para o Estado do Maranhão não há estudos que determinam valores de referência destes metais, por essa razão este estudo permite o delineamento de um limiar para estes elementos. No entanto, é preciso considerar que estes elementos foram extraídos por DPTA, e por essa razão nossos resultados compreendem apenas indicações do comportamento espacial, devendo no futuro ser determinados por metodologia específica a fim de determinar os valores totais destes elementos no solo, e por sua vez a determinação de valores de referência para o Estado do Maranhão.

Os mapas de variabilidade espacial do conteúdo de ferro (Fe, Mapa 17) e chumbo (Pb, Mapa 19) apresentaram padrão similar na distribuição das regiões com maior concentração destes elementos. De maneira geral, a região do extremo Sul do Maranhão e a região do Parque Estadual do Mirador e a região entre Humberto Campos e Santo Amaro apresentaram os menores valores associados destes elementos, que podem ser solos originados a partir de arenitos. Nas demais regiões do Estado do Maranhão são encontrados valores de Fe de até 283,09 mg dm⁻³ e de até 2,54 mg dm⁻³ para o conteúdo de chumbo, relacionados também ao material de origem, e resultando em solos vermelhos ou vermelho-amarelos. Notadamente, os óxidos de ferro e alumínio estão associados a maior acidez do solo, e nesse sentido, quando avaliamos o comportamento espacial do conteúdo de ferro (Mapa 17) e do mapa do pH (Mapa 6) é possível visualizar que ambos os mapas possuem elevada similaridade espacial.

Os micronutrientes do solo, também chamados de oligoelementos, são exigidos pelas plantas em níveis de uma ou mais ordens de magnitude, menores do que os macronutrientes (BRADY; WEIL, 2014). A legislação brasileira classifica os seguintes elementos como micronutrientes: boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, cobalto, silício e níquel (BRASIL, 2020); e são expressos nas análises foliares em mg kg⁻¹, e nas análises de solo, em mg dm⁻³ (PREZOTTI; MARTINS, 2013).

De acordo com Brady (1983), os micronutrientes estão associados a certos processos essenciais às plantas, como a influência mediante certos sistemas de enzimas. Por exemplo, cobre, ferro e molibdênio têm capacidade para agir como *portadores de elétrons* no sistema enzimático que produz as reações de oxidação e redução nos vegetais (FINKLER *et al.* 2018). Aparentemente, tais reações, essenciais ao desenvolvimento e à reprodução dos vegetais não sobrevivem na ausência

desses micronutrientes (BRADY; WEIL, 2014). Zinco, manganês, cobre, cloro e níquel também funcionam no sistema de enzimas necessário para as importantes reações do metabolismo vegetal. O boro é fundamental para processos de divisão e alongamento celular (MARSCHNER, 1995). Santos (2004) menciona que o ferro faz parte de enzimas relacionadas com os processos de oxidação e redução e de enzimas responsáveis pela síntese da clorofila. O molibdênio é cofator da enzima nitrato redutase; essa enzima atua no primeiro passo da redução do nitrogênio nítrico por plantas superiores, sendo, portanto, de fundamental importância na incorporação de nitrogênio inorgânico em moléculas orgânicas complexas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Brady (1983) destaca que as principais funções dos diferentes micronutrientes nos vegetais, são:

- a) Zinco (Zn): Formulação do crescimento hormonal, promoção da síntese proteica, maturação e produção das sementes e dos grãos;
- b) Ferro (Fe): Síntese da clorofila, oxidação e redução na respiração, componente de algumas enzimas e proteínas;
- c) Cobre (Cu): Ação catalisadora na respiração, componente enzimático, síntese da clorofila, metabolismo dos carboidratos e das proteínas;
- d) Boro (B): Síntese das proteínas, metabolismo do nitrogênio e dos carboidratos, desenvolvimento do sistema radicular, formação dos frutos e sementes e relações com a água;
- e) Manganês (Mn): Metabolismo do nitrogênio e dos ácidos inorgânicos, assimilação do bióxido de carbono (fotossíntese), desintegração dos carboidratos, formação do caroteno, da riboflavina e do ácido ascórbico;
- f) Molibdênio (Mo): Fixação simbiótica do nitrogênio e síntese da proteína.

Segundo Vany e Pablobolivera (2009), caso haja deficiência ou níveis muito elevados de micronutrientes no solo (denominados níveis de toxicidade), as plantas apresentam diferentes sinais. Alguns dos principais sinais que as plantas apresentam quando ocorre deficiência ou toxicidade nutritiva nos solos, são:

- a) **Cálcio:** folhas novas com má formação ou sem crescimento. Folhas existentes mantêm a cor verde;
- b) **Ferro:** folhas novas em tons amarelados/ brancos, com veios verdes. Folhas maduras com aparência normal;
- c) **Nitrogênio:** folhas superiores com cor verde-claro. Folhas inferiores amareladas. Folhas antigas amareladas e repicadas;

- d) **Potássio:** bordas e pontas amareladas, especialmente em folhas mais novas. Pontos amarelados ou mortos aparecem nas folhas;
- e) **CO₂:** manchas brancas nas folhas. Crescimento atrofiado. Plantas morrendo;
- f) **Manganês:** pontos amarelos e/ou buracos nas folhas entre os veios;
- g) **Fosfato:** folhas mais escuras do que o normal. Perda de folhas;
- h) **Magnésio:** folhas mais baixas ficando amareladas de fora para dentro. Os veios das folhas permanecem verdes.

Na medida em que ocorrem a decomposição mineral e a formação do solo, as formas minerais dos micronutrientes se modificam, da mesma forma que os macronutrientes (FINKLER *et al.* 2018). Formam-se óxidos e, em alguns casos, sulfetos de certos elementos, como o ferro, o manganês e o zinco (BRADY; WEIL, 2014).

As principais fontes naturais dos micronutrientes, de acordo com Brady (1983), são:

- a) Ferro: Óxidos, sulfetos e silicatos;
- b) Manganês: Óxidos, silicatos e carbonatos;
- c) Zinco: Sulfetos, óxidos e silicatos;
- d) Cobre: Sulfetos, carbonatos óxido-hidratados;
- e) Boro: Borossilicatos, boratos;
- f) Molibdênio: Sulfetos, molibdatos;
- g) Cloro: Cloretos;
- h) Cobalto: Silicatos.

O conhecimento da ocorrência, da reação e do movimento dos micronutrientes no solo é muito importante para que se possa analisar o comportamento dos micronutrientes no sistema solo-planta (CAMARGO, 2006). As formas químicas dos micronutrientes são modificadas à medida que o solo vai se formando e os seus minerais se intemperizando (LOPES, 1998).

A quantidade e a disponibilidade de micronutrientes para as plantas dependem muito da mineralogia das rochas que dão origem aos solos (COELHO; VERLENGIA, 1973). Há uma grande correlação entre o teor de argila e o conteúdo de micronutrientes (MALAVOLTA, 1976). Solos com baixos teores de argila, ácidos e com baixo teor de matéria orgânica são potencialmente deficientes em micronutrientes (SENGIK, 2003). Segundo Brady e Weil (2014), quando um nutriente está presente em níveis muito baixos, o crescimento das plantas pode ser restringido devido a esse fornecimento insuficiente (nível de deficiência), assim que o nível de nutrientes é aumentado, as plantas respondem, absorvendo mais do nutriente e aumentando seu crescimento. Desta maneira, os dados apresentados

neste relatório compreendem uma importante ferramenta de gestão e planejamento de ações públicas e privadas, visando o desenvolvimento sustentável considerando as limitações e maximizando locais com níveis desejados de determinados elementos químicos.

Quando o nutriente atinge um nível de disponibilidade suficiente para atender às necessidades das plantas (nível de suficiência), um maior acréscimo desse nível terá pouco efeito no crescimento dos vegetais, embora sua concentração possa continuar aumentando no tecido vegetal. Em algum nível de disponibilidade, a planta vai absorver muito do nutriente para o seu próprio desenvolvimento (intervalo de toxicidade), causando, em vez disso, reações fisiológicas adversas (BRADY, 1983; BRADY; WEIL, 2014).

Para os macronutrientes, a faixa de suficiência é muito ampla e a toxicidade raramente ocorre; porém, para os micronutrientes, a faixa entre os níveis deficientes e tóxicos pode ser estreita, tornando bastante real a possibilidade de toxicidades (FINKLER *et al.* 2018), conforme Tabelas 6 e 5.

Tabela 5 – Concentrações consideradas adequadas de elementos na matéria seca das plantas em geral

Micronutrientes	$\mu\text{g dm}^{-3}$
Molibdênio	0,1
Cobre	6
Zinco	20
Manganês	50
Ferro	100
Boro	20
Cloro	100

Fonte: Sengik (2003).

Tabela 6 – Limites de interpretações dos teores de micronutrientes nos solos ($\mu\text{g dm}^{-3}$)

Teor	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
Baixo	< 0,20	< 0,2	< 4	< 1,2	< 0,5
Médio	0,21 – 0,60	0,3 – 0,80	5 – 12	1,3 – 5,0	0,6 – 1,2
Alto	> 0,60	> 0,80	> 12	> 5,0	> 1,2

Fonte: Sengik (2003).

Antes de conhecer melhor os fatores que afetam os micronutrientes nos solos, deve-se ter em mente que os micronutrientes se dividem em dois grupos distintos, segundo Sengik (2003):

- a) Catiônicos: são representados por cobre, ferro, manganês, níquel e zinco. Eles são de natureza metálica, estando presentes nos solos e substratos na forma de óxidos, hidróxidos e sais, sendo insolúveis em valores altos de pH. São elementos químicos com densidade acima de 5 kg dm^{-3} , por isso são considerados metais pesados.
- b) Aniônicos: são representados por boro, cloro e molibdênio. São não metais, com exceção do molibdênio, que é um metal de transição.

O ferro, o manganês, o zinco, o cobre e o níquel (micronutrientes catiônicos) são influenciados de forma diferente pelo ambiente do solo e entre os principais fatores de acordo com Brady e Weil (2014), são os listados a seguir:

- a) pH: em valores de pH baixos, a solubilidade dos micronutrientes catiônicos é alta e, à medida que o pH aumenta, a solubilidade e a disponibilidade diminuem para as plantas. Quando o pH se eleva, a forma iônica dos micronutrientes catiônicos é alterada, primeiro para íons hidróxi e, finalmente, para os oxi-hidróxidos ou óxidos insolúveis. A calagem excessiva de um solo ácido frequentemente leva a deficiências de ferro, manganês, zinco, cobre e, às vezes, boro.
- b) Matéria orgânica: a decomposição microbiana dos resíduos vegetais orgânicos e de esterco animais pode resultar na liberação de micronutrientes - pelos mesmos mecanismos que permitem a liberação dos macronutrientes. Os produtos orgânicos, ricos em micronutrientes, têm sido utilizados como fonte de nutrientes em solos deficientes nesses elementos. Por exemplo, compostos de materiais orgânicos como os subprodutos florestais (turfa, esterco animal e resíduos vegetais), enriquecidos com ferro, têm sido considerados eficazes em solos com deficiência de ferro.
- c) Estado de oxidação: a interação da acidez do solo e da aeração na determinação da disponibilidade de micronutrientes é de grande importância prática. O ferro, o manganês e o cobre são geralmente mais disponíveis em condições de drenagem limitada ou em solos alagados. Já os solos muito ácidos que são mal drenados podem fornecer quantidades tóxicas de ferro e manganês.

Os micronutrientes aniônicos (cloro, molibdênio e boro) são bastante diferentes quimicamente, por isso poucas generalizações podem ser feitas sobre suas reações no solo (BRADY; WEIL, 2014).

No caso do cloro, as condições naturais do solo que reduzem a disponibilidade e a utilização desse elemento não são conhecidas, e adições de cloro proveniente da atmosfera, além dos sais de adubos, como o cloreto de potássio, são suficientes para atender às necessidades da maioria das culturas (FINKLER *et al.* 2018).

A disponibilidade do boro está relacionada ao pH do solo, sendo maior em solos ácidos, embora esteja mais disponível em condições de pH baixo, ele também é facilmente lixiviado em solos ácidos e arenosos (MORAGHAN; MASCAGNI JR., 1991).

O boro também é um componente da matéria orgânica do solo que pode ser liberado pela

mineralização microbiana, e, conseqüentemente, a matéria orgânica serve como um importante reserva de boro em muitos solos e exerce um controle considerável sobre a disponibilidade desse nutriente (BRADY; WEIL, 2014).

Com relação ao Boro (B), nesse trabalho, os solos analisados não apresentaram valores detectáveis, não significa ausência, mas valores muito abaixo do limite detectável para o método DTPA extrair da solução do solo, sendo necessário mais estudos sobre o conteúdo de boro com solução de Melich-3 no Maranhão.

O pH do solo é o fator mais importante do molibdênio, pois influencia a absorção e a disponibilidade dele para as plantas, e em valores de pH baixo, o molibdênio é absorvido pelas argilas silicatadas e, principalmente, por óxidos de ferro e de alumínio por meio da troca e da retenção com íons oxi-hidróxidos na superfície das partículas coloidais (CATANI *et al.* 1970; SIQUEIRA; VELLOSO, 1978). A calagem de solos ácidos normalmente aumenta a disponibilidade de molibdênio (BORROW, 1970).

O desenvolvimento tecnológico industrial, a busca desenfreada de riquezas naturais e a falta de planejamento para a recuperação do meio ambiente trazem diversas conseqüências negativas, como é o caso das grandes catástrofes naturais, de terríveis enchentes e do aquecimento global (BARSANO; BARBOSA; VIANA *et al.*, 2014). Assim, o homem afeta negativamente a qualidade dos solos, e de acordo com Santos e Daibert (2014), a poluição do solo ocorre devido à contaminação por substâncias capazes de provocar alterações significativas em sua estrutura natural.

Abiko e Moraes (2009) afirmaram que a poluição do solo ocorre basicamente de duas formas: atividades humanas que provocam alterações em suas características e lançamento de efluentes. Entre essas fontes de poluição, considera-se: aplicação de agentes químicos; presença de dejetos oriundos de animais; despejos de resíduos sólidos; lançamento de efluentes domésticos ou industriais; atividades que possam resultar na erosão do solo.

Quando um contaminante é aplicado no solo, pode ocorrer a retenção desse composto na matriz coloidal ou mesmo na solução do solo. Assim, o solo fica sujeito aos processos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos de degradação. A dinâmica dessa substância tóxica com o solo depende de inúmeros fatores, como as características específicas do contaminante e as do solo. Por exemplo, solos argilosos, com granulometria fina e, portanto, com menores espaços entre os grãos do solo, tendem a ter maior capacidade de retenção de elementos pesados e a apresentar elevados níveis de contaminação. Desse modo, a composição do poluente interfere diretamente nas interações com as partículas orgânicas e inorgânicas do solo.

O Mapa 16 apresenta o mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cobre do solo. Verifica-se que os maiores valores de cobre estão alocados nas regiões: extremo Sul, Centro, Leste e

Sudoeste do Maranhão, havendo manchas de variabilidade espacial de cobre dispostos principalmente na zona de transição entre o Bioma Cerrado e Amazônia, destacando a importância da conservação destes ecótonos.

De acordo com Lopes (1999), o cobre apresenta as seguintes características:

- a. Maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5;
- b. Solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica podem tornar-se deficientes com cobre com função de perdas por lixiviação;
- c. Solos argilosos apresentam menores probabilidades de apresentarem deficiência desse micronutriente;
- d. Presença excessiva de íons metálicos, como ferro, manganês e alumínio, reduz a disponibilidade de cobre para as plantas. Esse efeito é independente do tipo de solo.

A toxidez de cobre pode ser consequência do uso constante e excessivo de fungicidas à base de Cobre, lodo de esgoto e lixo urbano contaminados, poluição do ar, uso excessivo de dejetos líquidos de suínos e aves, os quais podem conter altos níveis de Cobre em razão dos suplementos minerais adicionados à ração. Além dos problemas elencados, a toxicidade de Cobre pode induzir deficiência de ferro (LIMA FILHO, 2016).

O Mapa 17 apresenta o mapa de variabilidade espacial do conteúdo de ferro do solo. Verifica-se que os maiores valores de ferro estão alocados nas regiões: extremo Sul, Centro, Leste, Sudoeste e parte do Bioma Costeiro do Maranhão, havendo manchas de variabilidade espacial de ferro dispostos principalmente na zona de transição entre o Bioma Cerrado e Amazônia, destacando a importância da conservação destes ecótonos.

O ferro é um nutriente absorvido predominantemente em condições aeróbicas e fisiológicas de pH, como Fe^{2+} , no qual caracteriza-se por possuir mobilidade intermediária nas plantas, fazendo com que a deficiência do nutriente ocorra primeiro nas folhas novas, devido à baixa remobilização a partir das folhas velhas (SFREDO; BORKERT, 2004).

Na deficiência de Fe, há menos RNA e menor taxa de síntese de proteínas. 75% do Fe encontra-se nos cloroplastos e, conseqüentemente, na sua deficiência, ocorre clorose das folhas jovens, pela diminuição da quantidade de cloroplastos e do teor de clorofila (BRADY; WEIL, 2014).

A deficiência de ferro causa clorose uniforme das folhas jovens, que pode também ser induzida pelo excesso de cobalto aplicado nas sementes. Além desse problema em solos mal drenados, o excesso de chuva pode induzir a toxicidade de Fe, ao aumentar a redução desse elemento no solo por falta de aeração, conseqüentemente, o aumento da absorção pela planta. (SFREDO; BORKERT, 2004).

De acordo com Lopes (1999) o ferro apresenta as seguintes características:

- a) Maior disponibilidade na faixa de pH 4.0 a 6.0;
- b) A deficiência de ferro, na maioria das vezes, é causada por desequilíbrio com relação a outros metais, tais como molibdênio, cobre e manganês;
- c) Outros fatores que podem levar a deficiência de ferro são: excesso de fósforo no solo, efeitos combinados de pH elevado, calagem excessiva, encharcamento, baixas temperaturas e altos níveis de bicarbonato.

O Mapa 18 é apresentado o mapa de variabilidade espacial do conteúdo de Níquel do solo. Verifica-se que os maiores valores de níquel estão alocados nas regiões: extremo Sul, Centro, Leste, Sudoeste e parte do Bioma Costeiro do Maranhão, havendo manchas de variabilidade espacial de níquel dispostos principalmente na zona de transição entre o Bioma Cerrado e Amazônia, destacando a importância da conservação destes ecótonos. Os teores disponíveis de Ni no solo dependem de diversos fatores, tais como os teores de argila, matéria orgânica do solo (MOS), óxidos de ferro (Fe) e manganês (Mn), pH, competição pelos sítios de adsorção, reações de complexação e constituição mineralógica do solo (ADRIANO, 2001).

O níquel (Ni) encontra-se entre os metais pesados mais comuns em solos (BERTON *et al.*, 2006). Existem consideráveis variações do seu conteúdo em função do material de origem, sendo maior o teor em solos desenvolvidos de serpentina e menor em solos derivados de granitos e arenito (MITCHELL, 1945; ADRIANO, 2001). Nos materiais orgânicos do solo, o níquel encontra-se formando complexos (CROOKE, 1956). Além do Ni constituinte do material de origem, a atividade antrópica por meio de queima de combustíveis fósseis, atividades metalúrgicas, utilização de defensivos, adição de lodo de esgoto e fertilizantes (principalmente fosfatados) contribuem para o acréscimo do nutriente nos solos (MCBRIDE; SPIERS, 2001).

O Mapa 20 apresenta o mapa de variabilidade espacial do conteúdo de Zinco do solo. Verifica-se que os maiores valores de zinco estão alocados nas regiões: Centro, Sudoeste e parte do Bioma Costeiro do Maranhão, havendo manchas de variabilidade espacial de zinco dispostos principalmente na zona de transição entre o Bioma Cerrado e Amazônia, destacando a importância da conservação destes ecótonos. A deficiência do zinco é bastante comum em solos arenosos, ácidos e lixiviados, ou solos neutros e alcalinos, ou ainda, em solos com baixo teor de zinco em que foi feita adubação fosfatada elevada, devido a interação negativa P x Zn. Além desses problemas, o zinco está intimamente associado a matéria orgânica do solo, de modo que a erosão e o nivelamento do solo podem agravar sua deficiência (SENGIK, 2003).

A deficiência do zinco diminuí o nível de RNA, prejudicando a síntese de proteínas; causa

encurtamento dos inter-nódios, com produção de folhas pequenas, cloróticas e lanceoladas, e as folhas mais novas ficam com clorose internerval de coloração amarelo-ouro e as nervuras com cor verde-escura (SFREDO; BORKERT, 2004). Solos ácidos aumentam a biodisponibilidade do Zn, e o uso contínuo de lodo de esgoto ou lixo urbano no solo pode aumentar o nível desse elemento acima dos limites permissíveis, como é o caso de áreas que recebem esterco líquido de suínos e tendem a acumular Zn, pois os animais normalmente recebem uma dieta rica nesse elemento, para prevenção da paraqueratose (LIMA FILHO, 2006).

O Mapa 21 apresenta o mapa de variabilidade espacial do conteúdo de manganês do solo. Verifica-se que os maiores valores de manganês estão alocados nas regiões: Centro, Sudoeste e parte do Bioma Costeiro do Maranhão, havendo manchas de variabilidade espacial de manganês dispostos principalmente na zona de transição entre o Bioma Cerrado e Amazônia, destacando a importância da conservação destes ecótonos. A disponibilidade de manganês para as plantas é altamente dependente do pH do solo, fazendo com que o aumento do pH pela calagem diminua o teor do nutriente, com aparecimento dos sintomas de deficiência nas folhas. Embora essa influência direta do pH na disponibilidade dos micro-nutrientes (Mn, Fe, Cu e Zn), em condições de campo, tenha o efeito na redução da disponibilidade, que ocorre primeiramente com o Mn (SFREDO; BORKERT, 2004).

Vários fatores podem levar as plantas a exibir níveis excessivos de manganês e, conseqüentemente, baixa produtividade: solos ácidos; solos com baixa drenagem ou compactados; falta de calagem ou excesso de gessagem, induzindo à maior disponibilidade de Mn no solo; altas temperaturas do solo; esterilização de solo (principalmente com baixos níveis de Fe) com vapor d'água, geralmente em cultivos de estufa; e chuva ácida. (LIMA FILHO, 2006).

Segundo Campos e outros (2009), o cádmio é um elemento químico cuja densidade excede $5,0 \text{ g cm}^{-3}$, sendo classificado como um metal pesado, diferindo de outros agentes tóxicos por não serem sintetizados e nem destruídos pelo homem.

No Mapa 14 verifica-se que a variabilidade a qual representa a variabilidade espacial do cádmio (Cd) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão, possui áreas de concentração nas regiões leste e sul do estado. Este elemento químico se encontra em escassez no meio natural, sendo de grande importância o seu estudo e mapeamento.

O cádmio é um elemento encontrado em depósitos naturais como minérios e contém outros elementos. A maior utilização de cádmio é, principalmente, para revestimento de metal, incluindo equipamentos de esmaltes para cozimento, maquinário, transporte, fotografia, fósforos de televisão. Ele também é usado em baterias de níquel-cádmio e baterias solares e em pigmentos. (ALESSI, 2018)

Ainda de acordo com Alessi (2018, o cádmio (Cd) é um elemento não essencial para fauna, flora e seres humanos, entretanto, apresenta um grave problema ambiental e para saúde quando

ocorre o acúmulo, de forma natural, como observado na (Gráfico 11), é um recurso com pouca abundância, tendo assim sua maior fonte de acúmulo pela ação antrópica, por meio do descarte de resíduos mal remanejados, da indústria do cimento, esgoto público, resíduos industriais, mineração, fábricas metalúrgicas e uso indiscriminado de fertilizantes.

De acordo Brasil (2009), o valor máximo permitido para o solo varia de acordo com sua utilização, sendo 3mg kg^{-1} para cenário agrícola - APM_{ax}, 8 mg kg^{-1} residencial e 20 mg kg^{-1} para cenário industrial. Diferente do solo, a quantidade de cádmio para que a água seja consumida sem danos à saúde deve ser inferior a $0,005\text{ mg L}^{-1}$. (BRASIL, 2011).

Conforme Robson (2014), o crômio (Mapa 15) é encontrado naturalmente em rochas, animais, plantas, solo e água. As fontes mais recorrentes de emissão antrópica que contaminam o ambiente são decorrentes da soldagem de ligas metálicas, fabricação de cimento, fundição, manufatura de aço e ligas metálicas, indústrias de galvanoplastia, lâmpadas, minas, resíduos sólidos, curtumes, conservantes e fertilizantes (PADIAL, 2008).

O mapa de variabilidade espacial do conteúdo de crômio (Mapa 15) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, dentro do estado do Maranhão, descreve que o crômio possui baixa ocorrência, havendo regiões de concentração mais elevadas nas regiões sul, leste e central do estado.

Em concordância com Robson (2014), o crômio é um micronutriente de grande relevância para o metabolismo de animais, no qual, tanto o excesso quanto a falta podem acarretar disfunções fisiológicas. Ainda sobre o referido autor, devido ao alto potencial de oxidação, o crômio provoca rejuízo à membrana de células das plantas e microrganismos, podendo gerar o processo de desativação de enzimas. Para os seres humanos, segundo Rezende (2009), o crômio é excepcionalmente tóxico, podendo se acumular no organismo, provocando desde lesões nos olhos, pele e mucosa até perfurações no septo nasal e câncer de pulmão. Desta maneira, o conhecimento de regiões no Estado do Maranhão com maiores concentrações naturais deste elemento favorece o planejamento e gestão de políticas públicas com vistas a manutenção da qualidade de vida da população.

De acordo com a Resolução CONAMA n.º 430/2011, o valor para que o crômio seja lançado em efluentes de maneira direta é de $0,1\text{mg L}^{-1}\text{ Cr}^{+6}$ e $1,0\text{ mg L}^{-1}\text{ Cr}^{+3}$ para que não ocorra a contaminação do corpo hídrico e nem signifique um potencial problema à saúde humana, sendo importante destacar que a espécie Cr^{+6} possui um grau de maior periculosidade ao ser humano (BRASIL, 2011).

O chumbo é um dos metais mais antigos usados pelo homem e muitas das primitivas aplicações têm persistido através dos séculos. Ele era conhecido pelos antigos egípcios, que o utilizaram há mais de oito mil anos. É o sexto metal de maior utilidade industrial (ALESSI, 2018).

O mapa de variabilidade espacial do conteúdo de chumbo (Mapa 19) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro dentro do Estado do Maranhão, descreve que o chumbo possui grande ocorrência, havendo regiões de concentração mais elevadas nas regiões sul, leste, central e nordeste do estado.

De acordo com Alloway (2013), conforme citado por Samuel e outros (2020): os metais pesados e semimetais traços presentes nos solos podem ser derivados do material parental do solo (fonte litogênica) e existem muitas fontes antropogênicas de contaminação de metais pesados que afetam tanto solos agrícolas quanto solos urbanos.

Segundo Robson (2014), sua utilização é vasta e abrange a fabricação de baterias, ligas metálicas, uso em munição, cosméticos, proteção contra Raios-X, soldas, revestimentos de cabos elétricos, construção civil, pigmentos, além de ser utilizado durante muito tempo como aditivo na gasolina. Devido a sua diversidade de função na área industrial, o chumbo é lançado para a atmosfera em grande quantidade em área urbana por incineração de resíduos e descarga de afluentes. Uma fonte elevada de chumbo provém de resíduos metalúrgicos/sucata (NOALE, 2007).

Por este motivo, o chumbo está entre as substâncias que podem vir a contaminar o solo, águas subterrâneas e superficiais. Dado este fato, esta substância é monitorada por órgãos ambientais nacionais e internacionais, como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e United States Environmental Protection Agency (USEPA). Estes órgãos estabelecem valores de concentração padrões da substância nocivas à saúde humana. Atualmente os valores variam entre 17 mg kg⁻¹ (valor referência de qualidade), 72 mg kg⁻¹ (valor de prevenção) e 150 mg kg⁻¹ (valor de investigação agrícola - CETESBE, 2016).

O níquel é um metal de coloração branco-prateado, obtido através da exploração dos minérios sulfetados e lateríticos (ANDRADE et al., 2000). Ocorre na natureza nas formas NiS, NiAsbO₄, NiSbO₄, e em quantidades de até 5% em forma de sulfeto chamada pirrotita (ORTIZ, 2000). Segundo Favero (2020), o níquel também pode ser obtido através do mineral garnierita, um tipo de silicato hidratado composto por magnésio e níquel.

O mapa de variabilidade espacial do conteúdo de níquel (Mapa 18) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, dentro do estado do Maranhão, descreve que o níquel possui pouca ocorrência, havendo concentração mais elevadas nas regiões, leste, central e sudoeste do estado.

O níquel apresenta resistência a altas temperaturas, resistência à oxidação e à corrosão condutividade térmica por conta dessas características, é amplamente utilizado na indústria, tanto em sua forma pura como em ligas, em aproximadamente 300 mil produtos para consumo, indústria, material militar, moedas, transporte/aeronaves em aplicações voltadas para construção civil. (ANDRADE et al., 2000)

De acordo com Bezerra e outros (2020), as atividades antrópicas são determinantes para aparição de níquel em um determinado local, tais como, a liberação pelas fábricas em operações de processamento de metais e a queima de carvão e óleo. Segundo Simões (2007), conforme citado por Bezerra e outros (2020), o níquel pode agir como estimulante de doenças cardíacas e por algumas variedades de carcinomas.

Em vista dos males que podem ser causados à saúde humana e a possibilidade de contaminação de recursos naturais como solo, corpos hídricos subterrâneos ou na superfície, o níquel é monitorado por órgão ambientais, como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Este órgão estabelece valores padrões de concentração das substâncias nocivas à saúde. Atualmente os valores variam entre 13 mg kg⁻¹ (valor de referência), 30 mg kg⁻¹ (valor de prevenção), 150 mg kg⁻¹ (valor de intervenção agrícola). (CETESBE, 2016).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo é sistema dinâmico e vivo, e suas complexidades locais e/ou regionais devem ser consideradas no processo de planejamento sobre o uso e ocupação da paisagem, sobretudo no que diz respeito à geração de cenários a curto, médio e longo prazo. Possui um papel primordial para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, pois o estoque de carbono no solo é maior que o da atmosfera. No entanto, o desenvolvimento acelerado, impulsionado por pressões econômicas em diferentes espectros aumentam a demanda por áreas de produção e, nos últimos anos, o Estado do Maranhão tem sofrido crescente pressão imobiliária, fazendo com que a cobertura vegetal seja suprimida, com sérias consequências para a manutenção da biodiversidade do solo e condições naturais de fertilidade. Nesta perspectiva, este trabalho apresenta uma visão holística sobre características intrínsecas do solo, até então desconsideradas pelo processo de gestão e desenvolvimento de políticas públicas. As principais considerações sobre este trabalho são:

- a) O presente estudo foi desenvolvido e envolveu amostras coletadas em áreas com vegetação natural no Estado do Maranhão, e compreende o maior esforço depois do Projeto RADAM Brasil, que possibilitou a organização de uma base de dados a respeito da fauna invertebrada e atributos químicos do solo com um legado inestimável para a conservação ambiental e desenvolvimento sustentável. O conjunto de informações coletadas, analisadas e interpretadas fornecerão subsídios a curto, médio e longo prazo para o planejamento ambiental do setor público e setor privado, além de subsidiar o Poder Judiciário a respeito dos limites ambientais no escopo do Eixo Temático Biodiversidade dos Solos;
- b) Destacamos que o presente trabalho foi desenvolvido na escala de 1:250.000 que permitiu o planejamento em escala regional, e que é o foco do Zoneamento Ecológico Econômico dos Biomas Cerrado e Costeiro do Maranhão, e por essa razão, é importante que mais estudos sejam realizados para que a escala e o nível de detalhamento sejam aumentados, e assim, representar as particularidades locais dos municípios do Estado do Maranhão, uma vez que estudos futuros já contarão com base de dados consistentes e bastante representativa no que se refere à diversidade da paisagem do Estado do Maranhão;
- c) O Estado do Maranhão possui elevada variabilidade para a abundância de organismos da fauna invertebrada do solo e para a riqueza de grupos taxonômicos, indicando que a região do extremo Sul do Maranhão, próximo ao Parque Nacional das nascentes do Rio Parnaíba e parte da região Leste Maranhense apresentem a menor diversidade de organismos da fauna do solo, e o uso e ocupação desordenados podem causar sérios problemas de ordem ambiental, devido a perda de biodiversidade;

- d) O conteúdo de carbono orgânico do solo, por sua vez é maior na região extremo Sul do Estado do Maranhão e nas franjas de transição dos Biomas Cerrado e Amazônia, indicando a importância para a conservação destes ecótonos, que possuem características próprias no que diz respeito à biodiversidade e conservação, uma vez que a cobertura vegetal tem diminuído nos últimos anos. É importante destacar o papel destes *clusters* com maior conteúdo de carbono orgânico para a mitigação das mudanças climáticas. No entanto, é preciso levar em consideração que mesmo as regiões com menor conteúdo de carbono orgânico no solo, possuem papel fundamental para o equilíbrio ambiental, e que perdas de carbono para a atmosfera constituem um dos grandes desafios para os sistemas produtivos do Estado do Maranhão, apontando assim a necessidade de que mais estudos sejam realizados, para aumentar o conteúdo de carbono do solo nas nossas condições tropicais;
- e) No que diz respeito à fertilidade natural dos solos maranhenses, existe uma grande potencialidade de produção em quase toda a totalidade das áreas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão, com exceção do extremo Sul do Estado do Maranhão e do Bioma Costeiro, que possuem limitações com relação à fertilidade natural dos solos. O uso e ocupação desordenado e sem respeitar as características intrínsecas dos solos dessa região podem acarretar sérios problemas de ordem ambiental, pois se estes solos forem degradados o custo para recuperação seria extremamente elevado. Outro ponto a ser ressaltado é que o valor agregado à sociedade pela sua conservação possui ganhos incalculáveis para a sociedade, sobretudo na região limítrofe com o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. É importante evidenciar que as regiões com menor fertilidade natural também têm os maiores problemas com relação a acidez do solo.
- f) Foi evidenciada relação espacial entre o conteúdo de ferro (Fe) e a acidez do solo (pH), que se relaciona ao material de origem (geologia) dos solos das regiões com menores valores de Fe e pH.
- g) O conteúdo de cádmio (Cd), crômio (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni) e zinco (Zn) apresentou similaridade no comportamento da distribuição espacial das regiões com maior conteúdo destes elementos, no entanto, é preciso destacar que, de maneira geral, os valores encontrados são baixos e associados à precisão do método de extração destes elementos (DTPA).

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A.; MORAES, O. B. **Desenvolvimento urbano sustentável**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2009.
- ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. 2.ed. New York, Springer, 2001. 867p.
- ADUAN, ROBERTO ENGEL. **Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 25 p. Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 119.
- ALESSI, Ismael Atila Gehlen. **Voltametria de pulso diferencial como alternativa no monitoramento de cádmio, chumbo e cobre em lodo de estações de tratamento de água para sua possível utilização na agricultura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Química Industrial). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2018.
- ANDRADE, M. L. A.; CUNHA, L. M. D. S.; GANDRA, G. T.; RIBEIRO, C. C. **Níquel: novos parâmetros de desenvolvimento**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Bndes, 2000.
- AQUINO, A. M. **Manual para coleta de macrofauna do Solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 21p, 2001.
- AQUINO, R.E.; CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I.A.; TEIXEIRA, D.B.; CUNHA, J.M. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, **Brazil. R. Bras. Ci. Solo**. 2015. p. 21-30.
- ARAÚJO, M. S. Avaliação da fertilidade do solo e a supressão da mata ciliar de uma área do rio Parnaíba: impactos ambientais em uma perspectiva educacional. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 41061-41077, 2020.
- ARTIOLI, Camila Graziela; CORREA, Rodrigo Studart. **Use of geotextile collars in the revegetation of a fragment of gallery forest in the Brasilia Botanical Garden, Brazil: seedlings survival and development**. *Ciencia Florestal*, 2019, v.29, n.2, p.795.
- AYUKE, F. O.; BRUSSAARDA, L.; VANLAUWE, B.; SIX, J.; LELEI, D. K.; KIBUNJA, C. N.; PULLE, M. M. **Soil fertility management: impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation**. *Applied Soil Ecology*, v.48, 2011. p.53-62.
- AZEVEDO, J. R. de; BUENO, C. R. P. Potencialidades e limitações agrícolas de solos em assentamento de reforma agrária no município de Chapadinha -MA. **Revista Scientia Agraria**. Curitiba jul./dez., v. 17, n. 3, 2016. p. 1-13. Versão On-line ISSN 1983-2443. Versão Impressa ISSN 1519-1125.
- AZUL, A.M.; MENDES, S.M.; SOUSA, J.P.; FREITAS, H. **Fungal fruitbodies and soil macrofauna as indicators of land use practices on soil biodiversity in Montado**. *Agroforest Syst.*, 2011. p. 121–138.
- BACCARO, F. B.; SOUZA, J.L.P.; FRANKLIN, E.; LANDEIRO, V.L.; MAGNUSSO, W. Limited effects of dominant ants on assemblage species richness in three Amazon forests. **Ecological Entomology**, n. 37, 2012. p. 1–12.

BANDEIRA, A. G. Ecologia de cupins (Insecta: Isoptera) da Amazônia Central: efeitos do desmatamento sobre as populações. **Acta Amazonica**, v. 9, n. 3, 1979. p. 481-499.

BANGITA, B.; RAO, B. K. R. Impacts of compaction relief treatments on soil physical properties and performance of sugarcane (*Saccharum* spp.) under zonal tillage system. **Geoderma**, v. 189-190, p. 351-356, 2012.

BARDGETT, R.D., Putten, W.H., 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, 2014. p. 505-511.

BARETTA, D. *et al.* **Fauna edáfica e sua relação com variáveis ambientais em sistemas de manejo do solo**. v. 5, p. 871-879, 2014.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucária angustifolia no estado de São Paulo**. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007. 158 p.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MAFRA, A. L.; WILDNER, L. P.; MIQUELLUTI, D. J. 2003. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **R. Ci. Agrovet.**, v. 2, p. 97-106.

BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P.; VIANA, V. J. **Poluição ambiental e saúde pública**. São Paulo: Érica, 2014.

BATISTA, I., CORREIA, M. E. F., PEREIRA, M. G., BIELUCZYK, W., SCHIAVO, J. A., ROUWS, J. R. C. 2014. Oxidizable fractions of total organic carbon and soil macrofauna in a croplivestock integration System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 797-809.

BEDANO, J.C., DOMÍNGUEZ, A., AROLFO, R., WALL, L.G. **Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types**. Soil Till. Resear, 2016. p. 100-109.

BELLINI, B. C.; ZEPPELINI, D. Records of collembolan fauna (Arthropoda, Hexapoda) in Paraíba State, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, n. 53, v. 3, 2009. p. 386-390.

BENAZZI, E. D. S. *et al.* Impactos dos métodos de colheita da cana-de-açúcar sobre a macrofauna do solo em área de produção no Espírito Santo – Brasil. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6. 2013. p. 3425.

BERGAMIN, A. C. *et al.* Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 681-691, 2010.

BERNABÉ, T. N. **Da escala fina à macro: avaliação da influência dos fatores ambientais sobre as múltiplas facetas da biodiversidade em opiliões**. 2019.

BERNARD, L., CHAPUIS-LAEDY, L., RAZAFIMBELO, T. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. **ISME J**. v. 6, 2012. p. 222-231.

BERTON, R. S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, S. A. L.; ABREU, C. A.; AMBROSANO, E. J.; SILVEIRA, A. P. D. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, 2006, p. 1305-1312.

BERTONCELLI, PATRICIA. O manejo de inverno e inoculação de sementes influenciam na produtividade e qualidade da silagem de milho sob sistema plantio direto 1. **Revista Ceres**, 64 (2017): 523-531.

BEZERRA, Keoma mateus *et al.* Avaliação de metais potencialmente tóxicos(CD,CU,Co,Pb<Ni), No chorume produzido pelo lixão de coxim-Ms, Brasil. **Revista Bases de la Ciencia**. Equador, 2020. ISSN 2588-0764.

BIANCHI, M. D. O.; CORREIA, M. E. F. **Mensuração do consumo de material vegetal depositado sobre o solo por diplópodes**. Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2007.

BOBOT, T. E. **Profundidade de Pupação de Espécies de Anastrepha (Diptera: Tephritidae) em Dois Tipos de Solos da Região Amazônica**. X Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA. 2001.

BONNIN, J.J.; MIRÁS-AVALOS, J.M.; LANÇAS, K.P.; PAZ A. G.; VIEIRA, S.R. **Spatial variability of soil penetration resistance influenced by season of sampling**. *Bragantia*. n. 69, 2010. p. 163-173.

BORIN, Ana Luiza Dias Coelho; FERREIRA, Alexandre Cunha de Barcellos; Guimarães Daiane Cristina; SILVA FILHO, João Luis; BRITO, Giovanni Greigh. **Absorção, acúmulo e exportação de cálcio, magnésio e enxofre pelo algodoeiro**: comportamento no solo e na planta. XII Congresso Brasileiro de Algodão, 2018.

BOTTEGA, E.L.; QUIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Rev. Ciênc. Agron.** n.44, 2013. p. 1-9.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos Solos**. 7. ed. Rio de Janeiro, 1989.

BRANDÃO, C. R. F.; CANCELLO, E. M.; YAMAMOTO, C. I.; SCOTT-SANTOS, C. **Invertebrados terrestres**. Biodiversidade do estado de São Paulo. Síntese do conhecimento ao final do século XX, 5. 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 2.914**, de 12 de Dezembro de 2011. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 420**, de 28 de Dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA;.Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais; publicada no Diário Oficial da União em 30/12/2009;pg.81-84, Brasília, DF.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 61**, de 8 de Julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-61-de-8-de-julho-de-2020-266802148>. Acesso em: 23 jul. 2021.

BRAZIL, Tania Kobler; PORTO, Tiago Jordão. **Os escorpiões**. Edufba, 2011.

CABRERA, Grisel. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultado.s obtenidos en Cuba. **Pastos y Forrajes [online]**. 2012, v.35, n.4 [citado 2021-11-02], p. 346-363.

CAMARGO de, O. A. **Reações e interações de micronutrientes no solo**. Artigo em Hypertexto. 2006. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm. Acesso em: 15 jul. 2021.

CAMPOS, Antonio Eduardo Lopes *et al.* **Avaliação da contaminação do Igarapé do Sabino (Bacia do Rio Tibiri) por metais pesados, originados dos resíduos e efluentes do Aterro da Ribeira, em São Luís, Maranhão**. São Paulo. Editora: Sociedade Brasileira de Química, 2009.

CANTUÁRIA, P. C. *et al.* **Estudos da entomofauna (diptera: culicidae) de quatro estados da região Norte do Brasil para possível isolamentos de arbovírus**. 2005

CARRILLO, T., BALL, B.A.; BRADFORD, M.A.; JORDAN, C.F.; MOLINA, M. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. **Soil Biological**, 2011.

CARVALHO, C. J. B. de; RAFAEL, J. A.; COURI, M. S.; SILVA, V. C. Diptera Linnaeus, 1758. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (Eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2012. p. 701-743.

CARVALHO, JRP.; SILVEIRA, PM.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de característica químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesq. Agropec. Bras.** n. 37, 2002. pp. 1151-1159.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y., FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória Brasil (SP). **R. Bras. Ci. Solo**. n. 27. 2003. p. 695-703.

CASSAGNE, N., GERS, C.; GAUQUELIN, T. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, n. 6, p. 355-361.

CASTRO, ALAN CARLOS DE OLIVEIRA, *et al.* Análises da água e sua contaminação por micro-organismos influenciando a viabilidade para o consumo humano. **Cientific@-Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 2, 2018, p. 4-13.

CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C.; FURLANI, P.R. **A adsorção de molibdênio pelo solo**. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, v. 27, p. 223-37, 1970.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Decisão de Diretoria Nº 256-2016- E**. Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - 2016. 2016.

CHAPIN, K. J. Cave-epigeal behavioral variation of the whip spider *Phrynus longipes* (Arachnida: Amblypygi) evidenced by activity, vigilance, and aggression. **Journal of Arachnology**, v. 43, p. 214-219, 2015.

CHIBA, M.K.; FILHO, O.G.; VIEIRA, S.R.. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. **Acta Sci Agron**. n. 32, 735-742, 2010.

CIPOLA, Nikolas Gioia; ZEQUI, João Antonio Cyrino. Composição e Diversidade Edáfica de Chilopoda (Arthropoda: Myriapoda) do Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 27, n. 52, p. 47-56, 2018.

CODDINGTON, J. A.; LEVI, H. W. Systematics and evolution of spiders (Araneae). **Annual Review of Ecology and Systematics**, New York, v. 22, p. 565- 592, 1991.

COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. Campinas, Instituto Campineiro de ensino agrícola, 1973.

CONDÉ, B. **Matériaux pour une Monographie des Diploures Campodéidés conservación/pertubación del suelo**. Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes, n. 35, p. 349-364. 1956.

CONSTANTINO, Reginaldo; DINIZ, Ivone R.; MOTTA, Paulo C. **Textos de entomologia**. Parte I: Biologia. Brasília: Universidade de Brasília, 2002.

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

CORREIA, M. E. F.; DE AQUINO, A. M. **Os diplópodes e suas associações com microrganismos na ciclagem de nutrientes**. Embrapa Agrobiologia-Documents (INFOTECA-E). 2005.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. **Fauna do solo: Aspectos Gerais e Metodológicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 46 p.

COSTA, C.C.A.; OLIVEIRA, F.L.; CAMACHO, R.G.V.; DANTAS, I.M.; MARACAJÁ, P.G. Entomofauna presente no conteúdo da serapilheira em área de caatinga na floresta nacional do Açu-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n.4, p. 50-56, 2013.

CROOKE, W. M. Effect of soil reaction on uptake of nickel from a serpentine soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 81, p. 269-276, 1956.

CUNHA, J. J. A. S.; ARZABE, C. C.; CASTRO, A. A. J. F.; BRESCOVIT, A. D. (2012). Diversidade preliminar de aranhas de solo em áreas de Cerrado Litorâneo com diferentes níveis de conservação, Maranhão, Brasil. **Revista Biociências**, v. 18, n.1.

DAFONTE, J.; GUITIÁN, M.U.; PAZ-FERREIRO, J.; SIQUEIRA, G.M., VIDAL, Vázquez. **Mapping of soil micronutrients in an European Atlantic agricultural landscape using ordinary kriging and indicator approach**. *Bragantia*, n. 69, 2010. p. 175-186,.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. **Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta**. *Bragantia*, Campinas. n. 70, 2011. p. 908-916.

EBELING, C.; LANG, F.; GAERTIG, T. Structural recovery in three selected forest soils after compaction by forest machines in Lower Saxony, Germany. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 74–82, 2016.

EMBRAPA. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 27 f.

EMBRAPA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais**. 1. ed. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 f.

FAVERO, Ana Carolina. **Tratamento de Efluente Galvânico através de processo combinado de precipitação química e ozonização**: recuperação, purificação e reaproveitamento de níquel. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) - Universidade La SALLE, Canoas, 2020.

FERREIRA, W. A.; BOTELHO, S. M. **Capacidade de troca de cátions das principais classes de solos da Amazônia, determinada a diferentes valores de Ph**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 22p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, n. 2).

ROSA FILHO, G.; PASSOS Carvalho, M.; MONTANARI, R.; SILVA, J. M.; SIQUEIRA, G. M.; ZAMBIANCO, E. C. 2011. **Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho**. *Bragantia*, n. 70, 439-446.

FINKLER, Raquel; PEDROSO, Rafael Munhoz; STEIN, Ronei Tiago; LAZZARINI, Paulo Ricardo Casagrande. **Ciências do solo e fertilidade**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

FROUZ, J. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 74, p.1-3, 1999. p. 167-186.

GALLI, Loris; RELLINI, Ivano. The geographic distribution of Protura (Arthropoda - Hexapoda): a review. *Biogeographia*. **The Journal of Integrative Biogeography**, v. 35, 2020.

GALVÃO, A. B.; GUITTON, N. Noções de estrutura e biologia dos ácaros. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 84, 1989. p. 223-239.

GARCÍA-ALDRETE, A. N.; MOCKFORD, E. L. Psocoptera. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, 2012. p. 424-437.

GASTON, K. J. The magnitude of global insect species richness. **Conservation biology**, v. 5, n. 3, 1991. p. 283-296.

GHOLAMI, S.; HOSSEINI, S.M.; MOHAMMADI, J.; MAHINI, A.S. Assessment of vegetation density and soil macrofauna relationship in riparian forest of Karkhe River for determination of rivers buffer zone. Iran. **J. Appl. Ecol.**, v. 7, 2016, p. 1-13.

GHOLAMI, S.; SHEIKHMOHAMADI, B.; SAYAD, E. **Spatial relationship between soil macrofauna biodiversity and trees in Zagros forests**. Iran: Catena, n. 159, 2017. p. 1-8.

GONÇALVES, T. C. M.; COSTA, J. **Morfologia Externa**. Programa Integrado de Doença de Chagas da Fiocruz, 2008.

GONZÁLEZ-MOLINÉ, L. A. ARACHNIDA, CLASE. Orden Solifugae. **Revista IDE@ - SEA**, n. 19, 2015.

GRAZIA, J.; CAVICHIOLI, R. R.; WOLF, R. R. S.; FERNANDES, J. A. M.; TAKIYA, D. M. Hemiptera. Linnaeus, 1758. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (Ed.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2012. p. 347-405.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A. **Spatial variability of some biometric attributes of sugarcane plants (Variety iacsp93-3046) and its relation to physical and chemical soil attributes**. *Bragantia*, n. 69, 2010. p. 107-119.

GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S.R.; CHIBA, M.K.; GREGO, C.R. **Geostatistical analysis of crop yield maps in a long term no tillage system**. *Bragantia*, n. 69, p. 9-18.

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora do INPA, 2014.

HARVEY, M. S. **Catalogue of the smaller arachnid orders of the World: Amblypygi, Uropygi, Schizomida, Palpigradi, Ricinulei and Solifugae**. CSIRO publishing, 2003.

HERNÁNDEZ, Carmen Fernández; BARRERA, Karen Mercedes Díaz. Descubrimiento químico de los macronutrientes vegetales. **Revista Científica Tecnológica**. UNAN FAREM Matagalpa, n. 1, v. 2, 2018, p. 25-28.

HOLANDA, Alan Caue; FELICIANO, Ana Licia Patriota ; FREIRE, Fernando Jose ; SOUSA, Flaubert Queiroga de; OLIVEIRA Freire, Saul Ramos; ALVES, ALLYSON ROCHA; Litter production and nutrients in area of Caatinga biome/Aporte de serapilheira e nutrientes em uma area de Caatinga. (Ensayo). **Ciencia Florestal**, v. 27, n. 2, 2017. 621 p.

HUBER, F.; MOORE, T. E.; LOHER, W. (Eds.). **Cricket behavior and neurobiology**. Cornell University Press, 1989.

ILZE, D. *et al.* **Soil Quality Under Management Systems for Pasture in the State of Piauí, Brazil**. p. 867–875, 2013.

JANTSCH, L. J; CORSEUIL, E. Espécies de louva-a-deus (Insecta, Mantodea) do Rio grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 1988.

JUHOS, K.; SZABÓ, S.; LADÁNYI, M. Explore the influence of soil quality on crop yield using statistically-derived pedological indicators. **Ecological Indicators**, v. 63, p. 366–373, 2016.

JUNQUEIRA, A.V.; GONÇALVES, T.M.; MOREIRA C.C. **Manual de capacitação na detecção de Trypanosoma cruzi para microscopistas de malária e laboratoristas de rede pública**. 2 ed, Rio de

Janeiro, 2011. 300 p.

KINPARA, DANIEL LOSHITERU. **A importância estratégica do Potássio para o Brasil**. DF: Embrapa Cerrados, 2003. 27 p. Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 100.

KNYSAK, I; MARTINS, R. (1999) Myriapoda. In: CA Joly; CE de Matos Bicudo (Org.). **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX**. São Paulo: Fapesp, v. 5, p. 65-72.

KOCH, Markus. Diplura. In: **Enciclopédia de insetos**. Academic Press, 2009. p. 281-283.

KROLOW, Daniela da Rocha Vitória. **Estudo da macro e mesofauna do solo em um sistema de produção de base ecológica**. 2009.

LEAL, Maria do Carmo Arcanjo; OLIVEIRA, Maria Helena Costa Cruz de. **Estudo bioecológico e sistemático dos dípteros do Litoral pernambucano**. 1987.

LENNOX, T.A. GARDNER, J.R. THOMSON, J. FERREIRA, E. BERENQUER, A.C. LEES, R. MAC NALLY, L.E.O.C. ARAGÃO, S.F.B. FERRAZ, J. LOUZADA, N.G. MOURA, V.H.F. OLIVEIRA, R. PARDINI, R.R.C. SOLAR, F.Z. VAZ-DE MELLO, I.C.G. VIEIRA, J. BARLOW. Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests *Glob. Chang. Biol.*, n. 24, 2018, p. 5680-5694.

LIMA FILHO, Oscar Fontão de. **Toxicidade de Micronutrientes em Sorgo Sacarino: Diagnóstico Visual**. Circular Técnica, Dourados, MS, ed. 38, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159094/1/CT201638.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2021.

LIMA, L. D. S.; BIANCHI, C. A. **O papel ecológico dos cupins (Insecta: Isoptera)**. 2012.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato. Ed. 2, 1998, Piracicaba, SP.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. Associação Nacional para Difusão de Adubos, ANDA. Boletim Técnico 2, 2004 Disponível em: https://www.agrolink.com.br/downloads/interpretacao_de_analise%20de_solo_conceitos_e_aplicacoes.pdf. Acesso em: 26 jun. 2021.

LOPES, Alfredo. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato. 2. ed. Piracicaba: Editora POTAFOS, 1998.

LOPES, Alfredo. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônoma**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1999.

LOPES, S. M. Baratas (Blattodea) da Reserva Biológica de Pedra Talhada. In: Studer, A., L. Nusbaumer; R. Spichiger (Eds.). **Biodiversidade da Reserva Biológica de Pedra Talhada**. Alagoas, Pernambuco - Brasil. Boissiera, 2015. p. 237-241.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C.V. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional**, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilidade do solo.** São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1976.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2. ed. New York: Academic Press, 1995.

MEDEIROS, M. B. Metabolismo da celulose em Isoptera. **Revista de Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, p. 76 – 81, 2004.

MITCHELL, R. L. **Cobalt and nickel in soils and plants.** Soil Science, Baltimore, v. 60, p. 63-70, 1945.

MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L.H.; CORREA, A.R.; OLIVEIRA, I.S.; QUEIROZ, H.A.; TOMAZ, P.K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **R. Bras. Ci. Solo.** n. 39, 2015. p. 385-396.

MONTANARI, R.; PASSOS, M. C.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F.C.; LOVERA, L.H.; HONORATO, M.A.O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **R. Bras. Ci. Solo.**, v. 34, 2010. p.1811-1822.

MORAGHAN, J.T.; MASCAGNI JR., H.J. Environmental and soil factors affecting micronutrient, deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., Eds. Micronutrients in agriculture. Madison, **Soil Science Society of Agronomy**, 1991. p.371-426.

MORALES, L.A.; PAZ-FERREIRO, J.; VIEIRA, S.R.; VIDAL, E. V. **Spatial and temporal variability of EH and pH over a rice field as related to lime addition.** *Bragantina*, n. 69, 2010. p. 67-76.

MORALES, LA.; VIDAL E. V.; PAZ-FERREIRO, J. **Spatial Distribution and Temporal Variability of Ammonium-Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in a Rice Field in Corrientes, Argentina.** *The Sci. World J.* 1-13. 2014.

MUMA, M. H. **A review of solpugid families with an annotated list of western hemisphere solpugids.** Publications of the Office of Resesearch, Western New Mexico University. 1976.

NEVES, D.A.; LEMOS, F.; PAZ A. G.; VIEIRA, S.R.; SIQUEIRA, G.M. **Using geostatistics for assessing biodiversity of forest reserve áreas.** *Bragantina*, n. 69, 2010. p. 131-140.

NOALE, R. Z. **Avaliação do risco ambiental em sedimentos dos Lagos do Riacho Cambé em Londreina pela distribuição e metais.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Londrina, 2007.

NOGUEIRA, Gabriel dos Santos; SANTOS, Itamar Alves; SOUSA BORGES, Rodolfo Rodrigues de. Estudo de permeabilidade de solo estabilizado com cal. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25646-25662, 2020.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D. (2016). Por que devemos nos importar com os colêmbolos edáficos? **Scientia agraria**, 17(2), 2003. p. 21-40.

OLIVEIRA, A. P. P. de *et al.* Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro Sugarcane harvesting systems: Current knowledge about modifications of attributes in T. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** p.

939–947, 2014.

OLIVEIRA, F.S.; VARAJÃO, A.F.D.C.; VARAJÃO, C.A.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BOULANGÉ, B. **The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil**. *Geoderma*, 2014. p. 226-259.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia Aplicada**. 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592 p.

ORTIZ, N. **Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais Cu, Ni e Cd, em solução**. 2000. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências - Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-15022002-115714/pt-br.php>. Acesso em: 01 jul. 2020.

PASQUALIN, L.A.; DIONÍSIO, J.A.; APARECIDA, M.; ZAWADNEAK, C.; MARÇAL, C.T. **Edaphic macrofauna in sugar cane crops and forest in northwestern Paraná – Brazil**. *Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná – Brasil* 7–18. DOI:10.5433/1679-0359.2012v33n1p7.

PAULI, N.; OBERTH, T.; BARRIOS, E.; CONACHER, A.J. **Fine-scale spatial and temporal variation in earthworm surface casting activity in agroforestry fields**. *Pedobiologia*, n. 53, 2010. p. 127–139.

PEDROSO, Everton Tizo *et al.* **Ecologia e evolução do comportamento social em pseudoescorpiões neotropicais: o exemplo de Paratemnoides nidificator (Atemnidae)**, 2011.

PEDROSO, Everton Tizo *et al.* **História natural e comportamento no pseudoescorpião social Paratemnoides nidificator (Balzan, 1888) (Arachnida): cuidado parental, cooperação e divisão de trabalho**. 2007.

PEREIRA, Jose Ribamar. **Efeitos de diferentes níveis de cálcio e de magnésio sobre algumas propriedades químicas do solo, crescimento e composição mineral do sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) e do vigna (Vigna unguiculata (L.) Walp)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2017.

POLIS, G. A. **The Biology of Scorpions**. Stanford University Press, Palo Alto, California. 1990. 587 p.

PORTILHO, I. I. R. *et al.* **Resíduos da cultura da cana-de-açúcar e seus efeitos sobre a fauna invertebrada epigéica**. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 3, p. 959–970, 2011.

PRADO, L. P. D.; FEITOSA, R. M.; TRIANA, S. P.; GUTIÉRREZ, J. A. M.; ROUSSEAU, G. X.; SILVA, R. A.; ANDRADE, J. S. **An overview of the ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) of the state of Maranhão, Brazil**. *Papéis Avulsos de Zoologia*, n. 59, 2019.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Vitória, ES: Incaper, 2013. 104 p

PREZOTTI, Luiz Carlos. MARTINS André Guarçoni. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013. 104 p.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1999. 549 p.

PUNZO, Fred. **The biology of camel-spiders: Arachnida, Solifugae**. Springer Science & Business Media, 2012.

RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; Carvalho, C. J. B. D., Casari, S. A., & Constantino, R. (2012). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**.

RAIJ, B. V.; **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, SP: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p. : il. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.: il. color.

RAVEN, P.H.et.al. **Biologia Vegetal**. 8ª Edição. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 867p, 2014.

REZENDE, P. S. **Avaliação da distribuição e mobilidade de elementos traço em sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

ROBSON, Alessio Costa. **Distribuição e fracionamento de metais em solos do Distrito Industrial de São Luís do Maranhão**. Dissertação - Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Química. Maranhão, 2014.

ROCHA, L. M. D. **Fauna de aranhas edáficas (Arachnida: Araneae) em um fragmento periurbano em ambiente de Mata Atlântica no Sul do Brasil**. 2017.

ROCHA, R. P.; BONALDO, Alexandre Bragio. A structured inventory of harvestmen (Arachnida, Opiliones) at Juruti River plateau, State of Pará, Brazil. **Revista Ibérica de Aracnologia**, v. 13, p. 155-162, 2006.

RODRIGUES, Henrique Miranda. **Revisão taxonômica de Stagmatoptera Burmeister, 1838 (Mantodea, Mantidae, Stagmatopterinae)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2013.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Embrapa, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 8, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2021.

ROSA, A. S.; FILGUEIRAS, B.; SILVESTRE, B. F.; SILVA, L. H. P. da., SANTANA, R. C. **Carrapatos: ecologia e doenças**. Carrapatos. Ecologia e Doenças, 2019. p.1-388.

ROTENBERG, D.; BAUMANN, A. A.; BEN-MAHMOUD, S.; CHRISTIAENS, O.; DERMAUW, W., IOANNIDIS, P.; RICHARDS, S. Genome-enabled insights into the biology of thrips as crop pests. **BMC biology**, n.1, v.18, 2020. p. 1-37.

ROTH, LM; WILLIS, E. R. **A importância médica e veterinária das baratas**. Coleções diversas do Smithsonian, 1957.

ROUSSEAU, L. *et al.* Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, v. 27, p. 71–82, 2013.

RUIZ, M. C. V. **Heteroptera fitófagos e predadores em pastagens do estado do Espírito Santo, Brasil**. 2014.

RUSSENE, A.L.; KORSÆTH, A.; BAKKEN, L.R. Spatial variation in soil pH controls off-season N₂O emission in an agricultural soil. **Soil Biology & Biochemistry**, n. 99, 2016. p. 36-46.

SAMUEL, Gonsalves Sousa; ABREU, Ana Elisa Silva de. Obtenção de resultados quantitativos para concentração de chumbo em solo com equipamento XRF portátil. **Revista: Geociência São Paulo: UNESP**, 2020.

SANTOS, Ademir dos *et al.* Distribuição e biodisponibilidade de cromo em solos contaminados por resíduos de couro. **Química Nova [online]**. 2009, v. 32, n. 7. p. 1693-1697. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700002>. Acesso em: 28 jun. 2021. Epub 22 out. 2009. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700002>.

SANTOS, D. M. M. **Nutrição mineral**. 2004. Disponível em: <http://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/biologia/DURVALINAMARIAM.DOSSANTOS/TEXT03.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2021.

SANTOS, H. G. dos. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.: il. color.

SANTOS, N. M.; MALHEIROS, R.; TAVEIRA, R. Z. Disposição adequada de resíduos orgânicos gerados no setor de avicultura de produção de frangos de corte por meio da compostagem. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**, n. 8., 2017, Campo Grande. Gestão ambiental... Campo Grande: UCDM, 2017.

SANTOS, P. R. C.; DAIBERT, J. D. **Análise dos solos: formação, classificação e conservação do meio ambiente**. São Paulo: Érica, 2014.

SCHAL, C.; GAUTIER, J. Y.; BELL, W. J. Behavioural ecology of cockroaches. **Biological Reviews**, 59, n. 2, 1984. p. 209-254.

SENDRA, Alberto *et al.* **Diversity, ecology, distribution and biogeography of Diplura**. Insect Conservation and Diversity, 2021.

SENGIK, E. S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. 2003. Disponível em: <http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2021.

SHARKEY, M. J. **Phylogeny and classification of Hymenoptera**. Zootaxa, 1668, n.1, 2007. p. 521-548.

SILVA, Cristiane Figueira da *et al.* Fauna edáfica em área periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, 2013. p. 587-595.

SILVA, E. F. D. **Associação da ocorrência de formigas (Hymenoptera: Formicidae) com atributos do solo e da vegetação em um domínio do cerrado à nordeste do estado do Maranhão, Brasil**. 2014.

SILVA, J., Assis Junior; R.N., Matias; S.S.R., TAVARES; R.C.; ANDRANDE; F.R., CAMACHO-

TAMAYO, J.H. Using geostatistics to evaluate the physical attributes of a soil cultivated with sugarcane. **Rev. Cienc. Agrar.**, n. 2, 2014. p. 186-193.

SILVA, L. L.G. G.; RESENDE, A. S.; DIAS, P.F.; CORREIA, M. E. F.; SCORIZA, R. N. Soil macrofauna in wooded pasture with legume trees. **Ciência Rural**. n. 45, 2015. p. 1191-1197.

SILVA, P.; SILVA, F. C. G. da. Besouros (Insecta: Coleoptera) utilizados como bioindicadores. **Revista Congrega URCAMP**, 2011. p. 1-16.

SILVA, R. F.; CORASSA, G. M.; BERTOLLO, G. M.; SANTI, A. Luis.; STEFFENS, R. B. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 43, n. 2, 2013. p. 130-137.

SILVA, V. M. D. **Artrópodes da classe Diplopoda: qualidade e atributos do solo e decomposição de resíduos de cafeeiro**. 2007.

SILVESTRE, R. **Estrutura de comunidades de formigas do cerrado**. Doctoral Dissertation, Universidade de São Paulo. 2007.

SIQUEIRA, C.; VELLOSO, A.C. Adsorção de molibdato em solos sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 2, 1978. p. 24-8.

SIQUEIRA, G. M.; SILVA, E. F. F.; PAZ-FERREIRO, J. **Land Use Intensification Effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State, Brazil**. p. 7. 2014.

SIQUEIRA, G.M.; DAFONTE, J.; PAZ GONZÁLEZ, A.; ARMESTO, M.V.; FRANÇA E SILVA, E.F.; COSTA, M.K.L.; SILVA, R.A. Measurement of apparent electrical conductivity of soil and the spatial variability of soil chemical properties by electromagnetic induction. **African Journal of Agricultural Research**. n. 39, 2016. p. 3751-3762.

SIQUEIRA, G.M.; SILVA, E.F. F.; DAFONTE, J. **Distribuição espacial da condutividade elétrica do solo medida por indução eletromagnética e da produtividade de cana-de-açúcar**. Bragantina, n. 74, 2015. p. 215-223.

SIQUEIRA, G.M.; MATOS, R.F.; SANTOS, G.A.A, SILVA, R.A., COSTA, M.K. **Dinâmica da macrofauna do solo sob cultivo de cana-de-açúcar**. (Resumo expandido). XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal-RN, 2015.

SIQUEIRA, G.M.; SILVA, J.S.; BEZERRA, J.M.; DAFONTE, J.; MELO, R.F. Estacionariedade do conteúdo de água de um Espodosolo Humilúvico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. n. 19, 2015. p. 439-448.

SIQUEIRA, G.M.; SILVA, R.A.; AGUIAR, A.C.F.; COSTA, M.K.L.; SILVA, E.F. Spatial variability of weeds in an Oxisol under no-tillage system. **Afr. J. Agric. Res**. n. 29, 2016. p. 2569- 2576.

SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; CEDDIA, M.B. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**. Bragantina, n. 67. 2008. p. 203-211.

SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; FALCI, S.C.D. **Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um latossolo vermelho eutroférico sob semeadura direta por vinte anos**. Bragantia, n.68. 2009. p. 751-759.

SMITHERS, C. N.; LIENHARD C. **A revised bibliography of the Psocoptera (Arthropoda: Insecta)**. Technical Reports of the Australian Museum, 1992.

SOBRAL, L. F. *et al.* **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 206). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042994/1/Doc206.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2021.

SOUZA, Z. M. *et al.* Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 271–278, 2005.

SPERBER, C. F. **Ecologia alimentar de gafanhoto *Abracris dilecta* Walker 1870 (Orthoptera: Acrididae)**. 1991.

STOCKMANN, R.; YTHIER, E. **Scorpions of the World**. N.A.P. Editions. France. 2010. 567.

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

TAVARES, U.E.; ROLIM, M.M.; OLIVEIRA, V.S.; PEDROSA, E.M.; SIQUIRA, G.M.; MAGALHÃES, A.G. Spatial dependence of physical attributes and mechanical properties of Ultisol in a sugarcane field. **The Sci. World J.** 2015. p. 1-11.

THOMANZINI, M.J.; THOMANZINI, A.P.B.W. **Levantamento de insetos e análise entomofaunística em floresta, capoeira e pastagem no Sudeste Acreano**. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2002. 41 p. Circular Técnica, 35.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **Estudo dos Insetos**. São Paulo: Cengage learning, 2011.

VANY E PABLOBOLIVEIRA. **Sinais de deficiência nutritiva das plantas**. 2009. Disponível em: <http://aquapeixes.forumeiros.com/t479-sinais-de-deficiencia-nutritiva-das-plantas>. Acesso em: 26 jun. 2021.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (Ed.) **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, v.1, 2000. p. 1-54.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I.T. Mapeamento da chuva máxima provável para o Estado de São Paulo. **Rev.Bras. Cienc. Solo**, v.15, 1991. p. 93-8.

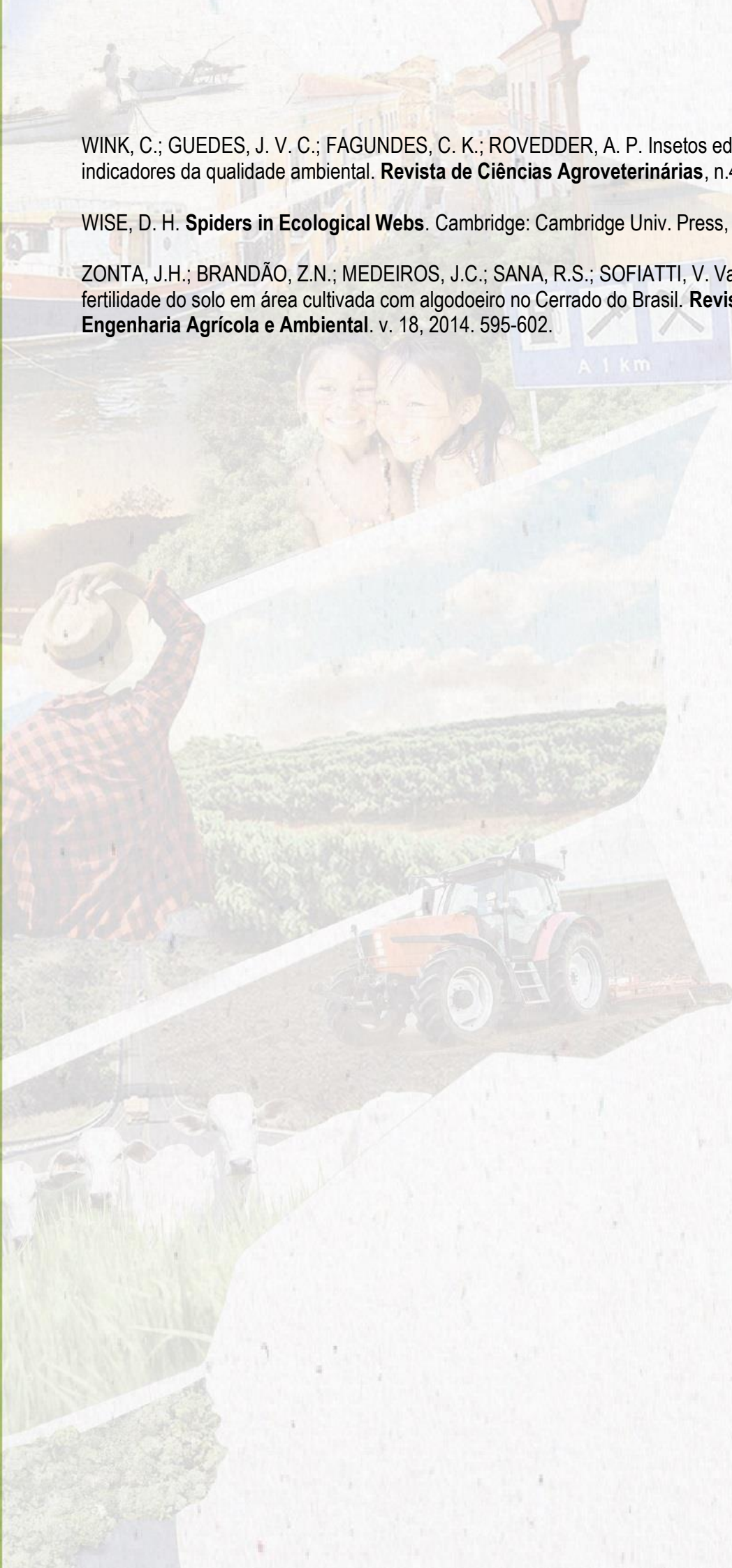
VRIES, F.T.; THÉBAULT, E., LIIRI, M., BIRKHOFFER, K., TSIAFOULI, M.A., BJØRNLUND, L., JØRGENSEN, H.B., BRADY, M.V., CHRISTENSEN, S., DE RUITER, P., HERTEFELDT, T., FROUZ, J., HEDLUND, K., HEMERIK, L., HOLK, W.H.G., HOTES, S., MORTIMER, S.N., SETÄLÄ, H., SGARDELIS, S.P., UTESENY, K., VAN DER PUTTEN, W.H., WOLTERS, V., BARDGETT, R.D., 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.** 110, p. 14296–14301.

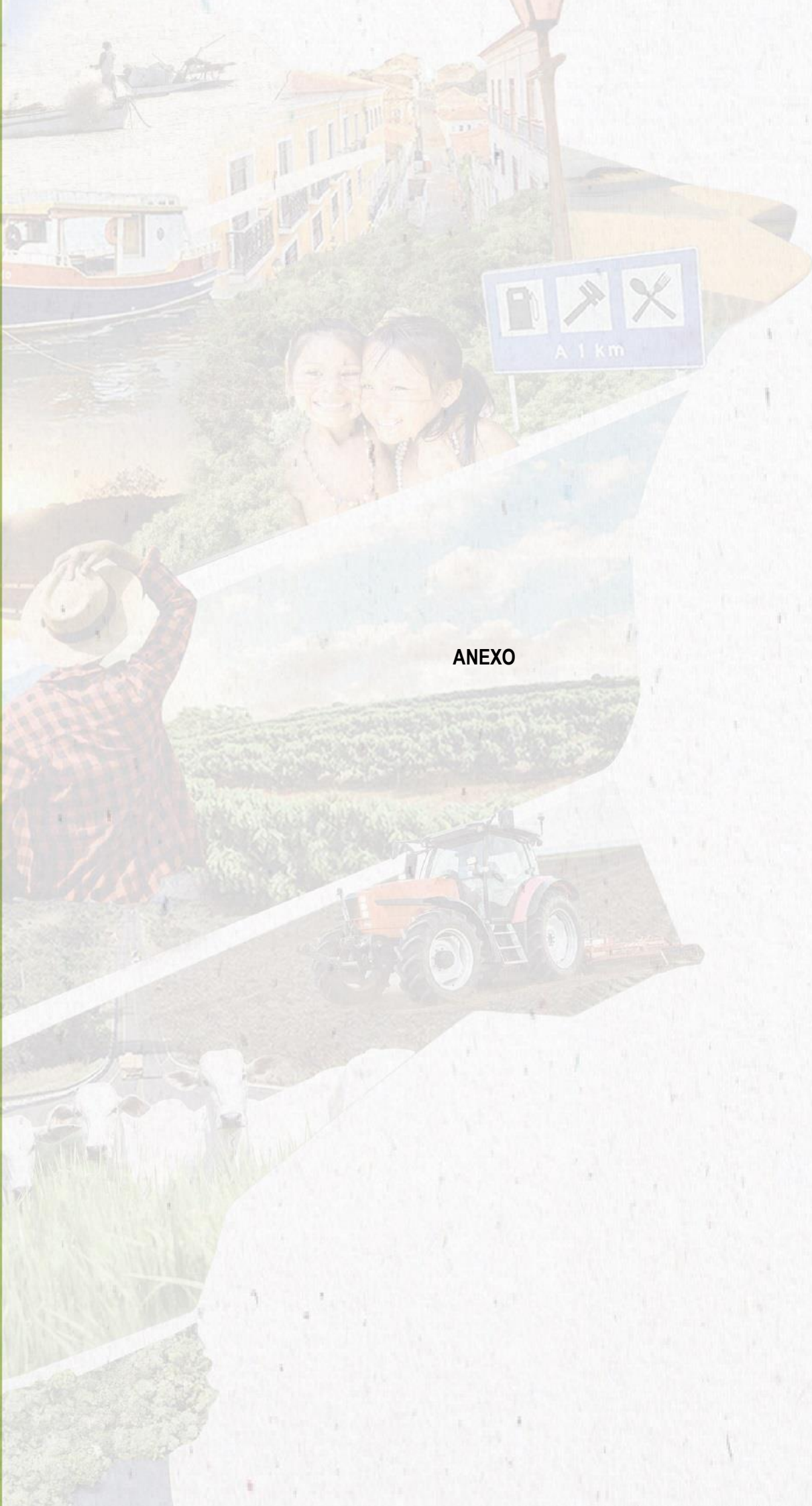
WEYGOLDT, P. 4.2 Amblypygi. In: ADIS, J. (Ed.). **Amazonian Arachnida and Myriapoda**. Sofia: Pensoft Publishes, 2002, p. 293-302.

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, n.4, v.1, 2005. p. 60-71.

WISE, D. H. **Spiders in Ecological Webs**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993. 328 p.

ZONTA, J.H.; BRANDÃO, Z.N.; MEDEIROS, J.C.; SANA, R.S.; SOFIATTI, V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, 2014. 595-602.





ANEXO

ANEXO A - RELAÇÃO DE MUNICÍPIOS PRESENTES NO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO ESTADO DO MARANHÃO - BRASIL

Municípios	Código IBGE	Área (km²)	Área (ha)
AFONSO CUNHA	2100105	371.357	37135.746
ÁGUA DOCE DO MARANHÃO	2100154	434.381	43438.142
ALDEIAS ALTAS	2100303	1942.146	194214.626
ALTO ALEGRE DO MARANHÃO	2100436	383.048	38304.789
ALTO PARNAÍBA	2100501	11128.296	1112829.650
ANAPURUS	2100808	609.087	60908.660
ARAIOSES	2100907	1725.095	172509.492
BALSAS	2101400	13138.747	1313874.668
BARÃO DE GRAJAU	2101509	2208.773	220877.304
BARRA DO CORDA	2101608	5186.271	518627.122
BARREIRINHAS	2101707	3025.817	302581.707
BELÁGUA	2101731	569.388	56938.823
BENEDITO LEITE	2101806	1780.434	178043.445
BERNARDO DO MEARIM	2101939	247.029	24702.913
BREJO	2102101	1074.927	107492.730
BURITI	2102200	1474.594	147459.447
BURITI BRAVO	2102309	1581.944	158194.357
CAMPESTRE DO MARANHÃO	2102556	615.849	61584.910
CANTANHEDE	2102705	772.525	77252.503
CAPINZAL DO NORTE	2102754	590.147	59014.750
CAROLINA	2102804	6445.977	644597.660
CAXIAS	2103000	5197.285	519728.501
CHAPADINHA	2103208	3247.170	324717.046
CODÓ	2103307	4359.564	435956.377
COELHO NETO	2103406	975.816	97581.622
COLINAS	2103505	1979.390	197938.954
COROATÁ	2103604	2262.472	226247.214
DAVINÓPOLIS	2103752	336.036	33603.648

Continua ...

Municípios	Código IBGE	Área_km2	Área_ha
DOM PEDRO	2103802	358.245	35824.482
DUQUE BACELAR	2103901	318.054	31805.421
ESPERANTINÓPOLIS	2104008	452.080	45207.990
ESTREITO	2104057	2720.811	272081.145
FEIRA NOVA DO MARANHÃO	2104073	1473.413	147341.298
FERNANDO FALCÃO	2104081	5082.802	508280.193
FORMOSA DA SERRA NEGRA	2104099	3689.262	368926.187
FORTALEZA DOS NOGUEIRAS	2104107	1853.154	185315.360
FORTUNA	2104206	694.635	69463.528
GONÇALVES DIAS	2104404	883.072	88307.248
GOVERNADOR ARCHER	2104503	445.576	44557.594
GOVERNADOR EDISON LOBÃO	2104552	616.383	61638.263
GOVERNADOR EUGÊNIO BARROS	2104602	816.552	81655.152
GOVERNADOR LUIZ ROCHA	2104628	372.963	37296.296
GRAÇA ARANHA	2104701	271.269	27126.914
IGARAPÉ GRANDE	2105203	345.824	34582.444
JATOBÁ	2105450	591.012	59101.199
JENIPAPO DOS VIEIRAS	2105476	1961.533	196153.271
JOSELÂNDIA	2105609	702.964	70296.405
LAGO DOS RODRIGUES	2105948	220.599	22059.935
LAGOA DO MATO	2105922	1512.819	151281.908
LAGOA GRANDE DO MARANHÃO	2105963	743.640	74363.994
LAJEADO NOVO	2105989	1064.811	106481.096
LIMA CAMPOS	2106003	321.704	32170.405
LORETO	2106102	3594.044	359404.427
MAGALHÃES DE ALMEIDA	2106300	433.862	43386.175
MATA ROMA	2106409	548.634	54863.390
MATÕES	2106607	2107.570	210757.048

Continua ...

Municípios	Código IBGE	Área_km2	Área_ha
MATÕES DO NORTE	2106631	794.082	79408.193
MILAGRES DO MARANHÃO	2106672	634.819	63481.886
MIRADOR	2106706	8514.717	851471.672
MONTES ALTOS	2107001	1489.035	148903.461
NINA RODRIGUES	2107209	570.568	57056.752
NOVA COLINAS	2107258	742.869	74286.876
NOVA IORQUE	2107308	976.388	97638.792
PARAIBANO	2107704	530.279	53027.853
PARNARAMA	2107803	3240.260	324026.019
PASSAGEM FRANCA	2107902	1357.876	135787.612
PASTOS BONS	2108009	1634.348	163434.791
PAULINO NEVES	2108058	968.853	96885.341
PEDREIRAS	2108207	261.527	26152.681
PERITORÓ	2108454	824.193	82419.282
PIRAPEMAS	2108801	688.355	68835.467
PORÇÃO DE PEDRAS	2108900	989.634	98963.351
PORTO FRANCO	2109007	1418.410	141840.998
PRESIDENTE DUTRA	2109106	771.027	77102.667
PRIMEIRA CRUZ	2109403	1286.969	128696.930
RIACHÃO	2109502	6373.257	637325.705
RIBAMAR FIQUENE	2109551	734.438	73443.832
SAMBAÍBA	2109700	2476.966	247696.591
SANTA FILOMENA DO MARANHÃO	2109759	622.742	62274.244
SANTA QUITÉRIA DO MARANHÃO	2110104	1435.594	143559.449
SANTANA DO MARANHÃO	2110237	932.898	93289.816
SANTO AMARO DO MARANHÃO	2110278	1580.775	158077.460
SANTO ANTÔNIO DOS LOPES	2110302	770.367	77036.678
SÃO BENEDITO DO RIO PRETO	2110401	931.286	93128.630

Continua ...

Municípios	Código IBGE	Area_km2	Area_ha
SÃO BERNARDO	2110609	1008.197	100819.720
SÃO DOMINGOS DO AZEITÃO	2110658	960.210	96021.029
SÃO DOMINGOS DO MARANHÃO	2110708	1151.210	115120.986
SÃO FÉLIX DE BALSAS	2110807	2030.750	203074.956
SÃO FRANCISCO DO MARANHÃO	2110906	2280.851	228085.055
SÃO JOÃO DO PARAÍSO	2111052	2054.457	205445.741
SÃO JOÃO DO SOTER	2111078	1437.579	143757.894
SÃO JOÃO DOS PATOS	2111102	1482.307	148230.727
SÃO JOSÉ DOS BASÍLIOS	2111250	352.975	35297.470
SÃO PEDRO DOS CRENTES	2111573	979.718	97971.816
SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS	2111607	3519.219	351921.939
SÃO RAIMUNDO DO DOCA BEZERRA	2111631	419.012	41901.185
SÃO ROBERTO	2111672	227.281	22728.133
SENADOR ALEXANDRE COSTA	2111748	426.240	42623.989
SÍTIO NOVO	2111805	3114.811	311481.112
SUCUPIRA DO NORTE	2111904	1073.733	107373.291
SUCUPIRA DO RIACHÃO	2111953	863.818	86381.801
TASSO FRAGOSO	2112001	4380.539	438053.864
TIMBIRAS	2112100	1486.037	148603.719
TIMON	2112209	1765.394	176539.425
TRIZIDELA DO VALE	2112233	291.813	29181.273
TUNTUM	2112308	3366.513	336651.276
TUTÓIA	2112506	1479.312	147931.172
URBANO SANTOS	2112605	1706.092	170609.215
VARGEM GRANDE	2112704	1957.924	195792.396

**BIODIVERSIDADE
DOS SOLOS
DO ZONEAMENTO
ECOLÓGICO-ECONÔMICO
DO ESTADO DO
MARANHÃO (ZEE-MA) -
ETAPA BIOMA CERRADO E
SISTEMA COSTEIRO
(RELATÓRIO TÉCNICO)**

INSTITUIÇÕES:

IMESC SEPLAN

GOVERNO DO
MARANHÃO



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



FUNDAÇÃO DE APOIO
AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Embrapa



Acesse:
zee.ma.gov.br