



**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO, DENSIDADE E POTENCIAL  
PRODUTIVO DE ESPÉCIES DE INTERESSE  
AGROEXTRATIVISTA NO BIOMA CERRADO**

**RENAN AUGUSTO MIRANDA MATIAS**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB**

**2022**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO, DENSIDADE E POTENCIAL  
PRODUTIVO DE ESPÉCIES DE INTERESSE  
AGROEXTRATIVISTA NO BIOMA CERRADO**

**RENAN AUGUSTO MIRANDA MATIAS  
ORIENTADORA: Dra. ALBA VALÉRIA REZENDE**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**Brasília-DF, março de 2022**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**“MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO, DENSIDADE E POTENCIAL  
PRODUTIVO DE ESPÉCIES DE INTERESSE AGROEXTRATIVISTA NO  
BIOMA CERRADO”**

Tese de doutorado submetida ao Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais.

Aprovada por:

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Alba Valéria Rezende (Departamento de Engenharia Florestal - EFL/UnB)  
(Orientadora)

---

Prof. Dr. Aldicir Scariot (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia)  
(Examinador interno)

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Fabiana de Gois Aquino (Embrapa Cerrados)  
(Examinadora externa ao PPG-EFL)

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Levi Carina Terribile (Universidade Federal de Goiás)  
(Examinadora externa à UnB)

---

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB)  
(Examinador suplente)

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Fernanda Coelho de Souza (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia)  
(Examinadora suplente externa ao PPG-EFL)

Brasília-DF, 10 de março de 2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

MM433mm	Matias, Renan Augusto Miranda Modelagem da distribuição, densidade e potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativista no bioma Cerrado / Renan Augusto Miranda Matias; orientador Alba Valéria Rezende. -- Brasília, 2022. 134 p.
	Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Florestais) -- Universidade de Brasília, 2022.
	1. abundância de indivíduos. 2. produtividade. 3. agroextrativismo. 4. bioma Cerrado. I. Rezende, Alba Valéria, orient. II. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MATIAS, R.A.M. (2022). Modelagem da distribuição, densidade e potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativista no bioma Cerrado. Tese de doutorado em Ciências Florestais. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília (UnB), Brasília/DF, 2022. 134p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Renan Augusto Miranda Matias

TÍTULO: Modelagem da distribuição, densidade e potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativista no bioma Cerrado

GRAU: Doutor ANO: 2022

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Tese de Doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa Tese de Doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito dos autores.

---

Renan Augusto Miranda Matias  
renanmatias@hotmail.com

## **AGRADECIMENTOS**

Considero muito importante este espaço para agradecimentos, pois aqui, posso reconhecer todas as pessoas que fizeram parte da construção da pesquisa, de forma direta ou indireta. A construção do projeto de pesquisa foi realizada conjuntamente com diversos atores, entre pesquisadores, técnicos, membros das comunidades Geraizeiras e o apoio por familiares e amigos. Considero assim, um trabalho de desenvolvimento coletivo.

Agradeço a Deus pela minha vida e por abençoar cada escolha e caminho percorrido.

Meus sinceros agradecimentos aos meus pais Sandra Maria Miranda Matias e Luiz Carlos Matias, também a minha irmã Kézia Miranda Matias, pelo apoio, dedicação, acolhimento e amizade, sem dúvidas foram fundamentais em cada conversa e direcionamento, além dos familiares que se estende às tias(os) e primas(os). Agradeço também a minha noiva Mirella Basileu pelo companheirismo e amizade, sempre com a sensibilidade de me incentivar nos nossos projetos de vida e, especificamente, se tratando do doutorado, contribuiu muito em tantas conversas a respeito da pesquisa desenvolvida neste documento, muito obrigado!

Agradeço a Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais pela oportunidade e espaço de aprimoramento técnico e científico. Agradeço a todos os professores do Programa, em especial a minha orientadora Alba Valéria Rezende e ao professor Eraldo Matricardi, que além de todo suporte no desenvolvimento da pesquisa, souberam com muita dedicação me auxiliar em cada etapa relacionada ao meu desenvolvimento profissional. Estes mesmos professores abriram portas para meu primeiro contato com o Projeto Bem Diverso (Embrapa/PNUD/GEF), onde se inicia o planejamento do projeto de pesquisa do doutorado, conjuntamente com a Universidade de Brasília. *In memoriam* agradeço ao professor Antônio Felipe do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais - UnB, que infelizmente não está conosco, mas que se envolveu de forma efetiva na pesquisa durante as disciplinas iniciais do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro viabilizado por meio da bolsa de estudos e ao Projeto Bem Diverso pelo suporte técnico e científico, além do apoio financeiro para execução da pesquisa e coleta de dados em campo.

O Projeto Bem Diverso está registrado em minha vida como um marco de desenvolvimento profissional, pessoal e de propósito de vida. Neste Projeto, ao longo de cinco anos, tive a oportunidade de vivenciar o trabalho totalmente direcionado para a melhoria de vida de povos e comunidades tradicionais, por meio de atividades de pesquisa, desenvolvimento, ensino e extensão, relacionados a conservação e manejo sustentável da biodiversidade pela favorabilidade e manutenção dos modos de vida. Aqui dedico meus agradecimentos aos pesquisadores, analistas e técnicos da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Em especial, ao pesquisador e orientador Anderson Cássio Sevilha, muito obrigado pela sua amizade, que não mediu esforços e tempo para me auxiliar na construção desta pesquisa e do trabalho desenvolvido junto ao Projeto Bem Diverso; ao pesquisador Aldicir Scariot que desde nosso primeiro contato fomentou meu desenvolvimento profissional, com muitas dicas, sugestões e geração de oportunidades, obrigado pela nossa amizade; ao Sérgio Noronha, que também se tornou um grande amigo, não mediu esforços em compartilhar sua longa experiência em geoprocessamento, com certeza fez toda diferença na minha caminhada no Projeto Bem Diverso e na pesquisa de doutorado, além de diversas conversas que me auxiliou a tomar decisões importantes na minha trajetória profissional e pessoal.

Também agradeço aos demais profissionais do Prédio de Botânica e Ecologia da Embrapa Cenargen, um grande exemplo de trabalho em equipe e de amizade, Juarez Amaral, João Benedito (Chebinha) e Glocimar Silva (equipe que me auxiliou na coleta de dados de campo desta pesquisa), Daniel Vieira, Bruno Walter, Marcelo Simon, Marcelo Brilhante, Luciano Bianchetti, Taciana Cavalcanti, Gabriela Ribeiro, Andrielle Lopes, Valdeci, Nilton e Aécio Santos.

Compondo a equipe do Projeto Bem Diverso, agradeço a amizade e companheirismo da equipe PNUD, em especial ao Fernando Moretti, Ana Cristina, Leana, Paula Silveira e Ione Nascimento. Aos consultores e colaboradores do Projeto, que estiveram presentes em diversos momentos importantes, Milton Nascimento, Natanna, Gabriel, Djane, Nondas e João Marcelo.

Agradeço as comunidades Geraizeiras pela receptividade e caloroso acolhimento em seu Território (área de estudo desta pesquisa), que em cada visita, oficina e atividades práticas, me permitiu compreender a riqueza de sua cultura, bem como, o histórico de luta e principais desafios enfrentados, onde surgiu o tema de pesquisa do doutorado. Neste Território tive a oportunidade de fazer maravilhosas amizades em diversas comunidades,

entre tantas, cito a Fabricia, Marcos, Edianilha (Nina), José da Silva, José Arnaldo, Dona Geralda, Antônio, Jonas, Wagner, Valdir, Neusita, entre outros(as), sintam-se contemplados.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos - PPGBioAgro, da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus de Alta Floresta, especialmente ao professor Pedro Eisenlohr e sua equipe de orientados, por compartilhar as experiências e atualidades em Modelagem Ecológica, que subsidiou o processamento de dados de um dos capítulos desta pesquisa.

Neste espaço também incluo meus amigos da vida e do doutorado, que estiveram comigo nesta jornada, Mônica Cupertino (me ajudou muito nas análises de modelagem de distribuição de espécies), Thalyssa, Elisângela, Alexandre (Limão), Thalles, Daniel, Jonas, Marco Bruno, Ilvan, Maísa, Mauro, Francisco e Bruno.

*“Poucas coisas que se sabe,  
Em muitas coisas que se sente  
Tão poucas que nos cabe,  
Grande sonho numa pequena mente”*

**Luiz Carlos Matias**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>GENERAL ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>

### CAPÍTULO I

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>4</b>
<b>2. HIPÓTESES .....</b>	<b>6</b>
<b>3. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>6</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS GERAIS .....</b>	<b>6</b>
4.1. Área de estudo .....	6
4.2. Espécies contempladas no estudo .....	7
4.2.1. <i>Annona crassiflora</i> .....	8
4.2.2. <i>Eugenia dysenterica</i> .....	8
4.2.3. <i>Hancornia speciosa</i> .....	9
4.2.4. <i>Caryocar brasiliense</i> .....	9
4.2.5. <i>Tachigali subvelutina</i> .....	10
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>11</b>

### CAPÍTULO II

<b>IMPOTÂNCIA DAS VARIÁVEIS GEOMORFOLÓGICAS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES DE INTERESSE AGROEXTRATIVISTA NO CERRADO .....</b>	<b>15</b>
---	-----------

<b>RESUMO.....</b>	<b>15</b>
--------------------	-----------

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>18</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
3.1. Área de estudo .....	18
3.2. Espécies contempladas no estudo .....	18
3.3. Coleta de dados .....	19
3.4. Modelagem piloto da distribuição das espécies.....	19
3.4.1. Dados relacionados à ocorrência das espécies .....	19
3.4.2. Dados relacionados às variáveis ambientais.....	20
3.4.3. Análise de dados .....	23
3.5. Modelagem final .....	25
3.5.1. Dados de ocorrência de espécies .....	25
3.5.2. Seleção das variáveis para o modelo final.....	25

3.5.3. Algoritmos utilizados, parâmetros de processamento e avaliação dos modelos.....	26
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
4.1. Modelagem piloto .....	28
4.2. Modelagem final .....	30
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>42</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>48</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>53</b>
 CAPÍTULO III	
<b>ESTIMATIVA DA DENSIDADE DE INDIVÍDUOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NO CERRADO: UMA ABORDAGEM PARA O AGROEXTRATIVISMO .....</b>	<b>54</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>54</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>57</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>57</b>
3.1. Área de estudo .....	57
3.2. Espécies contempladas .....	57
3.3. Coleta de dados .....	58
3.4. Parâmetros de processamento .....	62
3.5. Ajuste e critérios de seleção de modelos de densidade de indivíduos .....	63
3.6. Estimativa da densidade de indivíduos das espécies arbóreas de interesse agroextrativista.....	64
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
4.1. Comportamento da densidade de indivíduos em diferentes valores de adequabilidade de ocorrência.....	65
4.2. Estimativa da densidade de indivíduos para as espécies de interesse agroextrativista no Cerrado.....	71
4.3. Estimativa e espacialização da densidade de indivíduos por hectare .....	72
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>74</b>
5.1. Incertezas associadas aos modelos de densidade.....	78
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>78</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE II.....</b>	<b>88</b>

## CAPÍTULO IV

<b>POTÊNCIAL PRODUTIVO DE ESPÉCIES DE INTERESSE AGROEXTRATIVISTA NO CERRADO: CENÁRIO ATUAL VERSUS POTENCIAL .....</b>	<b>89</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>90</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>92</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>92</b>
3.1. Área de estudo .....	92
3.2. Espécies contempladas .....	93
3.3. Estimativa do potencial produtivo das cinco espécies de interesse agroextrativista no TCARP.....	93
3.4. Mapas de uso dos solos e geomorfológico .....	95
3.5. Potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo, Minas Gerais em diferentes cenários de uso e cobertura da terra.....	98
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>99</b>
4.1. Potencial produtivo atual de espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo .....	99
4.2. Potencial produtivo em diferentes cenários no TCARP .....	100
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>105</b>
5.1. Potencial produtivo do Território da Cidadania Alto Rio Pardo .....	105
5.2. Incertezas associadas às estimativas do potencial produtivo.....	106
5.3. Comparativo dos valores brutos da rentabilidade econômica do agroextrativismo e silvicultura de eucalipto .....	107
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>110</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>110</b>
<b>8. DISPONIBILIZAÇÃO DOS DADOS .....</b>	<b>113</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>118</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

**Figura 1.1.** Localização do Território da Cidadania Alto Rio Pardo, no extremo norte do Estado de Minas Gerais. Fonte: próprio autor. .... 7

### CAPÍTULO II

**Figura 2.1.** Modelo esquemático do processo de classificação e vetorização das unidades geomorfológicas, empregado na seleção de variáveis para compor o banco de dados utilizado no ajuste dos modelos de distribuição de espécies (MDE) de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo, Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor. .... 22

**Figura 2.2.** Número de espécies de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), em Minas Gerais, que apresentam mesma amplitude de adequabilidade de ocorrência, em cinco classes de adequabilidade (adeq.), sendo A (adeq.  $\leq$  2), B ( $2 <$  adeq.  $\leq$  4), C ( $4 <$  adeq.  $\leq$  6), D ( $6 <$  adeq.  $\leq$  8), E ( $8 <$  adeq.  $\leq$  10). Fonte: próprio autor. .... 30

**Figura 2.3.** Pontos de ocorrência das espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), Minas Gerais. Fonte: próprio autor. .... 31

**Figura 2.4.** Mapa consenso de adequabilidade de ocorrência por espécie de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), em Minas Gerais; onde High indica os valores máximos de adequabilidade de ocorrência; Low indica os valores mínimos de adequabilidade de ocorrência; e Unsuitable indica locais não adequados para ocorrência. Fonte: próprio autor. .... 35

**Figura 2.5.** Mapa consenso de adequabilidade de ocorrência por espécie-alvo, com representação do processamento de dados para variáveis com 30 m e 1 km de resolução espacial. As áreas em tons de preto representam regiões não adequadas para ocorrência das espécies. Fonte: próprio autor. .... 36

**Figura 2.6.** Mapa de cobertura do solo (Geoportal Bem Diverso 2021), geomorfológico (Geoportal Bem Diverso 2021) e Imagem Landsat 8, RGB/564, referente a agosto de 2021, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil, indicando em tons vermelhos basicamente as formações savânicas, em tons de verdes as formações decíduais da Caatinga, associadas às unidades geomorfológicas. Fonte: próprio autor. .... 38

### CAPÍTULO III

**Figura 3.1.** Número de espécies de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil, que apresentam mesma amplitude de adequabilidade de ocorrência, considerando cinco classes de adequabilidade: A (adeq.  $\leq$  2), B ( $2 <$  adeq.  $\leq$  4), C ( $4 <$  adeq.  $\leq$  6), D ( $6 <$  adeq.  $\leq$  8), E ( $8 <$  adeq.  $\leq$  10). Fonte: próprio autor. .... 59

<b>Figura 3.2.</b> Localização das parcelas amostrais implantadas no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil, para efeito do inventário florestal de espécies de interesse agroextrativista. Fonte: próprio autor. ....	61
<b>Figura 3.3.</b> Número de indivíduos de <i>Annona crassiflora</i> por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. ....	66
<b>Figura 3.4.</b> Número de indivíduos de <i>Caryocar brasiliense</i> por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. ....	67
<b>Figura 3.5.</b> Número de indivíduos <i>Eugenia dysenterica</i> por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. ....	68
<b>Figura 3.6.</b> Número de indivíduos de <i>Hancornia speciosa</i> por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. ....	69
<b>Figura 3.7.</b> Número de indivíduos de <i>Tachigali subvelutina</i> por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. ....	70
<b>Figura 3.8.</b> Distribuição dos valores estimados e observados de densidade de indivíduos por hectare em função da adequabilidade de ocorrência das cinco espécies no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. ....	72
<b>Figura 3.9.</b> Mapa de densidade de indivíduos para espécies de interesse agroextrativista no Cerrado, com respectivas porcentagens de ocupação em área para os limites do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor. ....	73
<b>Figura 3.10.</b> Unidade geomorfológica nominada rampa de colúvio, com alta densidade de indivíduos de <i>T. subvelutina</i> (sinalizados em vermelho), no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), Estado de Minas Gerais, Brasil (Autoria: Jonas Alex Antônio de Souza). ....	77

#### CAPÍTULO IV

<b>Figura 4.1.</b> Mapa de cobertura do solo do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil (BEM DIVERSO, 2017). ....	96
<b>Figura 4.2.</b> Mapa de cobertura do solo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, no Estado de Minas Gerais, Brasil (BEM DIVERSO, 2020). ..	97
<b>Figura 4.3.</b> Mapa geomorfológico para os limites do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil (BEM DIVERSO, 2017). ....	98
<b>Figura 4.4.</b> Frutos maduros de um indivíduo de <i>E. dysenterica</i> em área de chapada no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor. ....	99

**Figura 4.5.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *E. dysenterica*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor. . 101

**Figura 4.6.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *A. crassiflora*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor. . 102

**Figura 4.7.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *C. brasiliense*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor. . 103

**Figura 4.8.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *H. speciosa*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor. . 104

**Figura 4.9.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *T. subvelutina*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor. . 105

**Figura 4.10.** Fornos tipo rabo-quente para produção de carvão de eucalipto no município de São João do Paraíso, Minas Gerais (Território Alto Rio Pardo). Fonte: próprio autor. .... 108

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO II

**Tabela 2.1.** Variáveis bioclimáticas de temperatura e precipitação, selecionadas para compor o banco de dados utilizado no ajuste dos modelos de distribuição de espécies (MDE) de interesse agroextrativista, Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), Minas Gerais, Brasil. .... 21

**Tabela 2.2.** Algoritmos utilizados na modelagem de distribuição das espécies de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil..... 27

**Tabela 2.3.** Estatísticas de precisão do modelo de distribuição de espécies, Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil..... 28

**Tabela 2.4.** Métricas de precisão dos algoritmos utilizados na modelagem final da distribuição de espécies (MDE) de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. .... 32

**Tabela 2.5.** Variáveis com alta capacidade preditiva das zonas de adequabilidade de ocorrência, com seus respectivos valores de inflação da variância (VIF), testadas no ajuste

dos modelos de distribuição de espécies (MDS) de interesse agroextrativista, para as comunidades Geraizeiras, do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), em Minas Gerais..... 33

### CAPÍTULO III

**Tabela 3.1.** Número de parcelas por classe de adequabilidade para as espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. .... 62

**Tabela 3.2.** Modelos ajustados para estimativa da densidade de indivíduos das espécies de interesse agroextrativista, nas comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil..... 64

**Tabela 3.3.** Métricas de ajuste e precisão dos modelos de densidade selecionados para as espécies de interesse agroextrativistas, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. .... 71

**Tabela 3.4.** Área, em hectares, por classe de densidade de indivíduos, para as cinco espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. .... 73

**Tabela 3.5.** Principais classes de densidade de indivíduos de espécies de interesse agroextrativistas para a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, com valores estimados no presente estudo e inventário realizado por Mazer (2016). ... 76

## RESUMO GERAL

O Brasil que abriga uma das maiores riquezas florísticas e faunísticas do planeta, também abriga uma rica sociobiodiversidade com diversas comunidades tradicionais. No bioma Cerrado, especificamente ao Norte do Estado de Minas Gerais, há um quadro rico e complexo de grupos socioculturais, dentre eles, destacam-se os povos e comunidades tradicionais, autodenominadas Geraizeiras, cuja cultura é baseada no agroextrativismo. Nessa região há também grandes conflitos de uso e ocupação de terras, que geram diversos problemas aos meios de vida das comunidades, devido ao desmatamento e substituição da vegetação nativa por outros usos. De forma geral, esses impactos ambientais acabam afetando diretamente a sobrevivência dos povos e comunidades tradicionais de uma região, especialmente quando esses impactos comprometem a oferta de recursos naturais essenciais para essas populações e a oferta e regulação de serviços ecossistêmicos essenciais, como exemplo, a regulação dos ciclos hidrológicos. Alterações bioclimáticas causadas por alterações antropogênicas podem afetar populações de espécies arbóreas de ecossistemas naturais, causando mudanças significativas na abundância e distribuição de seus indivíduos. Portanto, a espacialização de áreas naturais com adequabilidade de ocorrência associado à estimativa da densidade populacional das espécies exploradas serve para estimar o potencial produtivo e subsidiar o planejamento para o manejo e uso das áreas. No presente estudo, buscamos estimar a densidade de indivíduos e o potencial produtivo de espécies arbóreas de interesse agroextrativista no Cerrado utilizando modelos de distribuição de espécies de alta resolução espacial e avaliamos o impacto da mudança do uso dos solos no potencial produtivo dessas espécies no Território da Cidadania Alto Rio Pardo, no Norte de Minas Gerais. O estudo foi conduzido no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), localizado no extremo norte do Estado de Minas Gerais. Foram contempladas cinco espécies de interesse agroextrativistas pelas comunidades Geraizeiras, sendo uma de interesse madeireiro, (*Tachigali subvelutina*) e quatro de uso não madeireiro, (*Annona crassiflora*, *Caryocar brasiliense*, *Eugenia dysenterica* e *Hancornia speciosa*). Para estimativa e espacialização da densidade de indivíduos, a distribuição das cinco espécies foi modelada, utilizando nove algoritmos de processamento e o modelo consenso, fundamentados em 23 variáveis ambientais, entre geomorfológicas de alta resolução espacial e bioclimáticas. Os *scores* relacionados a adequabilidade de ocorrência de cada uma das espécies foram associados as respectivas densidades de indivíduos, registradas a partir de um inventário estratificado realizado na área de estudo. Quatro modelos alométricos exponenciais de densidade foram ajustados para cada espécie e algoritmo de processamento da modelagem de distribuição de espécies. Para estimativa do potencial produtivo da região, os *rasters* de densidade estimada foram associados à dados secundários de produtividade média dos indivíduos de cada espécie. O potencial produtivo foi comparado considerando dois cenários: o atual, que considera a presente cobertura do solo, o cenário potencial, que considera todo o gradiente de adequabilidade de ocorrência de espécies de interesse agroextrativista no TCARP. Os modelos de distribuição de espécies mostraram alta relação das áreas com adequabilidade de ocorrência com a disponibilidade hídrica e maior isothermalidade, localizadas principalmente nas unidades geomorfológicas nominadas como chapada e mesa, típicas de ocorrência de vegetação de formação savânica no bioma Cerrado, apresentando diferença significativa nas previsões ao utilizar variáveis de alta resolução espacial. A densidade de indivíduos aumentou com o aumento da

adequabilidade de ocorrência das espécies, com forte relação de proporcionalidade entre as variáveis para as espécies *A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *E. dysenterica* e *H. speciosa*, e moderada relação para *T. subvelutina*, com valores de erro médio quadrático (RMSE%) variando de 35,8% a 55,7%. A estimativa da densidade de indivíduos por meio de modelos de distribuição de espécies resultou em equações confiáveis, apresentando alta variação para diferentes espécies e diferentes algoritmos, o que demanda, caso a caso, uma avaliação cautelosa das métricas de ajuste e precisão, ao se aplicar a proposta metodológica para diferentes espécies nativas. Foi verificado que *E. dysenterica* possui o maior potencial produtivo de frutos no TCARP (254.884 t), seguida de *C. brasiliense* (62.688 t), *A. crassiflora* (2.574 t) e *H. speciosa* (1.325 t), e que o potencial produtivo destas espécies foi fortemente reduzido pelo desmatamento da vegetação nativa, principalmente para a silvicultura de eucalipto nas áreas de chapada. Ao considerar o cenário livre de alterações da cobertura do solo, ou seja, toda amplitude de adequabilidade de ocorrência das espécies, estima-se que o TCARP possui capacidade de elevar em até 2,4 vezes o potencial produtivo de frutos. A espécie *T. subvelutina*, de interesse madeireiro apresentou potencial produtivo de 13.697,5 m<sup>3</sup> para o TCARP e por ser amplamente utilizada pelas comunidades em nível familiar, necessita de estudos mais aprimorados sobre técnicas de manejo e nível de exploração sustentável.

**Palavras-chave:** abundância de indivíduos, produtividade, agroextrativismo, bioma Cerrado.

## GENERAL ABSTRACT

The Brazil is home to one of the planet's greatest floristic and faunal riches, is also home to a rich sociobiodiversity with several traditional communities. In the Cerrado biome, specifically in the north of the state of Minas Gerais, there is a rich and complex context of sociocultural groups, among which stand out the traditional peoples and communities, self-denominated Geraizeiras, whose culture is based on agroextractivism. In this region there are also major land use and occupation conflicts, which generate various problems for the livelihoods of communities, due to deforestation and substitution of native vegetation for other uses. In general, these environmental impacts end up affecting directly the survival of the traditional peoples and communities of a region, especially when these impacts compromise the supply of natural resources essential to these populations and the supply and regulation of essential ecosystem services, such as the regulation of hydrological cycles. Bioclimatic changes caused by anthropogenic alterations can affect populations of tree species in natural ecosystems, causing significant changes in the abundance and distribution of their individuals. Therefore, the spatialization of natural areas with agroextractivist potential associated with the estimation of population density of the exploited species serves to estimate the productive potential and subsidize planning for the management and use of the areas. In the present study, we sought to estimate the density of individuals and the productive potential of tree species of agroextractivist interest in the Cerrado using high spatial resolution species distribution models and to evaluate the impact of land use change on the productive potential of these species in the Alto Rio Pardo Citizenship Territory, in Northern Minas Gerais. The study was conducted in the Territory of Citizenship Alto Rio Pardo (TCARP), located in the extreme north of the state of Minas Gerais. Five species of agroextractivist

interest by the Geraizieras communities were contemplated, being one of timber interest, [*Tachigali subvelutina* (Benth.) Oliveira-Filho] and four of non-timber use, [*Annona crassiflora* Mart., *Caryocar brasiliense* Cambess, *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC. and *Hancornia speciosa* Gomes]. To estimate and spatialize the density of individuals, the distribution of the five species was modeled, using nine processing algorithms and the consensus model, based on 23 environmental variables, including high spatial resolution geomorphological and bioclimatic. The scores related to the suitability of occurrence of each species were associated with their respective densities of individuals, recorded from a stratified inventory conducted in the study area. Four exponential allometric density models were fitted for each species and the processing algorithm for species distribution modeling. To estimate the productive potential of the region, the estimated density rasters were associated with secondary data of average productivity of individuals of each species. The productive potential was compared considering two scenarios, the current scenario, which considers the all gradient of suitability of agroextractivist interest species occurrence in the TCARP. The species distribution models showed a high relation of the areas with occurrence suitability with water availability and higher isothermality, located mainly in the geomorphological units named chapada and mesa, typical of savanna vegetation occurrence in the Cerrado biome, presenting significant difference in the predictions when using high spatial resolution variables. The density of individuals increased with increasing suitability of occurrence of the species, with strong proportionality relationship between the variables for the species *A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *E. dysenterica* and *H. speciosa*, and moderate relationship for *T. subvelutina*, with values of root mean square error (RMSE%) ranging from 35.8% to 55.7%. The estimation of the density of individuals by means of species distribution models resulted in reliable equations, presenting high variation for different species and different algorithms, which demands, case by case, a cautious evaluation of the fit metrics and precision, when applying the methodological proposal for different native species. It was found that *E. dysenterica* has the highest fruit production potential in the TCARP (254,884 t), followed by *C. brasiliense* (62,688 t), *A. crassiflora* (2,574 t) and *H. speciosa* (1,325 t), and that the production potential of these species was strongly reduced by the deforestation of native vegetation, mainly for the silviculture of eucalyptus in the chapada areas. When considering the scenario free of soil cover changes, that is, the entire range of species' suitability of occurrence, it is estimated that TCARP has the capacity to increase fruit production potential by up to 2.4 times. The species *T. subvelutina*, of timber interest, showed a productive potential of 13,697.5 m<sup>3</sup> for the TCARP and because it is widely used by communities at the family level, it needs further studies on management techniques and level of sustainable exploitation.

**Keyword:** abundance of individuals, productivity, agroextractivism, Cerrado biome.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil um país megadiverso (BACON et al., 2019), que abriga uma das maiores riquezas florísticas e faunísticas do planeta (MYERS et al., 2000), abriga também uma rica sociobiodiversidade, com diversas comunidades tradicionais, como os indígenas com 305 etnias (IBGE, 2010), Quilombolas, Extrativistas, Ribeirinhos, Seringueiros, Pescadores, Vazanteiros, Geraizeiros, Quebradeiras de coco babaçu, Fecho e Fundo de Pasto, Caatingueiros, entre outras, que carregam um enorme e inestimável acervo de conhecimentos empíricos sobre a conservação da biodiversidade.

No bioma Cerrado, especificamente ao Norte do Estado de Minas Gerais, há um quadro rico e complexo de grupos socioculturais (COSTA FILHO et al., 2015). Nesses agrupamentos, destacam-se os povos e comunidades tradicionais, autodenominadas Geraizeiras, cuja cultura é baseada no agroextrativismo, principalmente de produtos florestais não madeireiros advindos do Cerrado. Porém, nessa região há também grandes conflitos de uso e ocupação de terras, que geram diversos problemas aos meios de vida das comunidades tradicionais, devido o desmatamento e substituição da vegetação nativa por outros usos (ANAYA, 2014).

Distúrbios, naturais ou antrópicos, em paisagens naturais do Cerrado podem causar vários impactos ambientais na vegetação remanescente, que direta ou indiretamente, irão influenciar nas condições climáticas, nos ciclos biogeoquímicos (água, carbono, nitrogênio e oxigênio), na disponibilidade e qualidade dos recursos naturais, na biodiversidade, nas interações ecológicas entre flora e fauna e, também, na fertilidade do solo. De forma geral, esses impactos ambientais acabam afetando diretamente a sobrevivência dos povos e comunidades tradicionais de uma região, especialmente quando esses impactos comprometem a oferta de recursos naturais essenciais para essas populações e a oferta e regulação de serviços ecossistêmicos essenciais, como exemplo, a regulação dos ciclos hidrológicos.

Alterações bioclimáticas causadas por alterações antropogênicas podem afetar populações de espécies arbóreas de ecossistemas naturais, causando mudanças significativas na abundância e distribuição de seus indivíduos, colocando sob risco de extinção diversas espécies (CEBALLOS; EHRLICH; DIRZO, 2017). Portanto, a espacialização de áreas naturais com adequabilidade de ocorrência associado à estimativa

da densidade populacional das espécies exploradas serve para estimar o potencial produtivo e subsidiar o planejamento para o manejo e uso das áreas.

Dentre as diferentes técnicas de modelar a distribuição de espécies, destacam-se os modelos de nichos ecológicos. Uma das premissas desta técnica é que a distribuição geográfica observada de determinada espécie contém as condições ambientais necessárias para a espécie persistir, e são suficientes para o conhecimento das regiões geográficas adequadas para sua ocorrência (PEARSON; DAWSON, 2003). No entanto para que se possa compreender a importância das diferentes variáveis na distribuição de espécies é necessária uma avaliação quantitativa da contribuição de cada variável ambiental (BRADIE; LEUNG, 2017).

Dentre as diversas aplicações da predição de áreas com adequabilidade de ocorrência de espécies, destacam-se algumas: subsidiar o planejamento e o desenvolvimento de estratégias para conservação da biodiversidade (SEVILHA, 2016); identificar áreas de potencial expansão espacial, visando garantir a proteção e manutenção da conectividade da paisagem, fundamental para a distribuição das espécies e, portanto, para sua continuidade na natureza (NEZER et al., 2017); localizar populações de espécies conhecidas para fins de conservação (FOIS et al., 2018); identificar áreas de *hotspot* de biodiversidade ou de ocorrência de espécies ameaçadas e avaliar impacto de mudanças climáticas (GUISAN; THUILLER, 2005); indicar áreas potenciais e preferenciais de espécies de interesse madeireiro em planos de manejo florestal sustentável (FIGUEIREDO et al., 2015); e oferecer critérios para definir áreas especialmente úteis ao monitoramento da vida silvestre (CASSINI, 2011).

Outra aplicação importante da predição de áreas com adequabilidade para ocorrência de espécies é para a identificação da distribuição das densidades de indivíduos e potencial produtivo de espécies em vegetação nativa. Esse conhecimento pode contribuir em planos de conservação, manejo e restauração, especialmente em locais com iniciativas voltadas à coleta de produtos florestais não madeireiros e madeireiros. Portanto, a modelagem da distribuição espacial de espécies nativas por meio dos modelos de nichos ecológicos pode contribuir para o planejamento do uso sustentável da biodiversidade, um exemplo disso, seria no direcionamento e otimização do agroextrativismo por comunidades tradicionais.

## **2. HIPÓTESES**

- Variáveis geomorfológicas de alta resolução espacial contribuem no refinamento e determinação de áreas com adequabilidade de ocorrência de espécies arbóreas nativas do Cerrado.

- A densidade de indivíduos de espécies arbóreas nativas do Cerrado pode ser estimada por meio de valores contínuos de adequabilidade de ocorrência dessas espécies.

- A mudança do uso e cobertura do solo é um fator determinante na redução de áreas com alta adequabilidade de ocorrência e do potencial produtivo das espécies de interesse agroextrativista no Norte de Minas Gerais.

## **3. OBJETIVO GERAL**

Estimar a densidade de indivíduos e o potencial produtivo de espécies arbóreas de interesse agroextrativista no Cerrado utilizando modelos de distribuição de espécies de alta resolução espacial e avaliar o impacto da mudança do uso dos solos no potencial produtivo dessas espécies no Território da Cidadania Alto Rio Pardo, no Norte de Minas Gerais.

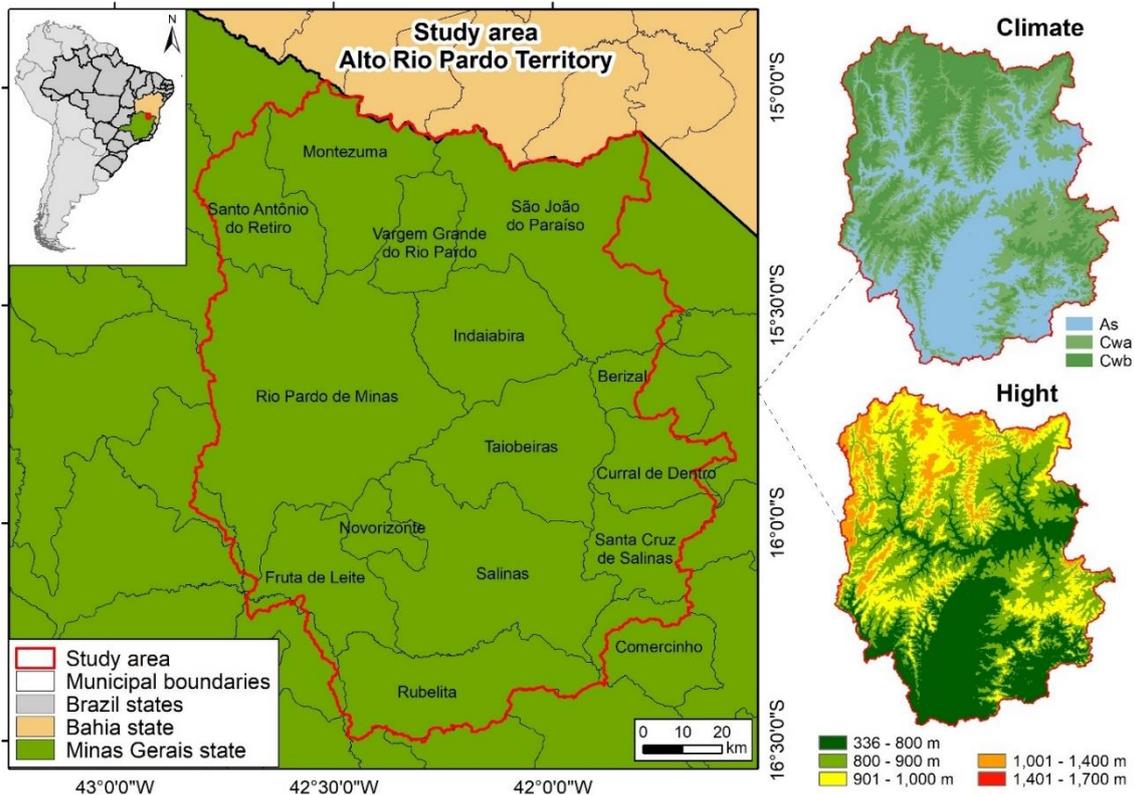
## **4. MATERIAL E MÉTODOS GERAIS**

### **4.1. Área de estudo**

Este estudo foi realizado no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), localizado no extremo norte do Estado de Minas Gerais, na divisa com o Estado da Bahia, Brasil. O TCARP encontra-se numa região de transição entre os biomas Cerrado e Caatinga, constituído por 15 municípios, totalizando uma área de 15.323 km<sup>2</sup>, situada entre os paralelos 14° 58' 58" e 16° 30' 13" de latitude Sul e 41° 34' 59" e 42° 49' 42" de longitude Oeste (Figura 1). Abrange duas importantes bacias hidrográficas do Brasil, a bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo e a bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha.

A região apresenta clima sazonal, com invernos secos e verões chuvosos. A precipitação média anual é de 795 mm, mal distribuídos durante o período chuvoso, e a temperatura média é de 24,2 °C, conforme registros da estação automática de Salinas-MG (INMET, 2020). Conforme a classificação de Koppen e Geiger (ALVARES et al., 2013), o clima na região varia entre os tipos subtropical úmido com invernos secos e verões quentes (Cwa), subtropical com invernos secos e verão temperado (Cwb) e tropical

com verões secos (As). O clima Cwb predomina na região Norte e Noroeste do Território, nas áreas de chapadas e nas regiões de maiores altitudes na Serra Geral do Espinhaço que chegam a 1.700 m de altitude, o As predomina na região centro-sul, em áreas de depressão do vale do Jequitinhonha e planícies fluviais, com altitudes médias de 700 m. O clima Cwa encontra-se distribuído por todo o Território em áreas de chapadas, com altitude média de 1.000 m (Figura 1.1).



**Figura 1.1.** Localização do Território da Cidadania Alto Rio Pardo, no extremo norte do Estado de Minas Gerais. Fonte: próprio autor.

#### 4.2. Espécies contempladas no estudo

O presente estudo contemplou cinco espécies-alvo de interesse agroextrativista, sendo uma de interesse madeireiro [*Tachigali subvelutina* (Benth.) Oliveira-Filho] e quatro de uso não madeireiro, [*Annona crassiflora* Mart., *Caryocar brasiliense* Cambess, *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC. e *Hancornia speciosa* Gomes]. Na escolha das espécies foi considerado a importância para as comunidades e seu destaque pelo volume colhido ou comercializado *in natura* ou processados na região.

As espécies de uso não madeireiro possuem alto valor econômico e são responsáveis por uma gama de produtos e subprodutos beneficiados pelas comunidades, para produção de polpas, sucos, doces, geleias, sorvetes, óleo, castanhas, farinhas, entre

outros, que são comercializados diretamente em feiras, mercados institucionais e privados. A espécie de uso madeireiro foi selecionada pela ampla utilização para o consumo local familiar (LIMA et al., 2012), como lenha e estacas para cercas, currais, carros de boi, dentre outros usos.

#### **4.2.1. *Annona crassiflora***

*Annona crassiflora* (família Annonaceae), é conhecida popularmente como araticum, araticum-do-cerrado, pinha-do-cerrado e panã, (ALMEIDA et al., 1998; RIBEIRO; SCALOPPI-JUNIOR; FONSECA, 2000). Apresenta ampla distribuição geográfica, sendo encontrada nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Pará, Bahia, Tocantins, Maranhão e Paraná (MAAS; LOBÃO; RAINER, 2015; RATTER et al., 2000). De porte arbóreo, altura entre 4 e 8 metros e tronco geralmente tortuoso (LORENZI, 1998). Floresce de setembro a novembro, com crescimento dos frutos iniciando em novembro e maturação entre fevereiro e abril (RIBEIRO; SCALOPPI-JUNIOR; FONSECA, 2000).

O principal uso da espécie é alimentício, com diferentes níveis de beneficiamento. O fruto apresenta polpa doce, que pode ser consumida ao natural ou na forma de doces, geleias, sucos, licores, tortas, iogurtes ou sorvetes (ALMEIDA et al., 1998). A exploração da espécie é feita basicamente por extrativismo (MELO, 2010).

#### **4.2.2. *Eugenia dysenterica***

*Eugenia dysenterica* (família Myrtaceae), é conhecida popularmente por cagaita ou cagaiteira (CHAVES; TELLES, 2016). É arbórea corticeira, melífera e ornamental (SILVA JUNIOR, 2005), endêmica do Brasil, e com ampla distribuição geográfica nas regiões Centro-Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal), Norte (Tocantins), Nordeste (Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Piauí) e Sudeste (Minas Gerais e São Paulo) (BRITO et al., 2003; CORRÊA, 1984; SOBRAL et al., 2015). Árvore de porte médio, com altura de 4 m a 10 m (RIZZINI, 1971), floresce principalmente em agosto e setembro (SILVA JUNIOR, 2005). Os frutos crescem rapidamente no período da seca e caem maduros no final de setembro e início de outubro (CHAVES; TELLES, 2016).

A espécie tem amplo uso alimentício, os frutos possuem propriedades laxativas e podem ser consumidos *in natura* e em iguarias regionais. Sua produção de frutos é usada

de forma extrativista e proveniente de populações naturais da espécie (CHAVES; TELLES, 2016).

#### **4.2.3. *Hancornia speciosa***

*Hancornia speciosa* (família Apocynaceae), é conhecida popularmente por mangaba, mangabeira, mangabeira-do-norte, mangabeira-do-cerrado, fruta-de-doende (PEREIRA et al., 2010, 2016). Possui ampla distribuição geográfica no Brasil, ocorrendo nas regiões Norte (Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), Centro-Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal), Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe), Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) e Sul (Paraná) (KOCH et al., 2015).

Esta árvore, de 2 a 10 m de altura, floresce de junho a novembro, cujos frutos estão maduros de outubro a dezembro (SILVA et al., 2001). Os frutos são muito apreciados pelas populações locais e pelas indústrias alimentícias (PEREIRA et al., 2016), pois são ricos em vitamina C e muito utilizados na fabricação de suco, picolé, sorvete, doce, geleia e licor.

#### **4.2.4. *Caryocar brasiliense***

*Caryocar brasiliense* (família Caryocaraceae) é popularmente conhecida como pequi, pequizeiro, pequiá, amêndoa-de-espinho e suari (LOPES et al., 2016). Ocorre nas regiões Norte (Pará e Tocantins), Nordeste (Bahia), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás e Mato Grosso), Sudeste (Minas Gerais e São Paulo) e Sul (Paraná) (MEDEIROS; AMORIM, 2015).

Suas árvores podem atingir mais de 10 m de altura ou podem ter porte pequeno, devido a fatores genéticos ou baixa fertilidade do solo (LOPES et al., 2016). De acordo com Gribel (1986), os botões florais abrem em até um mês e meio após a emissão das inflorescências. Geralmente a floração ocorre no final da estação seca, podendo estender até o início da estação chuvosa. Os frutos iniciam a maturação em meados de novembro, prolongando-se até início de fevereiro e alcançando a maturidade, em torno de três ou quatro meses após a floração.

A polpa dos frutos é muito utilizada na culinária regional (BLUMENSCHNEIN; CALDAS, 1995), porém, o óleo, a castanha e seus derivados também apresentam altas demandas (POZO, 1997). O fruto é de extrema importância no norte de Minas Gerais, sendo apelidado de “esteio do sertão”, pois é abundante e devido ao seu potencial

nutricional (alto valor calórico e alto teor de vitamina A) melhora a qualidade da alimentação (RIBEIRO, 2000).

#### **4.2.5. *Tachigali subvelutina***

*Tachigali subvelutina* (família Fabaceae) é conhecida popularmente como veludo ou carvoeiro. Ocorre nas regiões Norte (Tocantins), Nordeste (Bahia, Maranhão e Piauí), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) e Sudeste (Minas Gerais) (FLORA DO BRASIL, 2020).

É árvore pioneira e semidecídua, com até 10 m de altura, que ocorre preferencialmente em terrenos bem drenados. A floração ocorre entre julho e janeiro e a frutificação entre agosto a outubro (SILVA JUNIOR, 2005). A madeira possui alta densidade aparente ( $0,77 \text{ g.cm}^{-3}$ ), utilizada principalmente para produção de lenha e carvão (FARIA, 2016). É também espécie melífera e possui alto potencial para recuperação de áreas degradadas (SILVA JUNIOR, 2005). No norte de Minas Gerais, a sua madeira é bastante utilizada pelas comunidades tradicionais, principalmente, como lenha, mourões de cercas e em construções rurais (MAZER, 2016).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, Brasília, 464 p., 1998.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANAYA, F. C. “Vazanteiros em movimento”: o processo de ambientalização de suas lutas territoriais no contexto das políticas de modernização ecológica. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, p. 4041–4050, 2014.
- BACON, E. et al. Aichi Biodiversity Target 11 in the like-minded megadiverse countries. **Journal for Nature Conservation**, v. 51, p. 125723, 2019.
- BLUMENSCHNEIN, A.; CALDAS, R. A. **Projetos de domesticação de plantas do Cerrado e sua incorporação a sistemas produtivos regionais**. Goiânia: UFG, 1995.
- BRADIE, J.; LEUNG, B. A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. **Journal of Biogeography**, v. 44, n. 6, p. 1344–1361, 2017.
- BRITO, M. A.; PEREIRA, E. B. C.; PEREIRA, A. V.; RIBERIO, J. F. **Cagaita, Biologia e manejo**. Planaltina-DF, Embrapa Cerrados, 2003. 80 P.
- CASSINI, M. H. Ecological principles of species distribution models: the habitat matching rule. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 11, p. 2057–2065, 2011.
- CEBALLOS, G.; EHRLICH, P. R.; DIRZO, R. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 30, p. 6089-6096, 2017.
- CHAVES, L. J.; TELLES, P. C. *Eugenia dysenterica*: cagaita. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. (Eds.). **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: plantas para o futuro - região centro-oeste**. Biodiv. 44 ed. Brasília, DF: MMA, 2016. p. 216–220.
- CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1984.
- COSTA FILHO, A.; BEATRIZ, A.; MENDES, V.; FLÁVIA, A.; SANTOS, M.; MAGALHÃES, F. F.; RODRIGUES, L.; BRAGA, DE O.; PEIXOTO, LUÍSA H. F.; ROCHA, M. T. Mapeamento dos povos e comunidades tradicionais de Minas Gerais: visibilização e inclusão sociopolítica Um breve relato sobre incursões no semiárido mineiro. **Interfaces**, v. 3, n. 1, p. 69–88, 2015.
- FARIA, M. C. 2016. 103 f. **Potencial madeireiro de 22 espécies arbóreas do Cerrado: caracterização anatômica, física e energética**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2016.

FIGUEIREDO, S. M. de M.; VENTICIQUE, E. M.; FIGUEIREDO, E. O.; FERREIRA, E. J. L. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 2, p. 167–174, 2015.

FLORA DO BRASIL. *Tachigali* in **Flora do Brasil 2020 em construção**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB106843>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

FOIS, M.; CUENA-LOMBRANÃ, A.; FENU, G.; BACCHETTA, G. Using species distribution models at local scale to guide the search of poorly known species: Review, methodological issues and future directions. **Ecological Modelling**, v. 385, p. 124–132, 2018.

GRIBEL, R. 1986. 110 f. **Ecologia da polinização e da dispersão de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) na região do Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado), INPA, Brasília, DF, 1986.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, v. 8, n. 9, p. 993–1009, 2005.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 14 mar. 2022.

INMET. **BDMEP - Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 8 jan. 2020.

KOCH, I.; RAPINI, A.; SIMÕES, A. O.; KINOSHITA, L. S.; SPINA, A. P.; CASTELLO, A. C. D. **Apocynaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**, 2015. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB15558>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

LIMA, I. L. P.; SCARIOT, A.; MEDEIROS, M. B.; SEVILHA, A. C. Diversidade e uso de plantas do Cerrado em comunidade de Geraizeiros no norte do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 26, n. 3, p. 675–684, 2012.

LOPES, P. S. N.; PEREIRA, A. V.; PEREIRA, E. B. C.; MARTINS, E. R. M.; FERNANDES, R. C. *Caryocar brasiliense*: pequi. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. (Eds.). **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: plantas para o futuro - região centro-oeste**. Biodiv. 44 ed. Brasília, DF: MMA, 2016. p. 190–198.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998.

MAAS, P.; LOBÃO, A.; RAINER, H. Annonaceae in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB117092>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

MAZER, S. 2016. 54 f. **Potencial produtivo de plantas de importância socioeconômica da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes**

- Geraizeiras, Minas Gerais, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Brasília-DF, 2016.
- MEDEIROS, H.; AMORIM, A. M. A. **Caryocaraceae in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB6688>>. Acesso em: 9 jan. 2020.
- MELO, J. T. Araticum. In: VIEIRA, R. F. et al. **Frutas nativas da região centro-oeste do Brasil**. 1. ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. p. 69–79.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. v. 403, p. 853–858, 2000.
- NEZER, O.; BAR-DAVID, S.; GUETA, T.; CARMEL, Y. High-resolution species-distribution model based on systematic sampling and indirect observations. **Biodiversity and Conservation**, v. 26, n. 2, p. 421–437, 2017.
- PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, n. 5, p. 361–371, 2003.
- PEREIRA, A. V.; PEREIRA, E. B. C.; SILVA JUNIOR, J. F.; SILVA, D. B. Mangaba. In: VIEIRA, R. F. et al. (Eds.). **Frutas nativas da região centro-oeste do Brasil**. 1. ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. p. 221–243.
- PEREIRA, A. V.; PEREIRA, E. B. C.; SILVA-JUNIOR, J. F.; SILVA, D. B. Mangaba. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. (Eds.). **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: plantas para o futuro - região centro-oeste**. Biodiv. 44 ed. Brasília, DF: MMA, 2016. p. 237–244.
- POZO, O. V. C. 1997. 100 f. **O pequi (*Caryocar brasiliense*): uma alternativa para o desenvolvimento sustentável do Cerrado no Norte de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 1997.
- RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F.; DIAS, T. A. B.; SILVA, M. R. Estudo preliminar da distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma Cerrado. **Boletim do herbário Ezechias Paulo Heringer**. v. 5, p. 5–43, 2000.
- RIBEIRO, J. A.; SCALOPPI-JUNIOR, E. J.; FONSECA, C. E. L. **Araticum (*Annona crassiflora* Mart.)**. Jaboticabal: FUNEP, 52p, 2000.
- RIBEIRO, R. F. **Pequi, o rei do Cerrado: roendo o fruto sertanejo por todos os lados**. Belo Horizonte: Rede Cerrado/REDE/CAANM/Campo Vale, 62p., 2000.
- RIZZINI, C. T. **Aspectos ecológicos da regeneração em algumas plantas do Cerrado**. Anais. SIM ed. São Paulo, SP, 1971.
- SILVA, D. B.; SILVA, J. A.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M. **Frutas do Cerrado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 179 p.
- SILVA JÚNIOR, M. C. **100 árvores do cerrado: guia de campo**. Brasília, DF: Rede de Sementes do Cerrado, 2005. 278p

SEVILHA, A. C. Systematic conservation planning for the Paranã River Basin, Brazil, under climate change. **Thesis (Doctor in Tropical Biodiversity and Climate Change**, James Cook University, 2016.

SOBRAL, M. et al. **Myrtaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em:  
<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB10388>>. Acesso em: 9 jan. 2020.

## CAPÍTULO II

### IMPOTÊNCIA DAS VARIÁVEIS GEOMORFOLÓGICAS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES DE INTERESSE AGROEXTRATIVISTA NO CERRADO

#### RESUMO

Em um cenário de esforços voltados ao desenvolvimento socioambiental, diversas práticas direcionadas ao agroextrativismo necessitam de melhor planejamento para otimização da coleta sustentável de produtos florestais. Neste sentido, a identificação das regiões adequadas para ocorrência de espécies e compreensão das principais variáveis ambientais que influenciam a ocorrência pode subsidiar informações para o planejamento do uso de um território. A inserção de variáveis geomorfológicas de alta resolução espacial (30 m), em meio a variáveis bioclimáticas, pode resultar em modelos de adequabilidade suficientemente sensíveis em escala local, que podem ser utilizados para o planejamento de ações de conservação, manejo e restauração nos territórios de uso tradicional. O estudo teve como objetivo avaliar a relação das unidades geomorfológicas com modelos de distribuição bioclimática e topográfica e o efeito da utilização das variáveis geomorfológicas de alta resolução espacial (30 m) na identificação de áreas de adequabilidade para ocorrência das espécies de interesse extrativistas no Cerrado. O estudo foi desenvolvido no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), sendo modelada a distribuição espacial de cinco espécies de interesse agroextrativista (*Annona crassiflora*, *Caryocar brasiliense*, *Eugenia dysenterica*, *Hancornia speciosa* e *Tachigali subvelutina*), utilizando 9 algoritmos, fundamentados em 23 variáveis ambientais, entre geomorfológicas e bioclimáticas, comparadas em diferentes resoluções espaciais. Os modelos apresentaram, em média, boa qualidade nas projeções de adequabilidade para as cinco espécies, de acordo com a métrica de precisão TSS. O algoritmo *Generalized Linear Models* (GLM) se destacou pelo alto poder preditivo das zonas de adequabilidade para três espécies (*E. dysenterica*, *H. speciosa* e *T. subvelutina*), o algoritmo *Artificial Neural Networks* (ANN) e *Generalized Additive Models* (GAM) para *C. brasiliense* e *Random Forest* (RF) para *A. crassiflora*. Os modelos mostraram alta relação das áreas com adequabilidade de ocorrência com a disponibilidade hídrica e maior isothermalidade, localizadas principalmente nas unidades geomorfológicas nominadas como chapada e mesa, típicas de ocorrência de vegetação de formação savânica no bioma Cerrado, apresentando diferença significativa nas previsões ao utilizar variáveis de alta resolução espacial. Compreender as relações entre a ocorrência de espécies de interesse agroextrativista com as unidades geomorfológicas e variáveis climáticas permitem definir estrategicamente as áreas com maior potencial produtivo e priorizar áreas para conservação, manejo, restauração ecológica de vegetação nativa e direcionamento de áreas para a implementação de agroindústrias comunitárias, essenciais para o planejamento territorial com as comunidades tradicionais que dependem dessas áreas naturais conservadas.

**Palavras-chave:** modelos de nichos ecológicos; geomorfologia; variáveis bioclimáticas; agroextrativismo; Cerrado.

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças no uso e cobertura do solo, mudanças climáticas e o aquecimento global vêm afetando a maioria dos processos ecológicos na Terra (LIMA et al., 2020; SCHEFFERS et al., 2016; IPCC, 2018). Uma das principais consequências é a redução de áreas com adequabilidade para ocorrência das espécies, que pode levar à perda de populações e mesmo à extinção de espécies (CEBALLOS; EHRLICH; DIRZO, 2017). A perda de populações traz consequências às relações biológicas e a redução ou mesmo cessão de serviços ambientais fundamentais ao ecossistema e às populações locais que destes se beneficiam.

Para mitigar os efeitos da perda de populações é fundamental identificar quais variáveis estão associadas a ocorrências das populações. Dentre as variáveis mais importantes estão as bioclimáticas e geomorfológicas, fundamentais para explicar a distribuição espacial de espécies (AMIRI et al., 2020; GUIBAN; HOFER, 2003; OMAR et al., 2021). Paralelamente, dados relacionados a cobertura do solo também fornecem importantes informações sobre a distribuição e ocorrência realizada das espécies. Portanto, é fundamental avaliar a contribuição das variáveis ambientais nos ajustes de modelos de distribuição de espécies (MDE).

Os MDE visam a identificação de áreas com adequabilidade à ocorrência de uma determinada espécie-alvo, e, portanto, apresentam forte capacidade preditiva do potencial de distribuição espécie-ambiente (PEARSON et al., 2006; PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006). Em geral, para o ajuste de MDE são necessários os registros de ocorrência real (latitude e longitude) da espécie-alvo e a seleção de variáveis ambientais altamente correlacionadas com as características dessa espécie (BAEK; KIM; LEE, 2019), isto é, variáveis ambientais com alto poder explicativo quanto a distribuição da espécie. Os MDE ajustados projetam as relações modeladas no espaço geográfico e produzem um mapa indicando as regiões com condições ambientais potenciais para a ocorrência de uma espécie de interesse (VERBRUGGEN et al., 2013).

Uma das premissas fundamental desse tipo de modelagem é que a distribuição observada de determinada espécie fornece informações suficientemente importantes sobre suas preferências ambientais, que podem ser utilizadas como variáveis preditivas para definir as regiões geográficas adequadas para a sua ocorrência (PEARSON; DAWSON, 2003). Para muitas aplicações dos MDE, variáveis de alta resolução espacial de entrada nos modelos são consideradas necessárias para capturar a variabilidade

ambiental, especialmente em paisagens fisiograficamente complexas (HIJMANS et al., 2005). No entanto, os dados bioclimáticos disponíveis e amplamente utilizados para modelar a distribuição de espécies, apresentam resolução espacial superior a 1 km, como exemplo WorldClim (FICK E HIJMANS, 2017) e CHELSA (KARGER et al., 2017). Desta forma, muitos estudos são limitados por este fator relacionado à resolução espacial (BAZZATO et al., 2021; NEZER et al., 2017), principalmente em escalas locais e regionais.

Modelos com baixa resolução espacial podem ser preferidos em escala continental ou biogeográficas. Já os modelos que utilizam variáveis de alta resolução podem representar fenômenos em escala local, como corredores ecológicos, efeitos de estradas e rios (NEZER et al., 2017), e sensibilidade às unidades geomorfológicas. Assim, modelos de adequabilidade em escala fina podem ser mais adequados para o planejamento da conservação e o manejo de espécies e ecossistemas, em nível local ou regional (HESS et al., 2006).

Quando se deseja respostas sensíveis em escala local ou regional é fundamental a introdução de variáveis de alta resolução espacial, como aquelas relacionadas a geomorfologia (NEZER et al., 2017). Estas variáveis podem agregar informações sensíveis em escala espacial considerando a abrupta modificação morfológica do solo em distâncias inferiores a 1 km, escala de resolução espacial das variáveis bioclimáticas. Essa opção visa representar melhor a ocorrência de espécies-alvo em contextos que demandam conhecimento em maior detalhe espacial, como no caso de espécies exploradas por comunidades humanas. MDEs oriundos de variáveis finas podem ter usos práticos, como na definição de áreas prioritárias para uso, conservação e restauração das áreas de ocorrência das espécies e alocação de infraestruturas que apoiam a utilização dessas espécies (por exemplo estradas e agroindústrias).

Considerando a importância de se conhecer a contribuição das variáveis geomorfológicas com alta resolução espacial na distribuição das espécies, busca-se a resposta às questões:

(i) Como os modelos digitais de superfície traduzidos em unidades geomorfológicas estão associados a áreas de alta adequabilidade de ocorrência das espécies-alvo no Cerrado?

(ii) Como modelos de distribuição de espécies podem contribuir para o manejo sustentável das espécies em escala local ou regional?

(iii) Como variáveis geomorfológicas de alta resolução espacial podem aumentar o poder explicativo dos modelos de distribuição de espécies?

## **2. OBJETIVO**

Avaliar a relação das unidades geomorfológicas com modelos de distribuição bioclimática e topográfica e o efeito da utilização das variáveis geomorfológicas de alta resolução espacial (30 m) na identificação de áreas de adequabilidade para ocorrência das espécies de interesse agroextrativistas no Cerrado.

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1. Área de estudo**

O estudo foi realizado no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP) localizado no extremo Norte de Minas Gerais, caracterizado por uma região de transição entre os biomas Cerrado e Caatinga, totalizando uma área de 15.323 km<sup>2</sup>. O Território abrange duas importantes bacias hidrográficas do Brasil, sendo elas a bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo e a bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha.

O clima na região varia entre os tipos Subtropical úmido com invernos secos e verões quentes (Cwa), Subtropical com invernos secos e verão temperado (Cwb) e Tropical com verões secos (As), conforme a classificação Koppen e Geiger (ALVARES et al., 2013). O clima Cwb predomina na região Norte e Noroeste do Território, nas áreas de chapadas e nas regiões de maiores altitudes, com valor máximo de 1.700 m na Serra Geral do Espinhaço, o As com predomínio na região centro-sul, em áreas com altitude média de 700 m, localizada na depressão do vale do Jequitinhonha e planícies fluviais. Já o clima Cwa encontra-se em regiões com altitude média de 1.000 m, distribuído por todo o Território em áreas de chapadas. A temperatura média no TCARP é de 24,2°C e precipitação média anual de 795 mm (INMET, 2020).

### **3.2. Espécies contempladas no estudo**

O presente estudo contemplou cinco espécies-alvo de interesse agroextrativista, sendo uma de interesse madeireiro, *Tachigali subvelutina* (Benth.) Oliveira-Filho, e quatro de uso não madeireiro, isto é, *Annona crassiflora* Mart., *Caryocar brasiliense* Cambess, *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC. e *Hancornia speciosa* Gomes, amplamente

utilizadas *in natura* e na fabricação de polpa, sucos, geleias, sorvetes, entre outros. A descrição detalhada das espécies foi apresentada no Capítulo I deste documento, no item 4.2.

### **3.3. Coleta de dados**

A coleta de dados consistiu na obtenção de um conjunto de informações geoespaciais para compor um banco de dados que representasse da melhor forma o padrão de distribuição espacial de cada uma das espécies selecionadas, e, posteriormente, gerar modelos de distribuição de espécies (MDE). O banco de dados foi estruturado considerando duas etapas, sendo a primeira voltada à realização da modelagem piloto da distribuição das espécies, que resultou em um primeiro mapa utilizado como subsídio para estratificação da adequabilidade de ocorrência, empregada para uma segunda coleta de dados, destinada à realização da modelagem final da distribuição das espécies.

A modelagem piloto foi realizada para prospecção e entendimento prévio do padrão de distribuição das espécies na área e para posterior direcionamento da coleta de dados em campo, contemplando amostras em todas as classes de adequabilidade ambiental expresso pela distribuição espacial.

### **3.4. Modelagem piloto da distribuição das espécies**

#### **3.4.1. Dados relacionados à ocorrência das espécies**

Os pontos de ocorrência de cada uma das cinco espécies-alvo foram provenientes de fontes primária e secundária de dados. A fonte primária consistiu na coletadas coordenadas geográficas de indivíduos vivos das espécies em campo. As coordenadas geográficas foram obtidas com o uso de GPS de navegação, durante 14 dias de expedição de campo, subdividida em duas expedições de 7 dias, realizadas em diversos fragmentos de Cerrado, selecionados de forma aleatória ao longo de toda a extensão do TCARP (15 municípios).

A fonte secundária consistiu na obtenção de informações sobre a ocorrência de cada uma das cinco espécies, a partir de pesquisas bibliográficas sobre publicações de estudos científicos realizados na área (LIMA et al., 2012; MAZER, 2016; OLIVEIRA, 2009); levantamentos em bases de dados online sobre distribuição de espécies, como *SpeciesLink* (<http://splink.cria.org.br/>) e *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF: [www.gbif.org](http://www.gbif.org)) e levantamentos no herbário CEN (Herbário da Embrapa Recursos

Genéticos e Biotecnologia), onde estão depositados materiais botânicos de espécies coletadas no TCARP.

Para os dados obtidos das plataformas *SpeciesLink* e GBIF, foi aplicado um filtro para eliminar registros imprecisos quanto à localização geográfica dos pontos de ocorrência das espécies. É o caso dos dados registrados antes da década de 1990, isto é, antes do advento de GPS; registros com menos de três casas decimais (coordenadas em graus decimais), que podem apresentar erro de deslocamento superiores a 100 m; registros referenciados na sede do município. A filtragem realizada nas bases online resultou em um total de 12 pontos válidos de registro de ocorrência das 5 (cinco) espécies de interesse no presente estudo. Os dados provenientes de fonte primária foram conferidos, sendo eliminados alguns registros pontuais, ou seja, registros localizados próximos a residências, cujas plantas poderiam ter sido introduzidas no local.

Após compilação dos dados das fontes primária e secundária, foi realizada a filtragem dos dados, utilizando a ferramenta de rarefação simples do pacote SDMtoolbox 2.0 (BROWN; BENNETT; FRENCH, 2017). Tal filtragem buscou eliminar aqueles pontos de ocorrência de espécies com distância inferior a 1 km, visando evitar a presença de mais de um registro num mesmo pixel, considerando a resolução espacial original das variáveis bioclimáticas.

#### **3.4.2. Dados relacionados às variáveis ambientais**

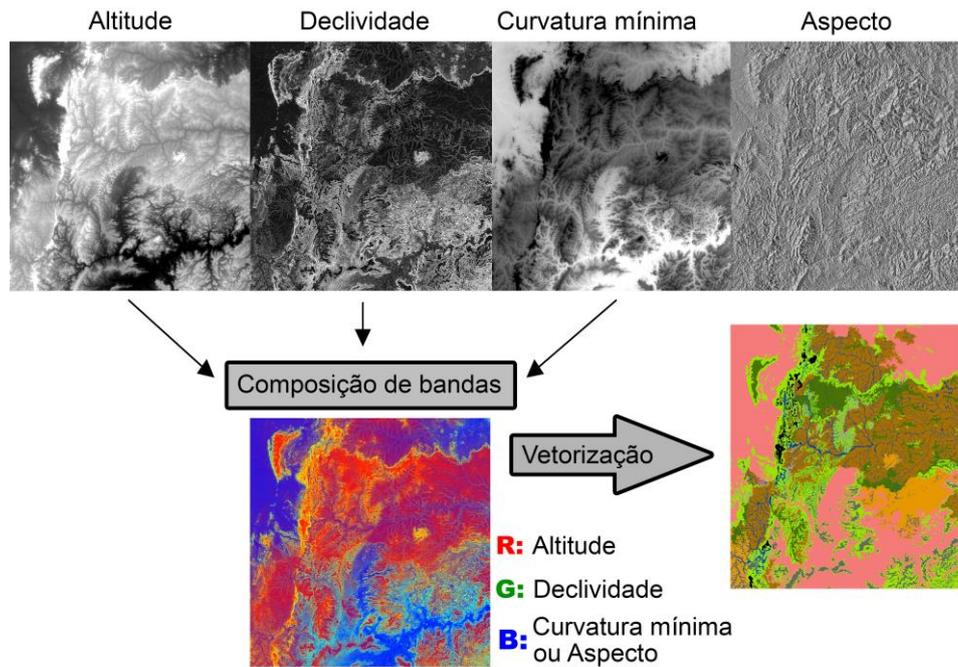
Um total de 23 variáveis ambientais, sendo 19 bioclimáticas e 4 topográficas, foram selecionadas para o ajuste dos modelos de distribuição de cada uma das cinco espécies na região do TCARP. A descrição detalhada de cada variável e os seus respectivos valores associados a macroleitura ecológica estão apresentadas no ANEXO I. As variáveis bioclimáticas (Tabela 2.1) foram obtidas do WorldClim – *Global Climate Data* (<http://www.worldclim.org/>) (HIJMANS et al., 2005) em formato matricial, com resolução espacial de 30 arc-segundos (cerca de 1 km).

**Tabela 2.1.** Variáveis bioclimáticas de temperatura e precipitação, selecionadas para compor o banco de dados utilizado no ajuste dos modelos de distribuição de espécies (MDE) de interesse agroextrativista, Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), Minas Gerais, Brasil.

<b>Nome</b>	<b>Variável</b>
bio1	Temperatura média anual
bio2	Variação diurna média de temperatura (média mensal (Tmax-Tmin))
bio3	Isotermalidade ((bio2 / bio7)*(100))
bio4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão da variação anual de temperatura * 100)
bio5	Temperatura máxima do mês mais quente
bio6	Temperatura mínima do mês mais frio
bio7	Amplitude térmica anual (bio5 - bio6)
bio8	Temperatura média do trimestre mais úmido
bio9	Temperatura média do trimestre mais seco
bio10	Temperatura média do trimestre mais quente
bio11	Temperatura média do trimestre mais frio
bio12	Precipitação anual
bio13	Precipitação do mês mais chuvoso
bio14	Precipitação do mês mais seco
bio15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)
bio16	Precipitação do trimestre mais chuvoso
bio17	Precipitação do trimestre mais seco
bio18	Precipitação do trimestre mais quente
bio19	Precipitação do trimestre mais frio

Fonte: WorldClim versão 2.0 – Global Climate Data (<http://www.worldclim.org/>) (HIJMANS et al., 2005).

As variáveis relacionadas as unidades geomorfológicas foram incluídas no conjunto de variáveis ambientais devido à forte relação com a distribuição das fitofisionomias, com os recursos hídricos e com a disposição e ocupação da paisagem pelas comunidades humanas. A seleção dessas variáveis seguiu o método descrito por Vasconcelos et al. (2012), que descreveu a utilização de modelos digitais de elevação e suas derivadas em composição colorida (R/G/B: altitude/declividade/curvatura mínima ou aspecto do terreno) (Figura 2.1). A classificação e interpretação visual da composição colorida se deu conforme SENA-SOUZA et al. (2013), seguindo a taxonomia do mapeamento geomorfológico descrito pelo IBGE (2009).



**Figura 2.1.** Modelo esquemático do processo de classificação e vetorização das unidades geomorfológicas, empregado na seleção de variáveis para compor o banco de dados utilizado no ajuste dos modelos de distribuição de espécies (MDE) de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo, Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor.

Imagens SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* foram adquiridas no USGS - *United States Geological Survey* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) e, em seguida, foi realizado o pré-processamento para confecção do mosaico de altitude, sendo ambas etapas realizadas na plataforma *Google Earth Engine* (<https://earthengine.google.com/>). Na sequência, o mosaico foi processado para obtenção das derivadas de declividade em graus, do aspecto e curvatura mínima do terreno.

Para garantir a compatibilidade da resolução espacial, as variáveis bioclimáticas tiveram seus pixels reamostrados (ARIEIRA et al., 2018; COELHO; CARVALHO; GOMIDE, 2016) para a resolução de 30 m, ou seja, fracionados, de forma a manter o valor da matriz original. Como as variáveis bioclimáticas possuem resolução espacial original de 1 km, é obrigatório manter os pixels refinados (30 m) com os valores do pixel original. Com isso obtém-se uma melhor contribuição no refinamento das áreas de adequabilidade de ocorrência, por meio das variáveis geomorfológicas inseridas nas características bioclimáticas.

A modelagem de distribuição de espécies também foi realizada com o banco de dados com resolução espacial original de 1 km para comparação com o modelo de alta

resolução espacial (30 m), sendo adotado os mesmos procedimentos metodológicos. Para os efeitos comparativos foi realizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney (MANN; WHITNEY, 1947), a 5% de probabilidade, utilizando 1.000 pontos aleatórios distribuídos nas áreas com adequabilidade de ocorrência das espécies-alvo.

Com o propósito de permitir melhor interpretação dos modelos de adequabilidade de ocorrência nas zonas limítrofes da área de estudo, foram acrescidos no recorte das bases geoespaciais, uma margem de 50 km nos limites superior, inferior, esquerdo e direito do TCARP, com posterior recorte dos resultados dos modelos para os limites da área de estudo. A extensão da área de estudo objetiva reduzir os efeitos arbitrários do truncamento ecológico associado aos limites (perímetro) do TCARP, que não possuem qualquer relação ecológica com a distribuição das espécies, incluindo assim, possíveis gradientes ambientais e zonas de intercorrência de espécies relacionadas (SEVILHA, 2016).

### **3.4.3. Análise de dados**

#### **3.4.3.1. Seleção de variáveis para o ajuste dos modelos de distribuição de espécies (MDE)**

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi utilizada na seleção das variáveis para a modelagem da distribuição das cinco espécies no TCARP. A PCA é um método estatístico multivariado que transforma um conjunto original de variáveis correlacionadas em um outro conjunto de variáveis não correlacionadas, denominadas componentes principais (CP), mantendo a máxima variabilidade do conjunto original. Cada CP é uma combinação linear de todas as variáveis originais, sendo as primeiras CP, aquelas que explicam a maior variabilidade do conjunto de dados de entrada (HIRZEL et al., 2002).

Os dados de entrada da PCA foram os valores do pixel de cada variável ambiental registrada em cada coordenada geográfica dos pontos de ocorrência das espécies, ou seja, o valor de cada variável ambiental referente a cada registro espacial das espécies. Geradas as diferentes CP, o próximo passo foi selecionar aquelas que, em conjunto, conseguiam explicar 95% da variância total dos dados, levando em consideração a não existência de forte correlação entre as variáveis de maior autovalor nos componentes selecionados (correlação de Pearson  $< 0,7$ ), visando evitar redundância de variáveis altamente correlacionadas (FIGUEIREDO et al., 2015).

Outra premissa adotada na seleção das variáveis em cada CP foi de não haver multicolinearidade entre as variáveis selecionadas e, para isso, foi calculado o Valor de

Inflação da Variância (VIF). Foram eliminadas, unitariamente, as variáveis de maior VIF, até que todas estivessem com valores de VIF inferiores ao limiar de 10 (BORCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011).

### 3.4.3.2. Algoritmo utilizado, parâmetros de processamento e avaliação dos modelos

Para a modelagem piloto foi utilizado o Maxent, versão 3.4.1, que utiliza o método de máxima entropia (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006). O processamento contou com reamostragem Bootstrap (EFRON, 1979) para as espécies com mais de 25 pontos de ocorrência e dez repetições. Em cada repetição foram separados 30% do banco de dados para validação do modelo, conforme Giannini et al. (2012).

Para as espécies com menos de 25 registros de ocorrência foi utilizado o procedimento de reamostragem Jackknife (PEARSON et al., 2006), conforme descrito por Oliveira (2017) e Cupertino-Eisenlohr et al. (2017). A partir desses procedimentos foram obtidos  $n$  modelos para cada espécie, sendo utilizado em cada modelo  $n-1$  pontos para o treino, sem repetição (PEARSON et al., 2006). De posse dos  $n$  modelos gerados, foi obtido o modelo médio para cada espécie.

Foram utilizadas duas métricas para avaliação da precisão dos modelos gerados. A primeira foi baseada no valor de AUC (FIELDING; BELL, 1997), que resume em um único valor o gráfico referente a curva ROC (área abaixo da curva característica de operação). Essa métrica foi aplicada nas espécies com mais de 25 pontos, independente do limiar de corte da probabilidade potencial de ocorrência das espécies. A classificação adotada para os valores de AUC foi definida nas seguintes classes, conforme descrito por Swets (1988): a) modelo excelente ( $AUC \geq 0,9$ ); b) modelo bom ( $0,9 > AUC \geq 0,8$ ); c) modelo médio ( $0,8 > AUC \geq 0,7$ ) e d) modelo ruim ( $AUC < 0,7$ ). Para as espécies registradas em menos de 25 pontos foi calculado o *pValueCompute* (PEARSON et al., 2006), ao nível de 5% de significância, o qual indica se o modelo prevê os pontos de ocorrência diferente do acaso.

A segunda métrica utilizada foi o *True Skill Statistics* (TSS) (THULLER et al., 2009). Tal métrica não é afetada pela prevalência, não sofre influência do tamanho do conjunto de validação e atribui pesos iguais para os erros de comissão e omissão. Os valores dessa métrica variam de -1 e 1. Um modelo é classificado como tendo excelente poder de predição, quando a métrica variar de 0,8 a 1; bom poder de predição, quando variar de 0,4 a 0,8; baixo poder, quando for menor que 0,4. Valores menores ou igual a 0

indicam que o modelo não difere do explicado ao acaso (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006; ZHANG et al., 2015).

Para todas as espécies, o limiar de corte (*Threshold*) utilizado para gerar os mapas binários de adequabilidade potencial foi o *Minimum training presence*. Esse critério permite uma interpretação ecológica onde a presença da espécie é detectada (PEARSON et al., 2006).

### **3.5. Modelagem final**

#### **3.5.1. Dados de ocorrência de espécies**

De acordo com o mapa resultante da modelagem piloto, os *rasters* de adequabilidade de cada espécie foram reclassificados em cinco classes, que variaram de 0 a 10, com intervalos de classe igual a 2.

Devido à grande extensão territorial da área de estudo, foi adotada como estratégia de amostragem a construção da interseção dos *rasters* de adequabilidade de ocorrência das cinco espécies, visando contemplar todas as classes de adequabilidade de ocorrência. As regiões que apresentavam classes de adequabilidade comuns para todas as espécies foram consideradas prioritárias para amostragem. Quando não ocorriam mais regiões com adequabilidade comum para as cinco espécies reduzia-se um nível para encontrar regiões com adequabilidade comum para quatro espécies. O mesmo procedimento foi tomado para três espécies, e assim sucessivamente, até que todas as classes de todas as espécies fossem contempladas.

Durante o trajeto nas trilhas e estradas para chegar a cada ponto pré-determinado, foram registrados novos pontos de ocorrência das espécies de interesse, visando fundamentar ao máximo os algoritmos e melhorar a projeção das regiões com adequabilidade.

#### **3.5.2. Seleção das variáveis para o modelo final**

Na modelagem final, as variáveis foram submetidas a Análise de Componentes Principais (PCA), levando em consideração os valores de todos os pixels das imagens, ou seja, cerca de 70 milhões de pixels para cada variável ambiental.

Na modelagem foram selecionadas as componentes que, em conjunto, respondiam por 95% da variância total explicada. Essas componentes tiveram seus *scores* rasterizados para eliminar a colinearidade e autocorrelação entre as variáveis (CASTRO et al., 2020; ZWIENER et al., 2018). Tal medida foi tomada, pois, a PCA é um método estatístico

multivariado que gera um conjunto de componentes ortogonais (HIRZEL et al., 2002) livres de colinearidade. O processo de rasterização dos componentes foi realizado no software R, a partir da função “*rasterPCA*”, do pacote *RStoolbox* (LEUTNER; HORNING, 2016).

As primeiras CP são as mais importantes na explicação da variabilidade total dos dados e são representadas por todas as variáveis envolvidas na análise. Porém, algumas variáveis possuem maior peso, ou seja, maior contribuição neste componente. Dessa forma, para a interpretação da relação entre as variáveis ambientais que melhor explicam a ocorrência das espécies, foi realizada inicialmente a filtragem das variáveis de maior autovalor nos primeiros eixos da PCA (de maior representatividade da variância), ou seja, as variáveis mais importantes nos componentes principais de maior representatividade da variância dos dados.

As variáveis dentro de cada CP foram ainda avaliadas por meio do valor de inflação da variância (VIF), quanto a existência de multicolinearidade para selecionar as variáveis mais importantes e livres de multicolinearidade, quando os valores de inflação da variância fossem inferiores ao limiar 10 (BORCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011). Na presença de multicolinearidade entre as variáveis bioclimáticas, foi adotada a manutenção da variável que correspondia ao trimestre que ocorreu floração/frutificação das espécies, pois assim, a interpretação contemplaria também uma variável bioclimática relacionada com características fenológicas essenciais à manutenção das espécies no seu ambiente de ocorrência. Contudo, esse critério não foi aplicado quando a variável selecionada apresentava extrema superioridade quantitativa do autovalor. Desse modo, a modelagem foi realizada a partir dos resultados da análise de componentes principais rasterizados e a interpretação das variáveis mais importantes relacionadas à ocorrência das espécies, pelo maior autovalor dos dados nas componentes principais.

### **3.5.3. Algoritmos utilizados, parâmetros de processamento e avaliação dos modelos**

Foram utilizados nove algoritmos para projeção das áreas de adequabilidade de ocorrência das espécies (Tabela 2.2). As análises foram realizadas por meio do pacote “*biomod2*”, no software R (THUILLER et al., 2019).

Para calibração dos modelos ajustados, o total de registros de ocorrência das espécies foi fracionado em dois grupos, ou seja, 70% para treino e 30% para validação (GIANNINI et al., 2012; JOSÉ-SILVA et al., 2018), ambos com cinco replicações.

Alguns algoritmos necessitam de dados binários (presença e ausência), muitas vezes de difícil obtenção (MACKENZIE; ROYLE, 2005) pelo fato de que a não ocorrência pode estar relacionada a restrições históricas ou biológicas, embora o habitat seja adequado (ANDERSON; PETERSON; GOMEZ-LAVERDE, 2002; PETERSON; SOBERÓN; SÁNCHEZ-CORDERO, 1999). Por outro lado, a falta de registros de ausência é contornada com a criação de pseudo-ausências (PAs) (BARBET-MASSIN et al., 2012).

**Tabela 2.2.** Algoritmos utilizados na modelagem de distribuição das espécies de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

Modelo	Autor
<i>Artificial Neural Networks</i> (ANN)	(RIPLEY, 2007)
<i>Classification Tree Analysis</i> (CTA)	(DE'ATH; FABRICIUS, 2000)
<i>Flexible Discriminant Analysis</i> (FDA)	(HASTIE; TIBSHIRANI; BUJA, 1994)
<i>Generalized Additive Models</i> (GAM)	(HASTIE; TIBSHIRANI, 1990)
<i>Generalized Boosting Model</i> (GBM)	(RIDGEWAY, 1999)
<i>Generalized Linear Models</i> (GLM)	(MCCULLAGH; NELDER, 1989)
<i>Maximum Entropy</i> (MAXENT)	(PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006)
<i>Multiple Adaptive Regression Splines</i> (MARS)	(FRIEDMAN, 1991)
<i>Random Forest</i> (RF)	(BREIMAN, 2001)

Para os algoritmos RF, CTA e GBM, o processamento considerou o número de PAs igual ao número de pontos de ocorrência de cada espécie. Os demais algoritmos utilizaram 5 (cinco) conjuntos de 1.000 PAs, visando proporcionar melhor qualidade dos ajustes dos modelos (BARBET-MASSIN et al., 2012). O método de criação das PAs foi o “disk”, presente no pacote “biomod2” do software R, com distância máxima igual a distância média entre os pontos de ocorrência e, a distância mínima igual a distância média entre o ponto de referência e os pontos mais próximos (THUILLER et al., 2019). Foram processados 25 modelos para cada algoritmo (5 repetições para 5 conjuntos de pseudo-ausências), totalizando 225 modelos ao final do processamento para cada espécie.

O mapa final de adequabilidade de ocorrência das espécies foi obtido por meio do consenso de todos os modelos dentre os diferentes algoritmos analisados (ARAÚJO; NEW, 2007) com desempenho superior a 0,4 em relação a métrica de avaliação *True Skill Statistic* (TSS) (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006; ZHANG et al., 2015).

Além disso, para regionalizar áreas consideradas adequadas e não adequadas, foi construído o mapa binário com base no modelo consenso. Esse mapa considera os *scores*

acima do limiar que maximiza a sensibilidade e especificidade (*ROC Threshold*) (LIU et al., 2005). O *threshold* se refere a um limite adotado para transformar os dados contínuos de adequabilidade em regiões adequadas e não adequadas. Valores iguais ou acima do *threshold* estabelecido foram considerados adequados e valores abaixo, não adequados.

Os algoritmos e métricas de precisão foram processados no software R 3.4.4, utilizando a rotina desenvolvida pelo Laboratório de Ecologia (LabEc), da Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus Alta Floresta (EISENLOHR, 2020), com modificações necessárias para atender as peculiaridades do presente estudo. A elaboração dos mapas e pós-processamento das imagens foram realizadas por meio do *software* Arcgis Pro.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Modelagem piloto

Os modelos “pilotos” foram considerados satisfatórios, classificados como excelentes pelos valores de AUC. Para os valores de TSS, os modelos foram classificados como tendo excelente poder de explicação para *Annona crassiflora* e como tendo bom poder de explicação para as demais espécies. Para *Annona crassiflora* e *Tachigali subvelutina*, com menos de 25 pontos, submetidas à reamostragem Jackknife, o modelo gerado foi preciso, com valor de *p* significativo ao nível de 5%, demonstrando ser diferente da predição aleatória das áreas com adequabilidade (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006) (Tabela 2.3).

**Tabela 2.3.** Estatísticas de precisão do modelo de distribuição de espécies, Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

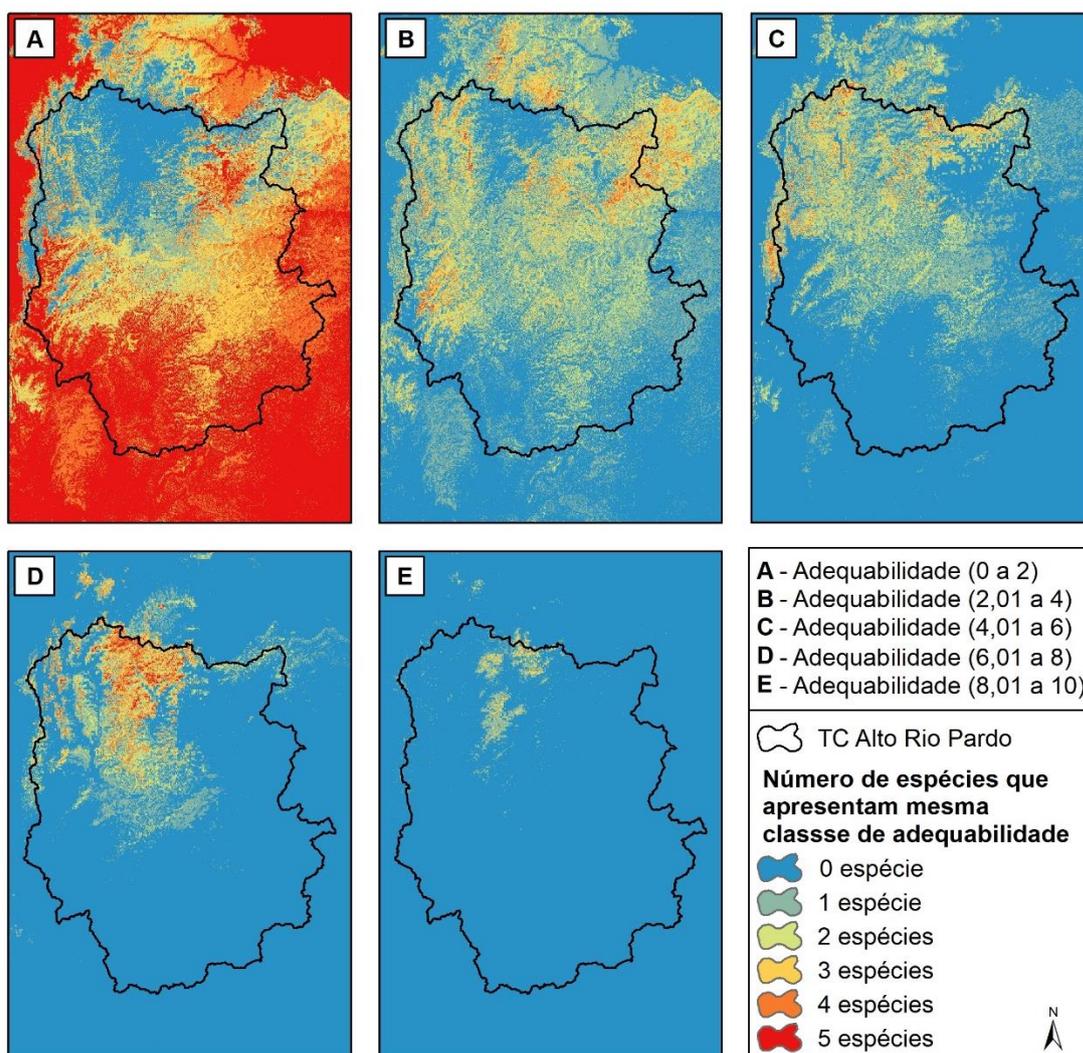
Espécie	Número		Método de Validação	<i>Threshold</i>	AUC	TSS	<i>p</i> valor Jackknife
	Treino	Teste					
<i>Annona crassiflora</i>	17	-	Jackknife	0,269	0,9718	0,9134	< 0,0001
<i>Caryocar brasiliense</i>	186	79	Bootstrap	0,050	0,9196	0,5429	-
<i>Eugenia dysenterica</i>	27	11	Bootstrap	0,090	0,9505	0,5756	-
<i>Hancornia speciosa</i>	22	9	Bootstrap	0,146	0,9426	0,7195	-
<i>Tachigali subvelutina</i>	16	-	Jackknife	0,085	0,9666	0,7558	< 0,0001

*Threshold* = limite adotado para transformar os dados contínuos de adequabilidade em regiões adequadas e não adequadas; AUC = métrica de precisão dos modelos de distribuição de espécies que resume em um único valor o gráfico referente a curva ROC (área abaixo da curva característica de operação); TSS = métrica de precisão *True Skill Statistic*; *p* valor a 5% de significância.

As variáveis bio 3 (isotermalidade), bio 5 (temperatura máxima do mês mais quente) e bio 9 (temperatura média do trimestre mais seco) foram as variáveis ambientais que apresentaram forte contribuição nos modelos gerados. A isotermalidade, selecionada para *A. crassiflora* e *T. subvelutina*; a temperatura máxima do mês mais quente para *A. crassiflora* e *H. speciosa*; e temperatura média do trimestre mais seco para *C. brasiliense* e *T. subvelutina*, mostraram que a temperatura é fator determinante na ocorrência das espécies e que a isotermalidade atua de forma positiva em ambientes com pouca variação da temperatura. No caso de *E. dysenterica*, as maiores contribuições foram de bio 10 (temperatura média do trimestre mais quente) e bio 17 (precipitação do trimestre mais seco). Por outro lado, as variáveis declividade e aspecto do solo foram selecionadas para todas as espécies, demonstrando que ambas são de grande relevância em estudos relacionados à modelagem de distribuição de espécies.

Com a reclassificação dos *rasters* da modelagem piloto, que transformou os valores contínuos de adequabilidade em dados categóricos (5 classes com amplitude = 2), foi possível identificar regiões com mesma amplitude de adequabilidade para todas as espécies, sendo esses locais utilizados como fator de estratificação da amostragem e considerados como prioritários para coleta de dados.

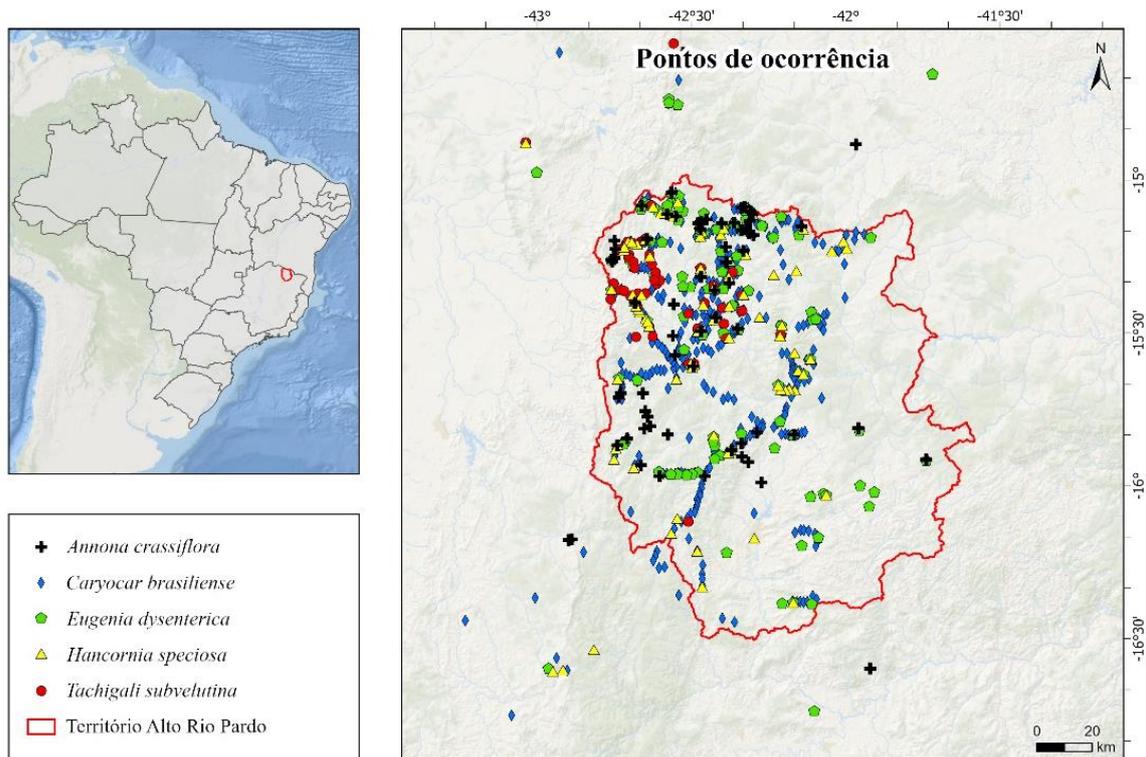
A estratificação foi fundamental para otimizar e garantir a representatividade da amostragem em toda amplitude de adequabilidade de ocorrência, de forma a contemplar todas as espécies. As regiões destacadas em vermelho (Figura 2.2) se referem as áreas que possuem interseção das cinco espécies com mesma classe de adequabilidade de ocorrência.



**Figura 2.2.** Número de espécies de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), em Minas Gerais, que apresentam mesma amplitude de adequabilidade de ocorrência, em cinco classes de adequabilidade (adeq.), sendo A (adeq.  $\leq$  2), B ( $2 <$  adeq.  $\leq$  4), C ( $4 <$  adeq.  $\leq$  6), D ( $6 <$  adeq.  $\leq$  8), E ( $8 <$  adeq.  $\leq$  10). Fonte: próprio autor.

#### 4.2. Modelagem final

Para o processamento da modelagem final foram utilizados os dados de ocorrência coletados em campo após a estratificação da adequabilidade referente a modelagem piloto, acrescidos aos dados iniciais, totalizando 783 registros de ocorrência, distribuídos em 68 pontos para *Annona crassiflora*, 467 para *Caryocar brasiliense*, 122 para *Eugenia dysenterica*, 77 para *Hancornia speciosa* e 49 para *Tachigali subvelutina* (Figura 2.3)



**Figura 2.3.** Pontos de ocorrência das espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), Minas Gerais. Fonte: próprio autor.

De acordo com as métricas de precisão utilizadas (TSS e ROC), todos os modelos apresentaram, em média, boa qualidade nas projeções de adequabilidade. Porém, o algoritmo *Generalized Linear Models* (GLM) se destacou com alto poder preditivo das zonas de adequabilidade para três espécies (*E. dysenterica*, *H. speciosa* e *T. subvelutina*), sendo os modelos classificados como bom, de acordo com a métrica TSS e, excelente, pela métrica AUC (Tabela 2.4). Para as espécies *A. crassiflora* e *C. brasiliense*, o modelo GLM também apresentou boas estatísticas de precisão, porém, os algoritmos *Artificial Neural Networks* (ANN) e *Generalized Additive Models* (GAM) resultaram em maiores valores de TSS para *Caryocar brasiliense* e o algoritmo *Random Forest* (RF) foi melhor para *A. crassiflora*. O algoritmo CTA foi o que apresentou menor poder preditivo para todas as espécies, contudo, mesmo assim, é considerado satisfatório por apresentar TSS > 0,5, com predição melhor do que o esperado ao acaso (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006).

**Tabela 2.4.** Métricas de precisão dos algoritmos utilizados na modelagem final da distribuição de espécies (MDE) de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

Species	Algorithm	TSS	TSS (sd)	AUC	AUC (sd)
<i>Annona crassiflora</i>	ANN	0,65	0,09	0,85	0,05
	CTA	0,55	0,14	0,79	0,08
	FDA	0,60	0,09	0,84	0,05
	GAM	0,61	0,11	0,84	0,06
	GBM	0,69	0,10	0,87	0,05
	GLM	0,67	0,09	0,87	0,04
	MAXENT	0,68	0,10	0,87	0,05
	MARS	0,63	0,10	0,85	0,05
	RF	0,73	0,09	0,88	0,04
<i>Caryocar brasiliense</i>	ANN	0,80	0,02	0,95	0,01
	CTA	0,69	0,06	0,87	0,04
	FDA	0,73	0,04	0,93	0,02
	GAM	0,80	0,02	0,95	0,01
	GBM	0,78	0,04	0,94	0,01
	GLM	0,76	0,03	0,94	0,01
	MAXENT	0,66	0,04	0,89	0,02
	MARS	0,76	0,04	0,94	0,01
	RF	0,78	0,04	0,95	0,01
<i>Eugenia dysenterica</i>	ANN	0,75	0,05	0,91	0,03
	CTA	0,60	0,10	0,82	0,05
	FDA	0,67	0,06	0,89	0,02
	GAM	0,70	0,03	0,90	0,02
	GBM	0,72	0,07	0,91	0,03
	GLM	0,77	0,05	0,92	0,02
	MAXENT	0,62	0,10	0,86	0,05
	MARS	0,74	0,06	0,91	0,02
	RF	0,74	0,06	0,92	0,03
<i>Hancornia speciosa</i>	ANN	0,62	0,06	0,85	0,03
	CTA	0,50	0,14	0,77	0,09
	FDA	0,62	0,07	0,85	0,04
	GAM	0,53	0,07	0,80	0,04
	GBM	0,61	0,08	0,85	0,03
	GLM	0,63	0,06	0,87	0,02
	MAXENT	0,61	0,14	0,85	0,08
	MARS	0,61	0,06	0,86	0,03
	RF	0,62	0,06	0,86	0,03
<i>Tachigali subvelutina</i>	ANN	0,72	0,10	0,89	0,05
	CTA	0,53	0,15	0,76	0,08
	FDA	0,71	0,08	0,90	0,04
	GAM	0,50	0,13	0,75	0,07
	GBM	0,67	0,16	0,86	0,09
	GLM	0,81	0,05	0,94	0,03
	MAXENT	0,78	0,06	0,94	0,03
	MARS	0,76	0,07	0,92	0,03
	RF	0,74	0,13	0,90	0,06

TSS = True Skill Statistic (quanto maior a barra verde, maior o valor de TSS); TSS (sd) = desvio padrão para TSS; AUC = Área sobre a curva; AUC (sd) = desvio padrão para AUC; ANN = Artificial Neural Networks; CTA = Classification Tree Analysis; FDA = Flexible Discriminant Analysis; GAM = Generalized Additive Model; GBM = Generalized Boosting Model; GLM = Generalized Linear Models; MAXENT = Maximum Entropy; MARS = Multiple Adaptive Regression Splines; RF = Random Forest.

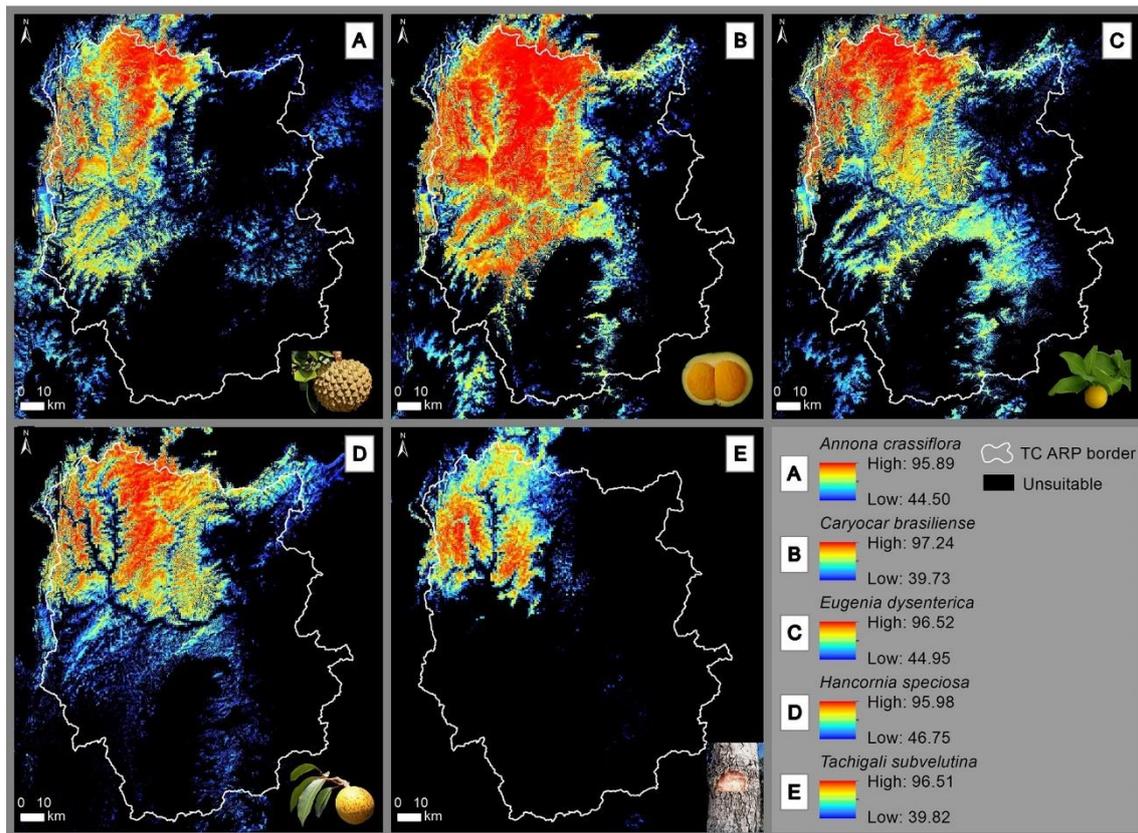
Para todas as espécies, as variáveis topográficas relacionadas às unidades geomorfológicas foram relevantes na predição de áreas com adequabilidade de ocorrência, em conjunto com outras variáveis relacionadas a temperatura e precipitação. As espécies *A. crassiflora*, *C. brasiliense* e *T. subvelutina* tiveram um total de cinco variáveis com alto poder preditivo das zonas de adequabilidade, e as espécies *E. dysenterica* e *H. speciosa* tiveram quatro variáveis (Tabela 2.5).

**Tabela 2.5.** Variáveis com alta capacidade preditiva das zonas de adequabilidade de ocorrência, com seus respectivos valores de inflação da variância (VIF), testadas no ajuste dos modelos de distribuição de espécies (MDS) de interesse agroextrativista, para as comunidades Geraizeiras, do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), em Minas Gerais.

Espécie	Variáveis ambientais	VIF
<i>Annona crassiflora</i>	bio1 - temperatura média anual	1,10
	bio3 – isothermalidade	1,25
	bio12 - precipitação anual	1,21
	Aspecto - direção das vertentes	1,01
	Declividade - declividade em graus	1,17
<i>Caryocar brasiliense</i>	bio1 - temperatura média anual	1,10
	bio4 - sazonalidade da temperatura	1,57
	bio12 - precipitação anual	1,45
	Aspecto - direção das vertentes	1,03
	Declividade - declividade em graus	1,04
<i>Eugenia dysenterica</i>	bio4 - sazonalidade da temperatura	1,43
	bio9 - temperatura média do trimestre mais seco	1,39
	bio12 - precipitação anual	1,24
	Declividade - declividade em graus	1,01
<i>Hancornia speciosa</i>	bio4 - sazonalidade da temperatura	1,43
	bio9 - temperatura média do trimestre mais seco	1,10
	bio12 - precipitação anual	1,26
	Aspecto - direção das vertentes	1,07
<i>Tachigali subvelutina</i>	bio3 – isothermalidade	2,18
	bio9 - temperatura média do trimestre mais seco	2,06
	bio16 - precipitação do trimestre mais chuvoso	1,11
	Aspecto - direção das vertentes	1,12
	Declividade - declividade em graus	1,04

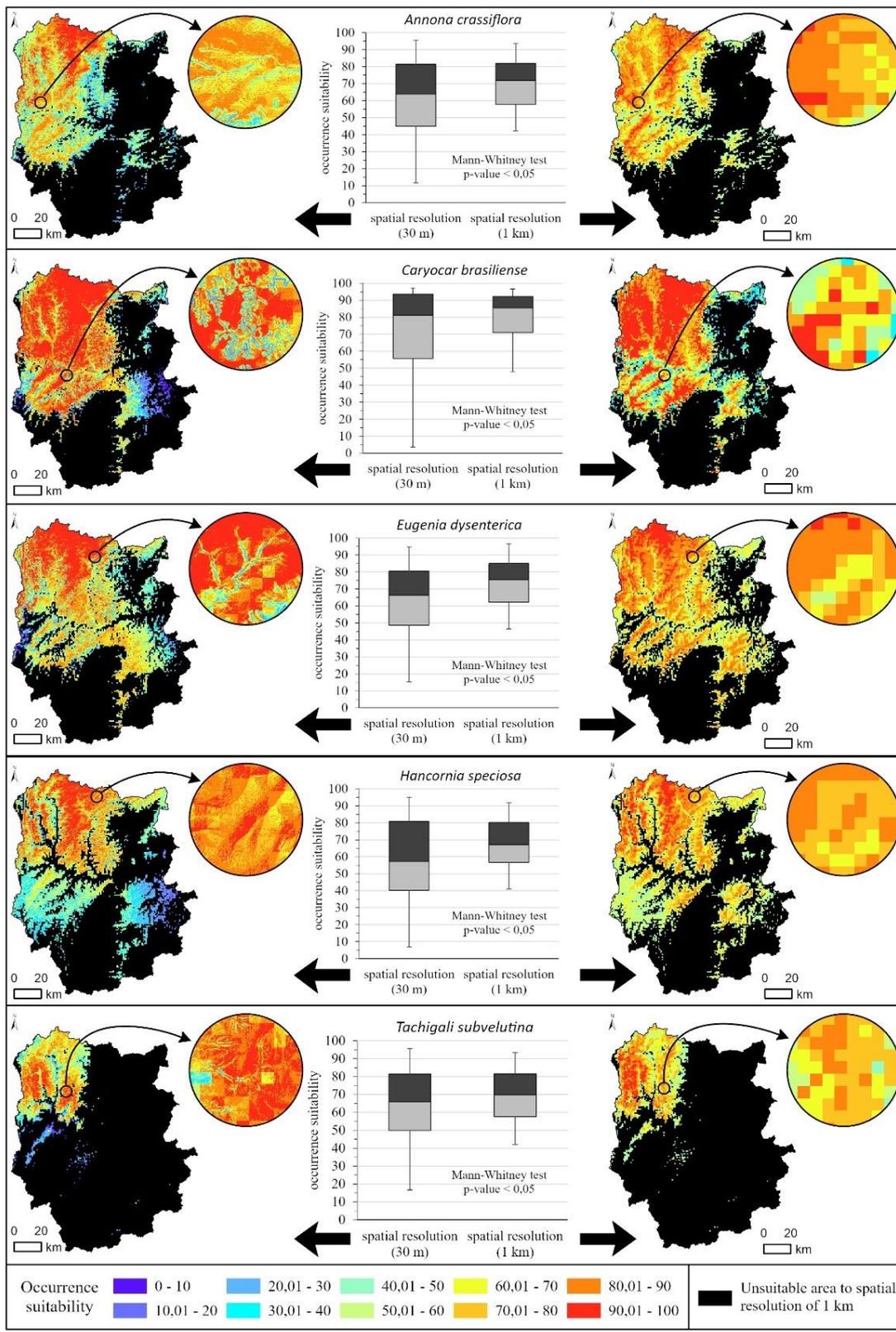
Os modelos que apresentaram métricas de precisão adequadas foram expressos em um mapa consenso (Figura 2.4), onde é possível verificar para todas as espécies, a tendência dos maiores valores de adequabilidade na região Noroeste do Território Alto Rio Pardo (TCARP). *C. brasiliense* apresentou maior área com adequabilidade de ocorrência no TCARP, com 50,1% de áreas adequadas, seguida em ordem decrescente por *E. dysenterica* (45,8%), *H. speciosa* (37,4%), *A. crassiflora* (35,9%) e *T. subvelutina* (17,7%). No TCARP há também regiões inadequadas para a ocorrência das espécies, entremeio a áreas com adequabilidade, além da redução dos valores de adequabilidade de acordo com a direção das vertentes do terreno (Figura 2.4). Esse resultado deve-se à sensibilidade dos modelos frente as variáveis topográficas de alta resolução espacial, indicando as unidades geomorfológicas caracterizadas como planícies fluviais, onde as espécies não ocorrem.

Há diferença significativa (Mann-Whitney,  $\alpha < 0,05$ ) entre os modelos que utilizaram variáveis com resolução espacial de 30 m e 1 km (Figura 2.5), com aumento da amplitude dos valores abaixo da mediana para a resolução espacial de 30 m quando comparado com 1 km de resolução espacial. Dados com resolução espacial de 30 m resultam em redução dos valores de adequabilidade de ocorrência, gerando um cenário mais conservador em indicar regiões com adequabilidade de ocorrência. De forma geral, no sul do TCARP predominam áreas não adequadas para a ocorrência das cinco espécies avaliadas. Nessa região, predominavam formações florestais, principalmente florestas estacionais decíduais.



\*ROC threshold (*Annona crassiflora* = 44,5013; *Caryocar brasiliense* = 39,7287; *Eugenia dysenterica* = 44,9449; *Hancornia speciosa* = 46,7469; *Tachigali subvelutina* = 39,8240).

**Figura 2.4.** Mapa consenso de adequabilidade de ocorrência por espécie de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), em Minas Gerais; onde *High* indica os valores máximos de adequabilidade de ocorrência; *Low* indica os valores mínimos de adequabilidade de ocorrência; e *Unsuitable* indica locais não adequados para ocorrência. Fonte: próprio autor.

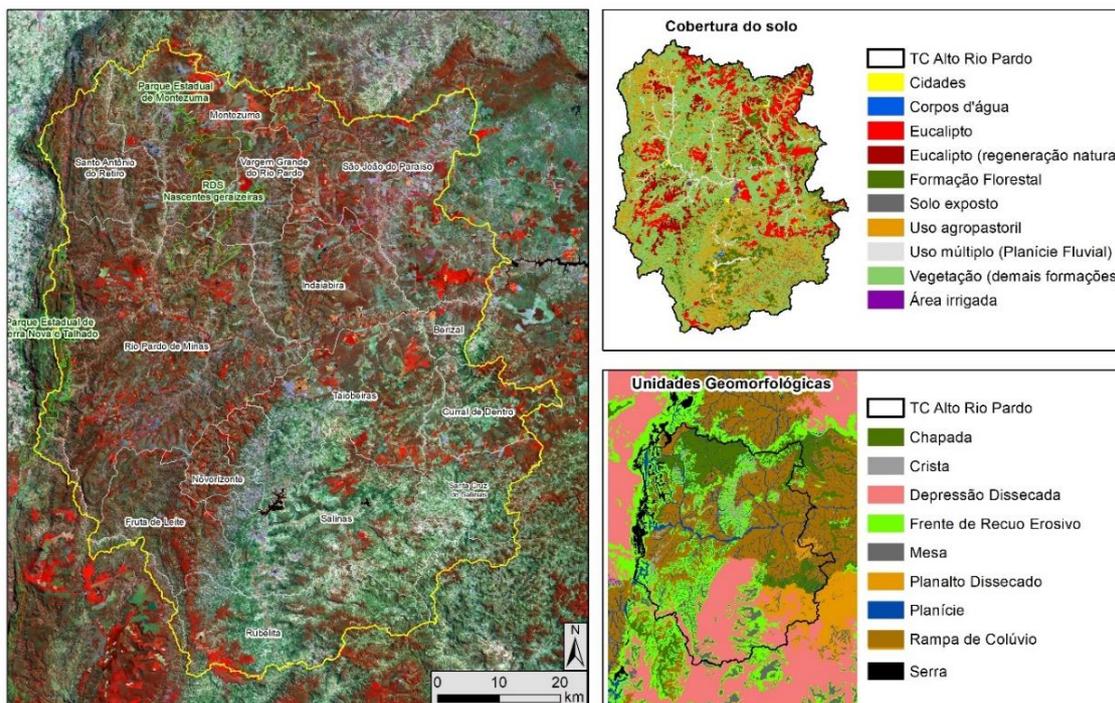


**Figura 2.5.** Mapa consenso de adequabilidade de ocorrência por espécie-alvo, com representação do processamento de dados para variáveis com 30 m e 1 km de resolução espacial. As áreas em tons de preto representam regiões não adequadas para ocorrência das espécies. Fonte: próprio autor.

A relação das unidades geomorfológicas com as fitofisionomias de cerrado sentido restrito corrobora os resultados do modelo consenso da distribuição potencial das espécies-alvo deste estudo, típicas de formações savânicas.

Em uma macroleitura da paisagem no TCARP existe uma unidade geomorfológica nominada depressão dissecada ao Sudeste, por influência da bacia hidrográfica do médio Jequitinhonha, com predomínio de florestas estacionais. Ao Nordeste, com predomínio de vegetação em transição, característica do bioma Caatinga, não há registros de ocorrência das cinco espécies. Além disso, a região localizada no extremo Oeste, fora dos limites do TCARP, caracterizada pela depressão dissecada por influência da bacia do Rio São Francisco, também não apresenta registros de ocorrência das espécies.

Os padrões fisionômicos das formações savânicas e florestais, associados às unidades geomorfológicas, podem ser nitidamente visualizados em imagens do satélite Landsat 8, com interpretação em falsa cor (bandas R/G/B: infravermelho próximo/infravermelho de ondas curtas/vermelho) (Figura 2.6). Os tons avermelhados são representados pelas superfícies com taxa fotossintética ativa, predominantemente em áreas de chapada e rampa de colúvio, pois, nesses ambientes há um pico de reflectância do infravermelho próximo. Por outro lado, as feições ao sul do TCARP têm o predomínio de tons verdes, e são representadas basicamente por diferentes formações decíduais, que possuem maior absorção das bandas, principalmente do comprimento de onda do vermelho e infravermelho próximo durante a estação seca do ano, quando as espécies estão no estágio decidual, correspondendo à unidade geomorfológica denominada como depressão dissecada.



**Figura 2.6.** Mapa de cobertura do solo (Geoportal Bem Diverso 2021), geomorfológico (Geoportal Bem Diverso 2021) e Imagem Landsat 8, RGB/564, referente a agosto de 2021, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil, indicando em tons vermelhos basicamente as formações savânicas, em tons de verdes as formações decíduais da Caatinga, associadas às unidades geomorfológicas. Fonte: próprio autor.

## 5. DISCUSSÃO

Padrões temporais de crescimento e reprodução de plantas estão ligados à sazonalidade climática nas savanas tropicais (WILLIAMS et al., 1997). No presente estudo é possível observar o destaque das variáveis isothermalidade (bio3) e sazonalidade da temperatura (bio4), que traduzem a amplitude de variação da temperatura diária ao longo do ano. Variáveis relacionadas com a variação da temperatura também foram destaque em estudos envolvendo modelagem de distribuição de espécies no Cerrado (COELHO; CARVALHO; GOMIDE, 2016; NABOUT et al., 2016). Essas variáveis indicam sensibilidade das espécies estudadas à elevadas amplitudes de variação de temperatura. No TCARP a adequabilidade à ocorrência dessas espécies aumenta à medida que a variação da temperatura é reduzida. Essa tendência é observada em todas as espécies que tiveram uma das duas variáveis com alto poder explicativo em relação a ocorrência. Ao sul do TCARP, onde está inserida a unidade geomorfológica caracterizada

como depressão dissecada, a temperatura média anual é mais elevada, chegando 23,5°C, além de apresentar maiores efeitos da sazonalidade da temperatura. Ao norte do TCARP, região caracterizada pela presença de chapadas, a temperatura média reduz, com valores entre 17,8 °C a 22,2 °C e com menor efeito da sazonalidade da temperatura, onde é encontrado os maiores valores de adequabilidade de ocorrência.

A variação diária da temperatura ao longo dos anos pode influenciar as respostas de uma espécie quanto à produção de flores (ATHAYDE et al., 2009; NUNES et al., 2005), conseqüentemente de frutos, além da germinação de suas sementes e ao estabelecimento de suas plântulas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000), mediante à elevada variação da temperatura, são traduzidas como um traço funcional diretamente relacionado ao sucesso do estabelecimento e da permanência da espécie em campo. Variações mais amenas de temperatura podem diminuir o dessecamento no período mais seco do ano, que coincide com o inverno, podendo proporcionar mais umidade no ar e mais orvalho noturno, o que pode favorecer o estabelecimento de plântulas.

Temperatura e precipitação são variáveis fundamentais que influenciam o ciclo de desenvolvimento de espécies vegetais, desde a germinação até a frutificação, quando, em condições favoráveis, proporcionam maior adequabilidade de ocorrência e permanência da espécie ao longo do tempo. A transição entre as estações seca e chuvosa, no Cerrado, é caracterizada como um período de maior atividade fenológica, tanto vegetativa quanto reprodutiva da comunidade (PIRANI; SANCHEZ; PEDRONI, 2009).

A variável temperatura média anual (bio1) é importante na predição das áreas de adequabilidade de ocorrência para *A. crassiflora* e *C. brasiliense* e a temperatura média do trimestre mais seco (bio9), entre os meses de julho e setembro é importante na predição de áreas de adequabilidade para *E. dysenterica*, *H. speciosa* e *T. subvelutina*. Essas variáveis são altamente correlacionadas, com variação média em torno de 2,5 °C na área de estudo.

O mesmo ocorre com as variáveis relacionadas com a precipitação, onde a precipitação anual (bio12) e a precipitação do trimestre mais chuvoso (bio16) foram selecionadas como importante na predição das áreas com adequabilidade de ocorrência e também são correlacionadas. A precipitação anual está relacionada a ocorrência de *A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *E. dysenterica* e *H. speciosa*, e precipitação do trimestre mais chuvoso à *T. subvelutina*. O trimestre mais chuvoso na região (outubro a dezembro) que ocorre 52% da precipitação anual, é o período em que as sementes de *T. subvelutina* já foram dispersas e germinam no campo. De outubro a fevereiro ocorre cerca de 90% da

precipitação anual (INMET, 2020), período no qual geralmente as espécies estudadas tendem a germinar. De forma geral, as espécies analisadas tendem a germinar no verão, que é o período de maior disponibilidade hídrica no ano, de forma a promover um arranque na germinação das sementes e o estabelecimento das plântulas para permear a estação seca subsequente e garantir o desenvolvimento.

As variáveis relacionadas a disponibilidade hídrica e temperatura são determinantes na distribuição das espécies e quando analisadas, frente as diferentes unidades geomorfológicas da paisagem, permitem o entendimento de como essas unidades também refletem características fundamentais para a ocorrência das espécies.

O aspecto do terreno (direção das vertentes) e a declividade possuem forte contribuição na identificação de regiões com adequabilidade de ocorrência, pela forte relação com a profundidade dos solos e exposição ao sol, que se traduz em efeitos relacionados a temperatura e disponibilidade hídrica, e que reflete nas diferentes fitofisionomias ocorrentes. Em paisagens com elevada amplitude de altitude em curtas distâncias, a disponibilidade de luz e sombreamento é fortemente relacionada à posição topográfica (aspecto do terreno ou direção das vertentes) (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002), de modo a interferir na radiação incidente, na umidade do solo e, conseqüentemente, na composição/ocorrência de espécies vegetais.

De forma geral, as chapadas são predominantemente caracterizadas por terreno plano a suave ondulado (declividade entre 0% e 3%) (IBGE, 2009), de solos profundos e bem drenados, podendo ou não serem delimitadas por frentes de recuo erosivo (SENA-SOUZA et al., 2013). Essas chapadas são naturalmente ocupadas por cerrado sentido restrito, que é a fitofisionomia de ocorrência das espécies contempladas neste estudo.

As cinco espécies ocorrem, predominantemente, nas chapadas com solos profundos e bem drenados. Nas chapadas e nas bordas das chapadas, especificamente na quebra de relevo com tendência a rampa de colúvio (terreno suave-ondulado), observa-se maior frequência da espécie *H. speciosa*. Em área com quebra de relevo acentuada (frente de recuo erosivo), quando presente na borda da chapada, é observado maior densidade e frequência da espécie *T. subvelutina*. Por outro lado, nos terrenos planos, em área de chapada, com solo quartarênico, as espécies *A. crassiflora*, *C. brasiliense* e *E. dysenterica* apresentam maior frequência, sendo que, *E. dysenterica* também está presente em terrenos com declividade moderada e solo com sedimentos com maior variação de tamanho (cascalho).

A região Noroeste do TCARP conta com duas unidades de conservação (Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras e Parque Estadual de Montezuma), que estão situadas em região com alta adequabilidade de ocorrência para as cinco espécies analisadas, e que contribuem fortemente para a conservação dos recursos naturais disponíveis. Estudo realizado por Lima et al. (2012), em um fragmento de cerrado sentido restrito, na RDS Nascentes Geraizeiras, mostrou que *C. brasiliense*, *E. dysentérica*, *H. speciosa* e *A. crassiflora* estavam entre as espécies de maior índice de valor de importância (IVI) e *T. subvelutina* estava na 29ª posição de IVI. Portanto, os resultados obtidos por Lima et al. (2012), corroboram a confiabilidade da predição dos modelos gerados no presente estudo, que indica a mesma área de cerrado sentido restrito, na RDS Nascentes Geraizeiras, como adequada para ocorrência das cinco espécies estudadas.

A região Noroeste do TCARP é caracterizada por chapadas com solos quartzarênico profundos e bem drenados. Essas chapadas são recortadas por inserções de planícies fluviais, que representam ambientes de maior umidade, com baixa adequabilidade de ocorrência das espécies-alvo. Tal fato demonstra um refinamento da predição de regiões de baixa adequabilidade, impulsionado pelas variáveis topográficas de alta resolução espacial, só detectados nos modelos com 1 km de resolução espacial, nas planícies fluviais com mais de 500 m de largura. As regiões de chapada é caracterizada pela presença de cerrado sentido restrito, o que condiz com a resposta dos modelos de distribuição potencial das espécies, enquanto as planícies fluviais eram ocupadas originalmente por florestas estacionais semidecíduais.

Na região Sudeste do TCARP, os modelos preveem estreita faixa de regiões com adequabilidade de ocorrência das cinco espécies, inserida dentro da unidade geomorfológica denominada como depressão dissecada. Essa faixa estreita corresponde aos remanescentes isolados de chapadas, morros testemunhos em formato de mesas, e está localizada entre os municípios de Taiobeiras, Salinas e Rubelita. Ambas as unidades geomorfológicas (mesa e chapada), possuem áreas de cerrado sentido restrito como formação natural e demonstram a sensibilidade dos modelos na predição da adequabilidade de ocorrência das espécies.

As variáveis com alta resolução espacial proporcionaram melhor representação de regiões com adequabilidade de ocorrência, o que demonstra forte potencial de sua utilização em escala local e regional. Os modelos foram sensíveis na diferenciação dessas regiões, principalmente devido às diferentes direções das vertentes ou aspecto do terreno,

além das regiões inseridas nas unidades geomorfológicas denominadas planícies fluviais, locais de baixada com solo mais úmido, onde as espécies-alvo não ocorrem. Por outro lado, a utilização de variáveis de alta resolução espacial demandam maior capacidade de processamento de dados, visto que há maior número de pixels a serem contabilizados quando comparados aos modelos com resolução espacial de 1 km, o que limita o uso para grandes extensões territoriais.

## 6. CONCLUSÕES

A análise da influência de variáveis ambientais na distribuição de cinco espécies do Cerrado (*Annona crassiflora*, *Caryocar brasiliense*, *Eugenia dysenterica*, *Hancornia speciosa* e *Tachigali subvelutina*), em território no norte do Estado de Minas Gerais, Brasil, permite concluir que:

a) A modelagem da distribuição de espécies (MDE) utilizando variáveis ambientais com alta resolução espacial, permite estimar com precisão e maior nível de detalhamento a localização das áreas com diferentes adequabilidades de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP). As áreas com maior adequabilidade à ocorrências das espécies estudadas estão no Noroeste do TCARP.

b) As projeções das áreas com adequabilidade de ocorrência estão associadas à disponibilidade hídrica, maior isothermalidade e à unidades geomorfológicas, principalmente em áreas de chapadas e mesa, com cobertura natural de formação savânica;

c) Áreas de planícies fluviais e depressões dissecadas, com cobertura predominante de formação florestal não apresentam adequabilidade à ocorrência das espécies estudadas;

d) O maior poder explicativo dos modelos de distribuição de espécies quando se utiliza variáveis geomorfológicas com resolução espacial de 30 m, indica ser melhor usar essa resolução espacial para o planejamento estratégico do manejo das espécies estudadas em escala local. Isso é particularmente importante para definir áreas com maior potencial produtivo para uso sustentável e áreas para conservação, restauração ecológica da vegetação nativa e para implementação de agroindústrias comunitárias, essenciais para o planejamento do uso do solo nas comunidades tradicionais que dependem de áreas naturais conservadas para a sua sobrevivência.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMIRI, M. et al. Bioclimatic variables from precipitation and temperature records vs. remote sensing-based bioclimatic variables: Which side can perform better in species distribution modeling? **Ecological Informatics**, v. 57, p. 101060, 2020.
- ANDERSON, R. P.; PETERSON, A. T.; GOMEZ-LAVERDE, M. Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. **Oikos**, v. 98, n. 1, p. 3–16, 2002.
- ARAUJO, M.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 1, p. 42–47, 2007.
- ARIEIRA, J. et al. Modeling climatic and hydrological suitability for an encroaching tree species in a Neotropical flooded savanna. **Forest Ecology and Management**, v. 429, p. 244–255, 2018.
- ATHAYDE, E. A. et al. Fenologia de espécies arbóreas em uma floresta ribeirinha em Santa Maria, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 1, p. 43–51, 2009.
- BAEK, S.; KIM, M. J.; LEE, J. H. Current and future distribution of *Ricania shantungensis* (Hemiptera: Ricaniidae) in Korea: Application of spatial analysis to select relevant environmental variables for MaxEnt and CLIMEX Modeling. **Forests**, v. 10, n. 6, p. 490, 2019.
- BARBET-MASSIN, M. et al. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 2, p. 327–338, 2012.
- BAZZATO, E. et al. High spatial resolution bioclimatic variables to support ecological modelling in a Mediterranean biodiversity hotspot. **Ecological Modelling**, v. 441, p. 109354, 2021.
- BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. New York: Springer, 2011.
- BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001.
- BROWN, J. L.; BENNETT, J. R.; FRENCH, C. M. SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. **PeerJ**, v. 5, n. e4095, 2017.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000.

- CASTRO, M. B. et al. Will the emblematic southern conifer *Araucaria angustifolia* survive to climate change in Brazil? **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 2, p. 591–607, 2020.
- CEBALLOS, G.; EHRLICH, P. R.; DIRZO, R. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 30, p. 6089–6096, 2017.
- CHAPIN, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. New York, USA: Springer, 2002.
- COELHO, G. L. N.; CARVALHO, L. M. T. DE; GOMIDE, L. R. Modelagem preditiva de distribuição de espécies pioneiras no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 207–214, 2016.
- CUPERTINO-EISENLOHR, M. A. et al. Stability or breakdown under climate change? A key group of woody bamboos will find suitable areas in its richness center. **Biodiversity and Conservation**, v. 26, n. 8, p. 1845–1861, 2017.
- DE'ATH, G.; FABRICIUS, K. E. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. **Ecology**, v. 81, n. 11, p. 3178–3192, 2000.
- EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the jackknife. **The Annals of statistics**, v. 7, n. 1, p. 1–26, 1979.
- EISENLOHR, P. V. 2020. **Niche modelling with biomod2 using 70 environmental variables summarized in PCA Axes**. Disponível em: <[https://github.com/pedroeisenlohr/niche\\_modelling](https://github.com/pedroeisenlohr/niche_modelling)>. Acesso em: 05 dez. 2019.
- EVANS, I. **An integrated system of terrain analysis and slope mapping**. 36. ed. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband, 1980.
- FIELDING, A. H.; BELL, J. F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. **Environmental Conservation**, v. 24, n. 1, p. 38–49, 1997.
- FIGUEIREDO, S. M. de M. et al. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 2, p. 167–174, 2015.
- FICK, S. E., HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **Int. J. Climatol.** V. 37, p. 4302–4315, 2017.
- FRIEDMAN, J. H. Multivariate Adaptive Regression Splines. **The Annals of Statistics**, v. 19, n. 1, p. 123–141, 1991.
- GIANNINI, T. C. et al. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733–749, 2012.
- GUIBAN, A.; HOFER, U. Predicting reptile distributions at the mesoscale: relation to climate and topography. **Journal of Biogeography**, v. 30, n. 8, p. 1233–1243, 2003.
- HASTIE, T. J.; TIBSHIRANI, R. J. **Generalized Additive Models**. CRC Press, 1990.

- HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; BUJA, A. Flexible Discriminant Analysis by Optimal Scoring. **Journal of the American Statistical Association**, v. 89, n. 428, p. 1255-1270, 1994.
- HESS, G. R. et al. Effectiveness of biodiversity indicators varies with extent, grain, and region. **Biological Conservation**, v. 132, n. 4, p. 448–457, 2006.
- HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965–1978, 2005.
- HIRZEL, A. H. et al. Ecological niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data. **Ecology**, v. 83, n. 7, p. 2027-2036, 2002.
- IBGE. Coordenação de recursos naturais e estudos ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- INMET. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 7 jan. 2020.
- IPCC. 2018. **Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 09 de fev. 2022.
- JOSÉ-SILVA, L. et al. Improving the validation of ecological niche models with remote sensing analysis. **Ecological Modelling**, v. 380, p. 22–30, 2018.
- KARGER, D.N. et al. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. **Scientific Data**, v. 4, p. 170122, 2017.
- LEUTNER, B.; HORNING, N. 2016. **RStoolbox: Ferramentas para análise de dados de sensoriamento remoto**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/RStoolbox/index.html>>. Acesso em: 15 jan. 2020.
- LIMA, D. L. et al. Semiautomatic and quantification identification of deforestation by Remote Sensing. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 30942721, 2020.
- LIMA, I. L. P. et al. Diversidade e uso de plantas do Cerrado em comunidade de Geraizeiros no norte do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 26, n. 3, p. 675–684, 2012.
- LIU, C. et al. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. **Ecography**, v. 28, n. 3, p. 385–393, 2005.
- MACKENZIE, D. I.; ROYLE, J. A. Designing occupancy studies: general advice and allocating survey effort. **Journal of Applied Ecology**, v. 42, n. 6, p. 1105–1114, 2005.
- MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. **On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other**. The annals of mathematical statistics, 1947.
- MAZER, S. **Potencial produtivo de plantas de importância socioeconômica da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, Minas Gerais, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Brasília- DF, 54f, 2016.

- MCCULLAGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized Linear Models**. CRC Press, 1989.
- NABOUT, J. C. et al. The impact of global climate change on the geographic distribution and sustainable harvest of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae) in Brazil. **Environmental Management**, v. 57, n. 4, p. 814–821, 2016.
- NEZER, O. et al. High-resolution species-distribution model based on systematic sampling and indirect observations. **Biodiversity and Conservation**, v. 26, n. 2, p. 421–437, 18, 2017.
- NUNES, Y. R. F. et al. Atividades fenológicas de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae) em uma floresta estacional decidual no norte de Minas Gerais. **Lundiana**, v. 6, n. 2, p. 99–105, 2005.
- OLIVEIRA, L. **Ecologia populacional e extrativismo de frutos de *Caryocar brasiliense* CAMB. no Cerrado no Norte de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Brasília-DF, 87f, 2009.
- OLIVEIRA, R. C. A. **Distribuição potencial de espécies de lianas na transição Cerrado-Amazônia: efeitos preditivos de mudanças climáticas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas e Agrárias), Alta Floresta-MT, 79f, 2017.
- OMAR, K. et al. Ecological niche modeling for predicting the potential geographical distribution of *Aedes* species (Diptera: Culicidae): A case study of Enugu State, Nigeria. **Parasite Epidemiology and Control**, v. 15, p. e00225, 2021.
- PEARSON, R. G. et al. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. **Journal of Biogeography**, v. 34, n. 1, p. 102–117, 2006.
- PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, n. 5, p. 361–371, 2003.
- PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J.; SÁNCHEZ-CORDERO, V. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. **Science**, v. 285, n. 5431, p. 1265–1267, 1999.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3–4, p. 231–259, 2006.
- PIRANI, F. R.; SANCHEZ, M.; PEDRONI, F. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 23, n. 4, p. 1096–1110, 2009.
- RIDGEWAY, G. The state of boosting. **Computing Science and Statistics**, v. 31, p. 172–181, 1999.
- RIPLEY, B D. **Pattern Recognition and Neural Networks**. Cambridge ed, 2007.
- SCHEFFERS, B. R. et al. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. **Science**, v. 354, n. 6313, p. 719-730, 2016.

SENA-SOUZA, J. P. et al. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu, escala 1:100.000. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 1–38, 2013.

SEVILHA, A. C. Systematic conservation planning for the Paranã River Basin, Brazil, under climate change. **Thesis (Doctor in Tropical Biodiversity and Climate Change**, James Cook University, 2016.

SWETS, J. Measuring the accuracy of diagnostic systems. **Science**, v. 240, n. 4857, p. 1285–1293, 1988.

THUILLER, W. et al. BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions. **Ecography**, v. 32, n. 3, p. 369–373, 2009.

THUILLER, W. et al. 2019. **Package ‘biomod2’: pacote R versão 3.3-7.1**. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=biomod2/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

VASCONCELOS, V. et al. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 171–186, 2012.

VERBRUGGEN, H. et al. Improving Transferability of Introduced Species’ Distribution Models: New Tools to Forecast the Spread of a Highly Invasive Seaweed. **Plos one**, v. 8, n. 6, p. e68337, 2013.

WILLIAMS, R. J. et al. Leaf phenology of woody species in a north Australian Tropical Savanna. **Ecology**, v. 78, n. 8, p. 2542–2558, 1997.

ZHANG, L. et al. Consensus forecasting of species distributions: the effects of niche model performance and niche properties. **Plos one**, v. 10, n. 3, p. e0120056, 2015.

ZWIENER, V. P. et al. Climate change as a driver of biotic homogenization of woody plants in the Atlantic Forest. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 3, p. 298–309, 2018.

**ANEXO I.** Lista e descrição da influência das variáveis ambientais utilizadas na modelagem de distribuição de espécies.

Código	Variável	Grupo	Descrição	Fonte
Bio1	Temperatura média anual	Temperatura	Afeta direta ou indiretamente o metabolismo individual de organismos e plantas ectotérmicas. À medida que a temperatura aumenta, aumenta o metabolismo por meio da aceleração dos processos biológicos (SEVILHA, 2016). Ao sul do TCARP, onde está inserida a unidade geomorfológica caracterizada como depressão dissecada, a temperatura média anual é mais elevada, chegando 23,5°C. Ao norte do TCARP, região caracterizada pela presença de chapadas, a temperatura média reduz, com valores entre 17,8 °C a 22,2 °C.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio2	Variação diurna média da temperatura [média mensal (Tmax-Tmin)]	Temperatura	Representa a variação da temperatura durante o dia. Há um gradiente da variação da temperatura no sentido norte a sul do TCARP, com gradiente de variação de temperatura de 14,1 °C ao norte até 11 °C ao sul.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio3	Isotermalidade ((bio2/bio7)*(100))	Temperatura	Representa as regiões com maior manutenção da temperatura em relação a sua amplitude. A região noroeste do TCARP possui maior isotermalidade com um gradiente bem definido no sentido sudeste do território.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão da variação anual de temperatura * 100)	Temperatura	Representa a variação sazonal da temperatura relacionada ao desvio padrão anual. Os efeitos da sazonalidade da temperatura são maiores ao sul do TCARP.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio5	Temperatura máxima do mês mais quente	Temperatura	São geralmente registradas no período vespertino do dia, e podem alterar as condições fisiológicas das plantas, influenciando seu crescimento e desenvolvimento. No TCARP as máximas temperaturas são registradas no primeiro trimestre do ano, em média, no mês de fevereiro, com máxima de 32,2 °C ao sul do TCARP.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio6	Temperatura mínima do mês mais frio	Temperatura	Os valores mínimos de temperatura são registrados durante o período noturno. É um indicativo de condições que podem exigir resposta adaptativa das plantas (SEVILHA, 2016). No TCARP, os menores registros da temperatura mínima se encontram ao sudoeste, chegando a 9,7 °C no mês mais frio.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>

Continua...

Cont., Anexo I.

Código	Variável	Grupo	Descrição	Fonte
Bio7	Amplitude térmica anual (bio5-bio6)	Temperatura	Representar a diferença da temperatura máxima em relação a temperatura mínima do ano, ou seja, a amplitude térmica. Existe forte relação da amplitude térmica com a variação diurna da temperatura, apresentando o mesmo gradiente, com maiores amplitudes ao sul do TCARP (19,1 °C) e menores valores de amplitude ao norte (14,6 °C).	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio8	Temperatura média do trimestre mais úmido	Temperatura	Condição de verão quando há maior atividade de respiração e metabolismo pelas plantas, associada a disponibilidade de água (SEVILHA, 2016). A região sul do TCARP, inserida na unidade geomorfológica caracterizada como depressão dissecada, apresenta a mais elevada temperatura média, que pode chegar a 24,8°C. A região norte do TCARP, caracterizada pela presença de chapadas, tem temperatura média reduzida, próxima a 19 °C.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio9	Temperatura média do trimestre mais seco	Temperatura	Indica a condição climática quando há redução da respiração e metabolismo vegetal, impulsionado pelo período de seca (SEVILHA, 2016). O trimestre mais seco corresponde ao terceiro trimestre do ano, entre os meses de julho e setembro. No TCARP, os maiores valores são encontrados ao sul, com temperatura chegando a 20,8 °C, com redução da temperatura nas áreas mais altas localizadas nas chapadas.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio10	Temperatura média do trimestre mais quente	Temperatura	O trimestre mais quente promove maior atividade da respiração e metabolismo, correspondente ao trimestre mais úmido, com maior crescimento e desenvolvimento de plantas. No TCARP, o trimestre mais quente possui maiores temperaturas ao sul (25,2 °C), com redução da temperatura nas áreas mais altas localizadas nas chapadas.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio11	Temperatura média do trimestre mais frio	Temperatura	Indica menor atividade respiratória e metabolismo vegetal, correspondente ao inverno e ao período seco do ano (SEVILHA, 2016). Os maiores valores estão situados na região sul do TCARP, com temperatura média até 20,8 °C, com regiões mais frias nas chapadas com maior altitude, com valores mínimos médios chegando a 15,5 °C.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>

Continua...

Cont., Anexo I.

Código	Variável	Grupo	Descrição	Fonte
Bio12	Precipitação anual	Precipitação	Relacionada a disponibilidade de água no solo para as plantas e umidade atmosférica. No TCARP, os menores valores médios de precipitação ocorrem na região norte, com mínimo registrado de 690 mm por ano, na porção nordeste, em área de transição com a Caatinga. Maiores valores médios de precipitação ocorrem à sudoeste e podem chegar a 1.009 mm por ano.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio13	Precipitação do mês mais chuvoso	Precipitação	Período que favorece o crescimento e desenvolvimento das plantas. Dezembro é o mês de maior precipitação no TCARP, com maiores valores registrados na região leste e menores valores na região nordeste.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio14	Precipitação do mês mais seco	Precipitação	Valores máximos indicam condições menos estressantes quanto a disponibilidade de água (SEVILHA, 2016). No TCARP, a precipitação do mês mais seco ocorre nas porções mais altas, especificamente nas chapadas, e pode atingir 35 mm. Nas porções ao sul, nos vales e depressões dissecadas, a seca é mais pronunciada sem registros de precipitação.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)	Precipitação	Representada pelo coeficiente de variação dos registros de chuvas. Maiores valores indicam maior amplitude ou dispersão dos mínimos e máximos em relação à média, com períodos mais severos de seca ao longo do ano, onde as espécies necessitam de maior plasticidade nesses ambientes. Menores valores representam melhor distribuição de chuvas ao longo do ano. No TCARP há predomínio de alta sazonalidade da precipitação. Região leste apresenta os menores valores da sazonalidade.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio16	Precipitação do trimestre mais chuvoso	Precipitação	No TCARP, o quarto trimestre é o mais chuvoso, com maiores valores de precipitação em novembro e dezembro. A região sudoeste apresenta maior precipitação nesse trimestre (589 mm).	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>

Continua...

Cont., Anexo I.

Código	Variável	Grupo	Descrição	Fonte
Bio17	Precipitação do trimestre mais seco	Precipitação	Maiores valores indicam condições menos estressantes quanto a disponibilidade de água durante o período do inverno. No TCARP, maiores valores ocorrem em áreas restritas no sudeste, e podem chegar a 56 mm.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio18	Precipitação do trimestre mais quente	Precipitação	No TCARP, essa variável é mais pronunciada ao leste (388 mm). Os menores valores são registrados na região nordeste e podem chegar ao mínimo de 235 mm. Na região nordeste há tendência de transição para fitofisionomias do Bioma Caatinga.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Bio19	Precipitação do trimestre mais frio	Precipitação	Maiores valores indicam condição menos estressante em termos de disponibilidade de água durante o inverno (SEVILHA, 2016). No TCARP, maiores valores dessa variável podem chegar a 63 mm e foram registrados numa pequena porção no extremo leste.	<a href="http://worldclim.org/version2">http://worldclim.org/version2</a>
Altitude	Modelo Digital de Elevação (MDE)	Topográfica	A altitude possui relação com a temperatura e a precipitação. Em geral, regiões mais altas possuem temperaturas amenas e maior precipitação. O TCARP apresenta elevada amplitude de altitude, com valor máximo de 1.768 m ao leste, especificamente na Serra do Espinhaço e menor valor ao sul, com 336 m na porção mais baixa da unidade geomorfológica caracterizada como depressão dissecada.	<a href="https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/">https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/</a>
Declividade	Declividade em graus	Topográfica	No TCARP, a declividade possui grande relação com o uso e disponibilidade de água nos solos. Em geral, as chapadas possuem terreno plano e são amplamente utilizadas pelas comunidades no agroextrativismo. Por ser áreas planas ou suavemente onduladas são mecanizáveis, tendo muitas áreas ocupadas pela silvicultura de eucalipto, onde antes existia cerrado sentido restrito como cobertura natural. As planícies fluviais inseridas entre as chapadas são áreas planas, caracterizadas pelo uso múltiplo associado às comunidades tradicionais. Áreas de encostas (declivosas) têm menor disponibilidade hídrica em relação as áreas de chapada e planícies fluviais.	Derivada do MDE

Continua...

Cont., Anexo I.

Código	Variável	Grupo	Descrição	Fonte
Aspecto	Direção das vertentes	Topográfica	A disponibilidade de luz e sombreamento é fortemente relacionada à posição topográfica (aspecto do terreno ou direção das vertentes) (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002), interferindo na radiação incidente, na umidade do solo e na composição/ocorrência de espécies vegetais. Áreas expostas ao norte e oeste estão mais sujeitas à insolação e ao dessecamento que aquelas expostas ao sul e leste.	Derivada do MDE
Curvatura mínima	Curvatura mínima do solo	Topográfica	Convexidade mínima da seção transversal do terreno (EVANS, 1980). Representa a menor curvatura local em qualquer direção.	Derivada do MDE

## APÊNDICE I



Planície fluvial entre duas chapadas



Aflorentamento rochoso modelado como área sem adequabilidade de ocorrência das espécies



Presença de *T. subvelutina* em terrenos declivosos



Floresta estacional decidual na depressão dissecada em Salinas, MG



Ilustração da chapada, frente de recuo erosivo e rampa de colúvio, com alta densidade de *T. subvelutina* nos terrenos declivosos



Cerrado sentido restrito conservado em chapada



Fruto de Mangaba (*Hancornia speciosa*)



Fruto de Cagaita (*Eugenia dysenterica*)

## CAPÍTULO III

### ESTIMATIVA DA DENSIDADE DE INDIVÍDUOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NO CERRADO: UMA ABORDAGEM PARA O AGROEXTRATIVISMO

#### RESUMO

No contexto do agroextrativismo, a estimativa precisa da densidade de indivíduos de espécies de interesse é de fundamental importância no planejamento do manejo e uso sustentável da vegetação. As densidades, de modo geral, variam de espécie para espécie, tanto no espaço, quanto no tempo. Assim, o uso de modelos de distribuição de espécies pode servir como base para inferências sobre a densidade de indivíduos. Portanto, o objetivo deste estudo foi quantificar e espacializar, a partir de modelos de nichos ecológicos, a densidade de indivíduos de cinco espécies de interesse agroextrativista no Cerrado. O estudo foi desenvolvido no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), localizado no extremo Norte do Estado de Minas Gerais, Brasil, região caracterizada pelo agroextrativismo pelas comunidades Geraizeiras. Foram contempladas uma espécie de uso madeireiro (*Tachigali subvelutina*) e quatro de uso não madeireiro (*A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *E. dysenterica* e *H. speciosa*). Dados relacionados a adequabilidade de ocorrência de cada uma das espécies foram associados as respectivas densidades de indivíduos, registradas a partir de um inventário estratificado realizado na área de estudo. Quatro modelos alométricos exponenciais de densidade foram ajustados, utilizando 10 algoritmos de processamento. A densidade de indivíduos aumentou com o aumento da adequabilidade de ocorrência das espécies, com forte relação de proporcionalidade entre as variáveis para as espécies *A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *E. dysenterica* e *H. speciosa*, e moderada relação para *T. subvelutina*, com valores de erro médio quadrático (RMSE%) variando de 35,8% a 55,7%. A estimativa e espacialização da densidade de indivíduos por meio de modelos de distribuição de espécies resultou em equações confiáveis, com maiores valores de densidade na região noroeste do TCARP, apresentando alta variação para diferentes espécies e diferentes algoritmos, o que demanda, caso a caso, uma avaliação cautelosa das métricas de ajuste e precisão, ao se aplicar a proposta metodológica para diferentes espécies nativas.

**Palavras-chave:** abundância de indivíduos; adequabilidade de ocorrência; modelos de distribuição de espécies

## 1. INTRODUÇÃO

A importância dos Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNM) no mundo estão cada vez mais reconhecidos (MEINHOLD; DUMENU; DARR, 2022), sendo fortemente evidenciada ao considerar inúmeras contribuições desses produtos na melhoria da renda familiar, na geração de renda ao longo da cadeia produtiva e na conservação dos recursos naturais, associadas a alta demanda diante um mercado aquecido neste setor (WAHLÉN, 2017). Acredita-se que mais de 44% da população global utilizam os produtos florestais não-madeireiros (SHACKLETON; DE VOS, 2022). Na região tropical do mundo, cerca de três quartos da população são dependentes de PFNMs para sua nutrição e saúde primária (TALUKDAR et al., 2021).

No Brasil, o Cerrado é um dos biomas que mais se destaca pelo grande número de espécies com potencial não madeireiro, e, portanto, o uso sustentável da sua rica biodiversidade é fundamental para promover a conservação dos recursos naturais, como água, solo, além da própria biodiversidade, já que, a valorização da diversidade de espécies constitui-se num forte motivo para a sua preservação (AFONSO; ÂNGELO, 2009). Porém, mediante intensa ação antrópica, 50% da área original do Cerrado ainda estavam cobertos por vegetação nativa até o ano 2019 (VIEIRA et al., 2022), o que resulta em ampla redução dos recursos naturais, especialmente os PFNMs, de grande importância no contexto socioeconômico e ambiental.

Um melhor entendimento das relações entre abundância de PFNMs e diversidade de plantas é altamente relevante para a conservação de PFNMs tropicais, fundamentais na identificação de potenciais sinergias entre o fornecimento de PFNMs e os esforços atuais de conservação da biodiversidade (STEUR et al., 2021). No manejo de espécies nativas, a densidade de indivíduos de cada espécie é um dos parâmetros mais importantes no planejamento do uso sustentável da vegetação (BRUZINGA et al., 2014). As densidades de indivíduos por espécie, de modo geral, são altamente variáveis no espaço e tempo, portanto, levantamentos cobrindo áreas extensas sobre densidade seriam necessários para estimar com precisão e eficiência o tamanho da população (JĘDRZEJEWSKI et al., 2018). Assim, o uso de modelos de distribuição de espécies (MDE) ou de nichos ecológicos pode servir como base para inferências sobre a densidade de indivíduos de espécies de interesse, já que tais modelos são construídos com fundamentos estatísticos robustos, a partir de dados de ocorrência da espécie e de variáveis ambientais com alto poder preditivo de sua distribuição.

Os MDE para espacialização da ocorrência de espécies são amplamente utilizados como ferramenta que permite o conhecimento e registro de aspectos distributivos relacionados a biodiversidade (MACEDO, 2019). Em muitos casos, esses modelos são de interesse primário, pois, fornecem uma boa base preditiva para inferências sobre a biodiversidade e sua distribuição no espaço e no tempo (PETERSON et al., 2011). A utilização de MDE é essencial para monitorar populações e apoiar os resultados de conservação, proporcionando o entendimento de onde direcionar os esforços de pesquisa por meio da distribuição, biologia e ecologia das espécies (WAUCHOPE-DRUMM et al., 2020).

Nos MDE, as áreas classificadas como adequadas referem-se aquelas áreas onde ocorre pelo menos um indivíduo de determinada espécie. Contudo, é necessário também, a realização de estudos que possam relacionar o valor absoluto de adequabilidade em nível de pixel com a densidade de indivíduos registrada para a espécie. A favorabilidade ambiental para ocorrência é associada a populações maiores, visto que condições locais favoráveis aumentam as taxas de nascimento e sobrevivência dos indivíduos (MORRISON; MARCOT; MANNAN, 2006), porém as interferências antropogênicas podem alterar esta relação.

Valores contínuos de adequabilidade obtidos por meio de MDE podem estar associados não somente a ocorrência, mas, também, a densidade de indivíduos e maiores incrementos em diâmetro, altura e produtividade da espécie, visto que, áreas classificadas como adequadas apresentam diferentes valores de adequabilidade para ocorrência. No entanto, ainda faltam estudos que associem modelos de distribuição de espécies com a abundância de indivíduos (WEBER et al., 2017) e devido a importância modelar a densidade de indivíduos para o planejamento do uso e conservação da biodiversidade do território, buscamos compreender a relação entre os valores de adequabilidade de ocorrência em MDE e a densidade de indivíduos de espécies de interesse agroextrativistas no Cerrado.

Diante do exposto, nosso estudo busca responder as seguintes questões:

- (i) Valores contínuos de adequabilidade de ocorrência, utilizados em modelos de nichos ecológicos, apresentam relação de proporcionalidade com a densidade de indivíduos de espécies lenhosas de interesse agroextrativista no bioma Cerrado?

- (ii) É possível elaborar mapas de densidade de indivíduos para espécies arbóreas do Cerrado, utilizando valores de adequabilidade de ocorrência como variáveis preditoras?

## **2. OBJETIVO**

Quantificar e espacializar a densidade de indivíduos de espécies do Cerrado, de interesse agroextrativista, por meio de modelos de nichos ecológicos.

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1. Área de estudo**

O estudo foi realizado no âmbito do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), localizado no extremo Norte do Estado de Minas Gerais, Brasil, divisa com o Estado da Bahia. A região é caracterizada pela forte atuação de comunidades Geraizeiras agroextrativistas. O TCARP intercepta os limites de quinze municípios, compreendendo as bacias hidrográficas do Alto Rio Pardo e Alto Jequitinhonha, totalizando 15.332,9 ha, em região inserida no bioma Cerrado e transição para o bioma Caatinga.

Conforme a classificação de Koppen e Geiger (ALVARES et al., 2013) a região apresenta ampla variação do clima. Na região Norte e Noroeste do Território, em áreas de chapadas e nas regiões de maiores altitudes na Serra Geral do Espinhaço (1.700 m), há predomínio do clima subtropical com invernos secos e verão temperado (Cwb). Na região centro-sul localizada na depressão do vale do Jequitinhonha e planícies fluviais, com altitude média de 700 m, predomina o clima tropical com verões secos (As). Já o clima subtropical úmido com invernos secos e verões quentes (Cwa), encontra-se em regiões com altitude média de 1.000 m, distribuído por todo o Território em áreas de chapadas. A temperatura média no TCARP é de 24,2°C e precipitação média anual de 795 mm (INMET, 2020).

### **3.2. Espécies contempladas**

Foram estudadas cinco espécies, uma pela sua importância madeireira [*T. subvelutina* (Benth.)] e quatro pela importância de seus frutos na alimentação e geração de renda [*Annona crassiflora* Mart., *Caryocar brasiliense* Cambess, *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC. e *Hancornia speciosa* Gomes]. A descrição detalhada das

espécies contempladas nas análises está apresentada no item 4.2, presente no Capítulo I deste documento.

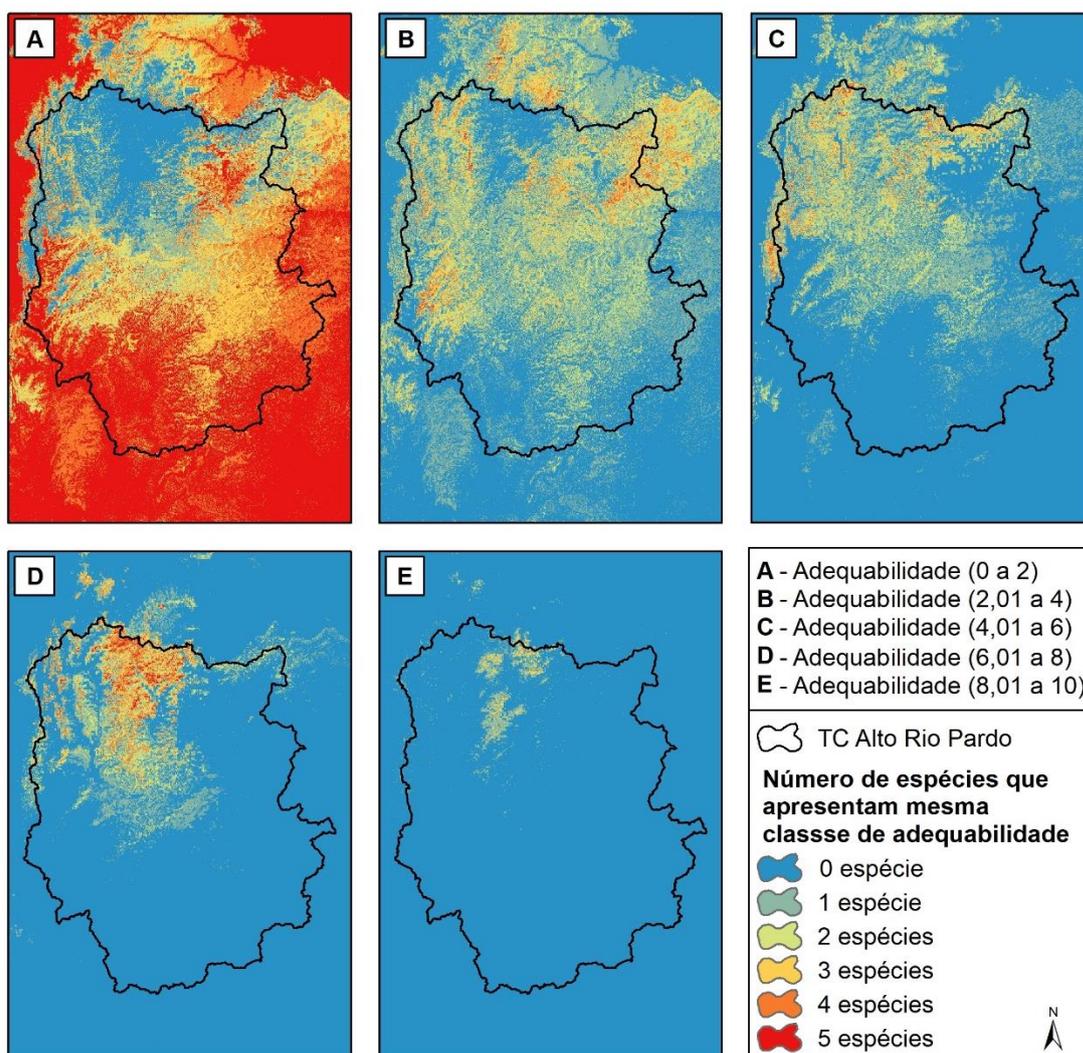
### **3.3. Coleta de dados**

Para a coleta de dados foi realizado um inventário florestal cobrindo toda a área de abrangência de cerrado sentido restrito do TCARP. A amostragem foi estratificada, com a área de estudo dividida em cinco estratos previamente definidos em função da adequabilidade de ocorrência de cada espécie. Desta maneira cada estrato representa uma das cinco classes de adequabilidade de ocorrência descritas no Capítulo II, item 4.1. O método de amostragem utilizado foi o de parcelas de área fixa de 1.000 m<sup>2</sup> (20 m x 50 m).

O planejamento do inventário foi realizado em duas etapas. A primeira consistiu na estratificação da área de estudo nas cinco classes de adequabilidade de ocorrência, de modo a garantir que todas as classes fossem amostradas. Para otimizar a coleta de dados na mesma expedição de campo, e para que a intensidade de amostragem fosse representativa de cada classe de adequabilidade de ocorrência para as cinco espécies, foi realizada a priorização de áreas para o inventário, considerando a modelagem piloto de distribuição de espécies descrita no item 3.4 no capítulo II deste documento.

A partir da reclassificação dos *rasters* da modelagem piloto, que transformou os valores contínuos de adequabilidade em dados categóricos (5 classes com amplitude igual a 2), foi possível identificar regiões com mesma amplitude de adequabilidade para todas as espécies, sendo esses locais utilizados como fator de estratificação da amostragem e considerados como prioritários para coleta de dados em parcelas distribuídas de forma aleatória nestas áreas.

A estratificação foi de fundamental importância para otimizar e garantir a representatividade da amostragem em toda amplitude de adequabilidade de ocorrência, de forma a contemplar todas as espécies. As regiões destacadas em vermelho (Figura 3.1), para cada classe, foram priorizadas para alocação de parcelas, e se referem às áreas que possuem interseção das 5 espécies com mesma classe de adequabilidade de ocorrência.



**Figura 3.1.** Número de espécies de interesse agroextrativista para as comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil, que apresentam mesma amplitude de adequabilidade de ocorrência, considerando cinco classes de adequabilidade: A (adeq.  $\leq 2$ ), B ( $2 < \text{adeq.} \leq 4$ ), C ( $4 < \text{adeq.} \leq 6$ ), D ( $6 < \text{adeq.} \leq 8$ ), E ( $8 < \text{adeq.} \leq 10$ ). Fonte: próprio autor.

Quando presente poucas regiões com interseção da mesma classe de adequabilidade, e após contemplada na amostragem, reduzia-se um nível, para encontrar regiões que apresentassem adequabilidade comum para 4 espécies (regiões alaranjadas) (Figura 3.1). Esse mesmo procedimento foi tomado para 3 espécies, e, assim sucessivamente, até que todas as classes de todas as espécies fossem contempladas.

A segunda etapa considerou o uso do solo dentro de cada classe de adequabilidade de ocorrência, visto que, áreas consideradas adequadas pelas variáveis bioclimáticas e topográficas podem contar com diferentes usos do solo. Assim, foi realizada inicialmente

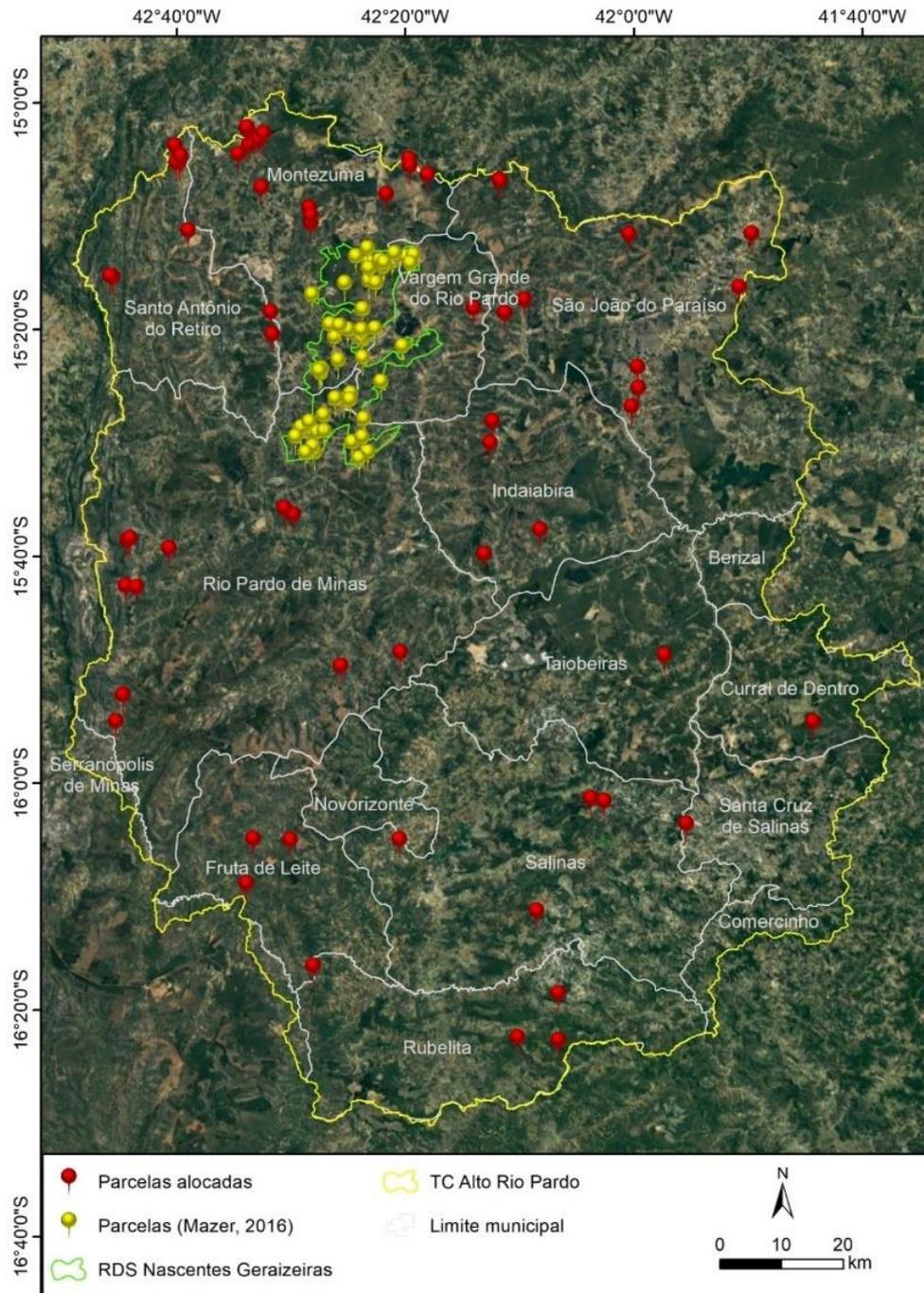
a filtragem de áreas de cerrado sentido restrito e, em seguida, selecionadas, aleatoriamente, as áreas destinadas a alocação das parcelas.

Para subsidiar a segunda etapa foi utilizado um mapa de uso do solo desenvolvido e disponibilizado no Geoportal Bem Diverso (BEM DIVERSO, 2017). Conjuntamente, foi realizada a verificação detalhada de imagens de satélite da área, disponibilizadas no software *Google Earth* e o mosaico de imagens, utilizando a ferramenta *timelapse*, disponível online na plataforma do *Google Earth Engine*.

Todo o processamento relacionado a sobreposição das imagens de uso do solo e adequabilidade de ocorrência, bem como a seleção das parcelas a serem amostradas, e o planejamento das rotas de acesso, foram realizadas pelo software Qgis 3.4 e Google Earth Pro. No TCARP foram alocadas 64 parcelas de área fixa (20 m x 50 m) em áreas de cerrado sentido restrito e essa amostragem abrangeu 14 municípios (Berizal, Curral de Dentro, Fruta de Leite, Indaiabira, Montezuma, Novorizonte, Rio Pardo de Minas, Rubelita, Salinas, Santa Cruz de Salinas, Santo Antônio do Retiro, São João do Paraíso, Taiobeiras e Vargem Grande do Rio Pardo).

Em cada parcela amostrada foi realizada a contagem do número de indivíduos vivos de cada uma das cinco espécies de interesse agroextrativista. As variáveis medidas foram o diâmetro tomado a 0,30 m do solo (*DAS*) igual ou superior a 5 cm e altura total, em metros.

Para compor o banco de dados foram utilizados dados secundários obtidos pelo inventário florestal realizado por Mazer (2016), na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras (RDS NG), que adotou os mesmos critérios metodológicos na delimitação das parcelas e limiar mínimo de inclusão dos indivíduos de cada espécie, ou seja,  $DAS \geq 5$  cm. Os dados secundários provenientes do estudo de Mazer (2016) foram filtrados pela descrição da área, permanecendo, portanto, apenas as parcelas amostradas em área de cerrado sentido restrito, totalizando 75 parcelas. Assim, o banco de dados do presente estudo foi representado por 139 parcelas amostradas em áreas de cerrado sentido restrito na região do TCARP (Figura 3.2). A Tabela 3.1 apresenta o número de parcelas por classe de adequabilidade de ocorrência por espécie.



**Figura 3.2.** Localização das parcelas amostrais implantadas no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil, para efeito do inventário florestal de espécies de interesse agroextrativista. Fonte: próprio autor.

**Tabela 3.1.** Número de parcelas por classe de adequabilidade para as espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

Espécie	Classe de adequabilidade de ocorrência	Estrato	Número de parcelas alocadas	Parcelas Mazer (2016)	Total
<i>Annona crassiflora</i>	0 —   20	1	35	2	37
	20 —   40	2	7	12	19
	40 —   60	3	11	13	24
	60 —   80	4	9	45	54
	80 —   100	5	2	3	5
<i>Caryocar brasiliense</i>	0 —   20	1	26	0	26
	20 —   40	2	16	3	19
	40 —   60	3	11	10	21
	60 —   80	4	9	58	67
	80 —   100	5	2	4	6
<i>Eugenia dysenterica</i>	0 —   20	1	32	0	32
	20 —   40	2	13	9	22
	40 —   60	3	13	26	39
	60 —   80	4	2	33	35
	80 —   100	5	4	7	11
<i>Hancornia speciosa</i>	0 —   20	1	23	0	23
	20 —   40	2	19	6	25
	40 —   60	3	12	20	32
	60 —   80	4	6	41	47
	80 —   100	5	4	8	12
<i>Tachigali subvelutina</i>	0 —   20	1	31	0	31
	20 —   40	2	17	0	17
	40 —   60	3	8	7	15
	60 —   80	4	3	41	44
	80 —   100	5	5	27	32

### 3.4. Parâmetros de processamento

Os pontos referentes a coordenada central de cada parcela amostrada foram sobrepostos aos *rasters* de adequabilidade de ocorrência, considerando a modelagem de distribuição de espécies final, contemplando nove algoritmos: *Artificial Neural Networks* (ANN), *Classification Tree Analysis* (CTA), *Flexible Discriminant Analysis* (FDA), *Generalized Additive Models* (GAM), *Generalized Boosting Model* (GBM), *Generalized Linear Models* (GLM), *Maximum Entropy* (MAXENT), *Multiple Adaptive Regression*

*Splines* (MARS) e *Random Forest* (RF). Além desses, foi utilizado o modelo consenso (média dos algoritmos que apresentaram precisão nas projeções) (Apêndice I).

Os *rasters* de adequabilidade utilizados foram obtidos conforme descrição metodológica da modelagem distribuição de espécies final, apresentado no item 3.5, presente no Capítulo II deste documento.

Os valores de adequabilidade de cada algoritmo foram extraídos para associação com os valores de densidade por hectare para cada parcela de área fixa. O tamanho do pixel das imagens de adequabilidade de ocorrência (30 m x 30 m) não corresponde ao tamanho da parcela utilizada na amostragem (20 m x 50 m), porém, o pixel que representa o ponto central da parcela possui, de forma geral, pixels vizinhos com mesmo valor de adequabilidade. Dessa forma, o valor do pixel situado na coordenada central da parcela foi considerado representativo da respectiva parcela para o processamento dos dados.

As parcelas foram agrupadas em classe de adequabilidade variando de 0 a 100, com amplitude de classe igual a 5. As parcelas inseridas em cada classe tiveram as médias de adequabilidade e de densidade calculadas, sendo estas utilizadas para os ajustes dos modelos de densidade. Esta estratégia visa contemplar um grupo de parcelas para representar a densidade de indivíduos de cada espécie, em cada classe de adequabilidade, evitando assim, parcelas sem ocorrência de indivíduos em uma mesma área de alta adequabilidade de ocorrência.

### **3.5. Ajuste e critérios de seleção de modelos de densidade de indivíduos**

Para estimar a densidade de indivíduos para cada uma das cinco espécies de interesse agroextrativista no TCARP, foram ajustados e testados quatro modelos alométricos não lineares (Tabela 3.2), amplamente utilizados na área florestal (MARTINS et al., 2021; ROCHA, 2011; SOARES et al., 2004; THIRSCH et al., 2013). Para o ajuste desses modelos, cada espécie de interesse agroextrativista teve os dados de densidade ( $\text{ind ha}^{-1}$ ) registrados em cada parcela amostrada no inventário florestal, associados aos dados de adequabilidade de ocorrência.

No total foram utilizados nos ajustes dos modelos alométricos de densidade os dados provenientes das 139 unidades amostrais, agrupadas em diferentes classes de adequabilidade de ocorrência. Ao todo foram realizados 200 ajustes, considerando cinco espécies, quatro modelos e dez algoritmos para a estimativa da adequabilidade de ocorrência.

**Tabela 3.2.** Modelos ajustados para estimativa da densidade de indivíduos das espécies de interesse agroextrativista, nas comunidades Geraizeiras do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

Autor	Modelo
Curtis	$D = \exp(\beta_0 + (\beta_1 \times (\frac{1}{Adq}))) + \varepsilon$
Exponencial	$D = \beta_0 \times \exp(\beta_1 \times Adq) + \varepsilon$
Hush	$D = \beta_0 \times Adq^{\beta_1} + \varepsilon$
Prodan	$D = (\frac{Adq^2}{\beta_0}) + (\beta_1 \times Adq) + (\beta_2 \times Adq^2) + \varepsilon$

Em que: D = densidade de indivíduos (ind ha<sup>-1</sup>); Adq = Valor de adequabilidade de ocorrência obtido por meio da técnica de modelagem de nichos ecológicos;  $\beta_i$  = Coeficientes da regressão;  $\varepsilon$  = Erro associado ao modelo.

Os modelos ajustados foram comparados e selecionados com base nos seguintes critérios de ajuste e precisão: distribuição dos valores observados e estimados de densidade em função da adequabilidade para inferência do erro absoluto na estimativa da densidade; menor erro quadrático médio em porcentagem (RMSE%) (YADAV et al., 2021) e maior coeficiente de correlação ( $R_{\hat{Y}Y}$ ) (CAMPOS; LEITE, 2013). Este formato de apresentação dos resíduos foi adotado para melhor visualização gráfica, considerando que nas menores classes de adequabilidade não ocorreram indivíduos, ou seja, densidade igual a zero. Isso evitou a sobreposição de pontos para visualização.

### 3.6. Estimativa da densidade de indivíduos das espécies arbóreas de interesse agroextrativista.

Os mapas de densidade de cada espécie de interesse agroextrativista foram gerados utilizando a ferramenta “*raster calculator*”, presente no software Arcgis Pro, com aplicação do modelo de densidade ajustado e selecionado para cada espécie. As informações de entrada para cada modelo ajustado e selecionado se referem ao valor do *raster* de adequabilidade obtido na modelagem de distribuição de espécies, considerando os valores contínuos acima do limiar (*threshold*).

A área em hectare foi calculada pela multiplicação do número de pixels por classe de densidade pela área do pixel, considerando a resolução espacial de 30 m. Os *rasters*

de adequabilidade para todos os algoritmos de processamento (Apêndice I) foram resultantes do capítulo II deste documento, especificamente no item 4.2.

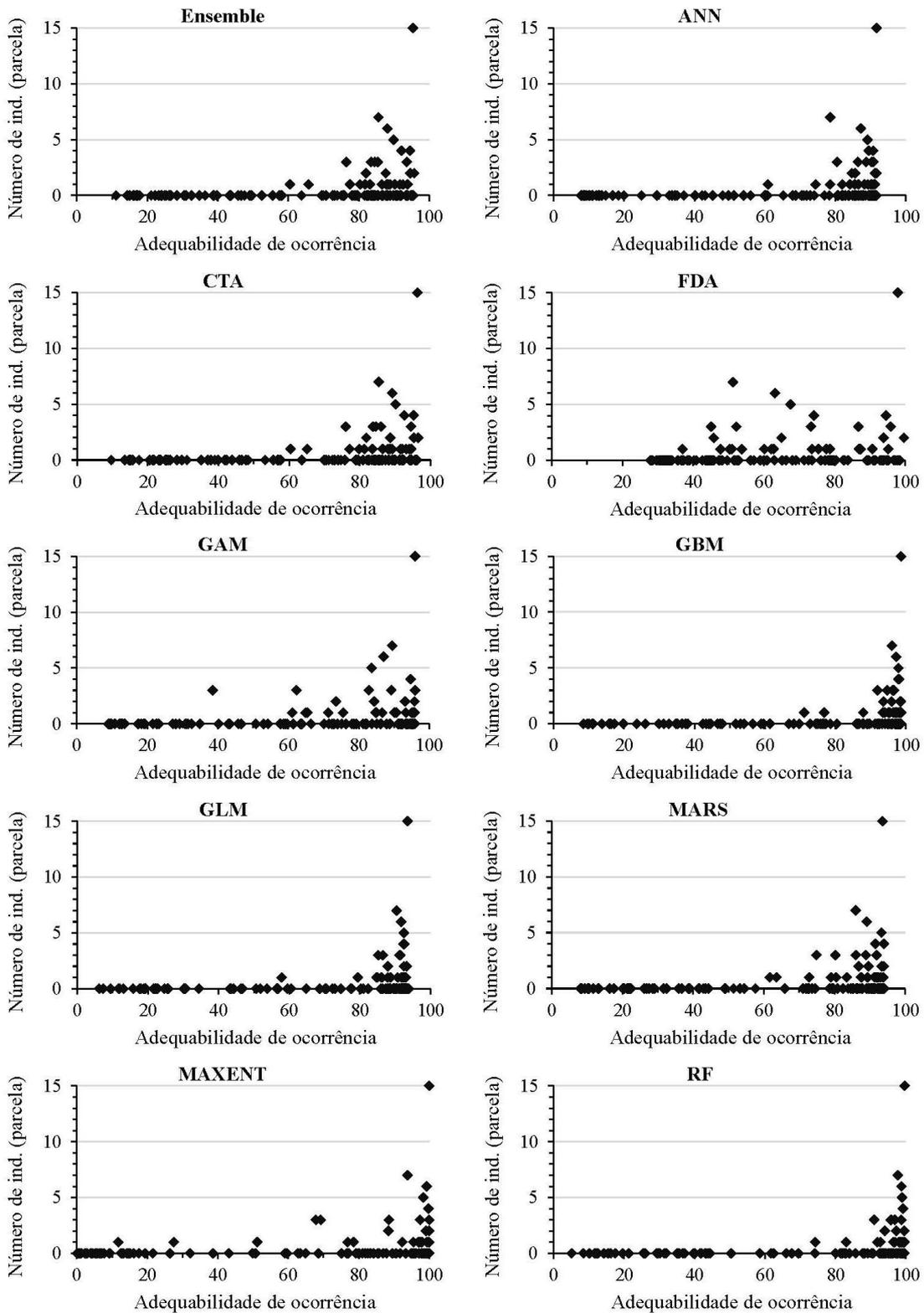
## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Comportamento da densidade de indivíduos em diferentes valores de adequabilidade de ocorrência**

A partir dos dados de densidade de indivíduos registrados nas unidades amostrais implantadas nos diferentes estratos, definidos em função da adequabilidade de ocorrência, foi observado para cada espécie que a densidade nas parcelas aumenta com o aumento da adequabilidade de ocorrência, principalmente para valores de adequabilidade acima de 80. Em geral, essa relação ocorreu em todos os algoritmos de processamento da modelagem de nichos ecológicos. Nessa mesma faixa de alta adequabilidade, entre 80 e 100, que apresentou maiores densidades, também foram registradas parcelas com ausência das espécies, o que naturalmente ocorre na natureza.

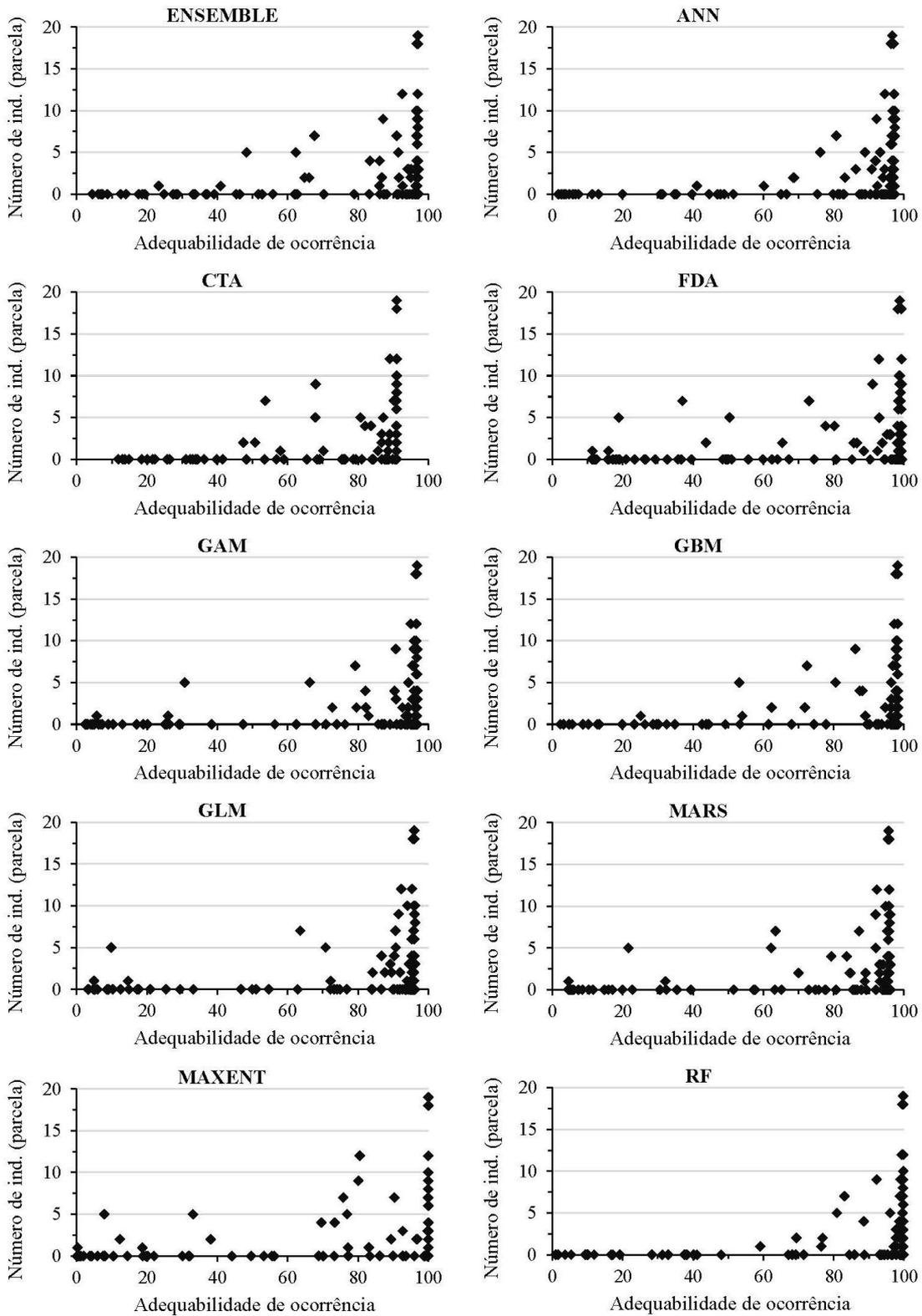
Usando o modelo consenso (*ensemble*), ou seja, a média dos algoritmos que apresentaram precisão nas projeções de adequabilidade, foi observado ocorrência registrada a partir do valor de adequabilidade 60,5 para *A. crassiflora*, 23,3 para *C. brasiliense*, 26,4 para *E. dysenterica*, 37,2 para *H. speciosa* e 52,7 para *T. subvelutina*. A relação da densidade de indivíduos e adequabilidade de ocorrência para todas as espécies e para cada algoritmo estão apresentadas nas Figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7.

*Annona crassiflora* Mart



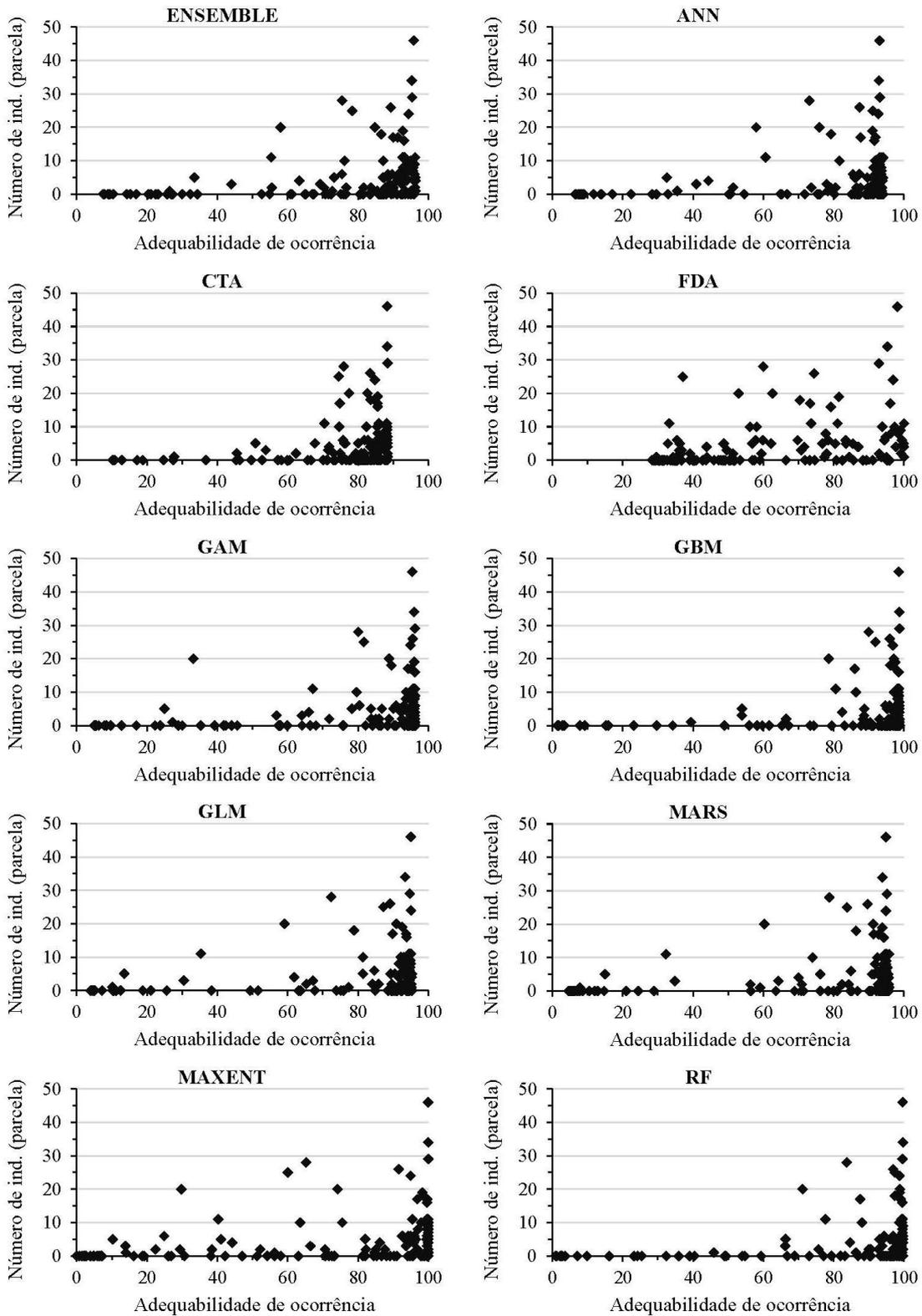
**Figura 3.3.** Número de indivíduos de *Annona crassiflora* por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

*Caryocar brasiliense* Cambess



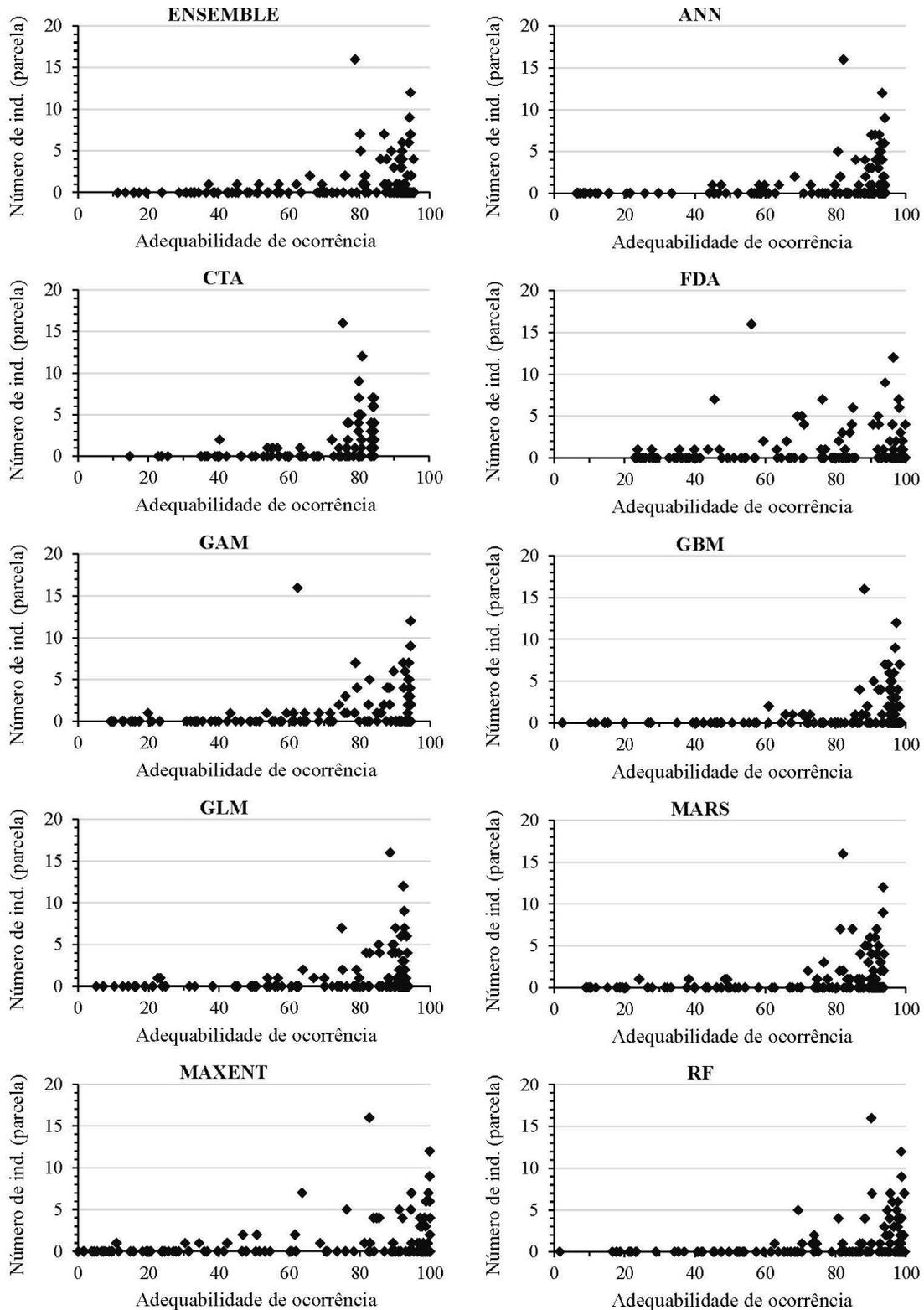
**Figura 3.4.** Número de indivíduos de *Caryocar brasiliense* por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

*Eugenia dysenterica* (Mart.)



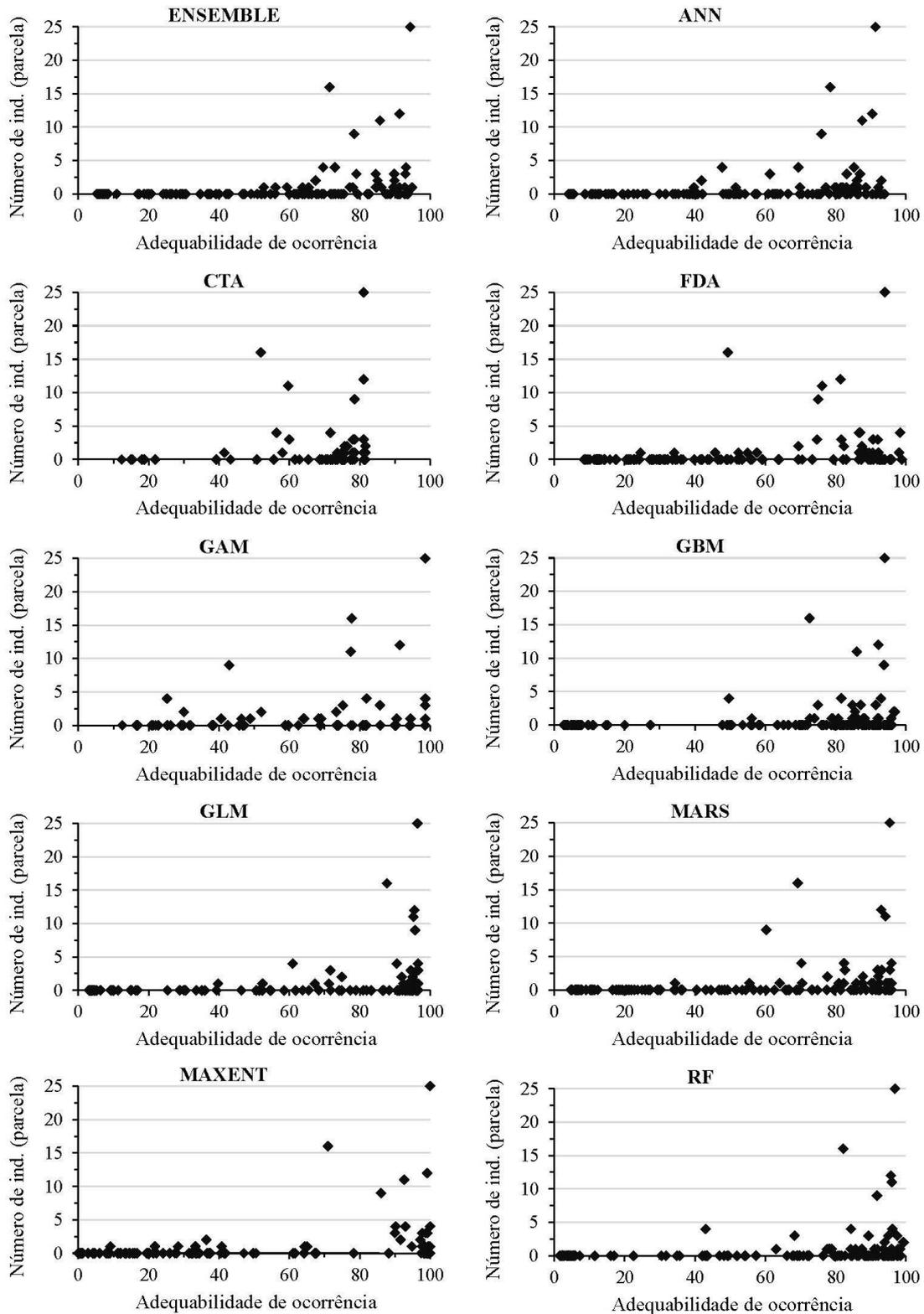
**Figura 3.5.** Número de indivíduos *Eugenia dysenterica* por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

*Hancornia speciosa* Gomes



**Figura 3.6.** Número de indivíduos de *Hancornia speciosa* por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

*Tachigali subvelutina* (Benth.) Oliveira-Filho



**Figura 3.7.** Número de indivíduos de *Tachigali subvelutina* por parcela (20 m x 50 m) em função da adequabilidade de ocorrência no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

#### 4.2. Estimativa da densidade de indivíduos para as espécies de interesse agroextrativista no Cerrado

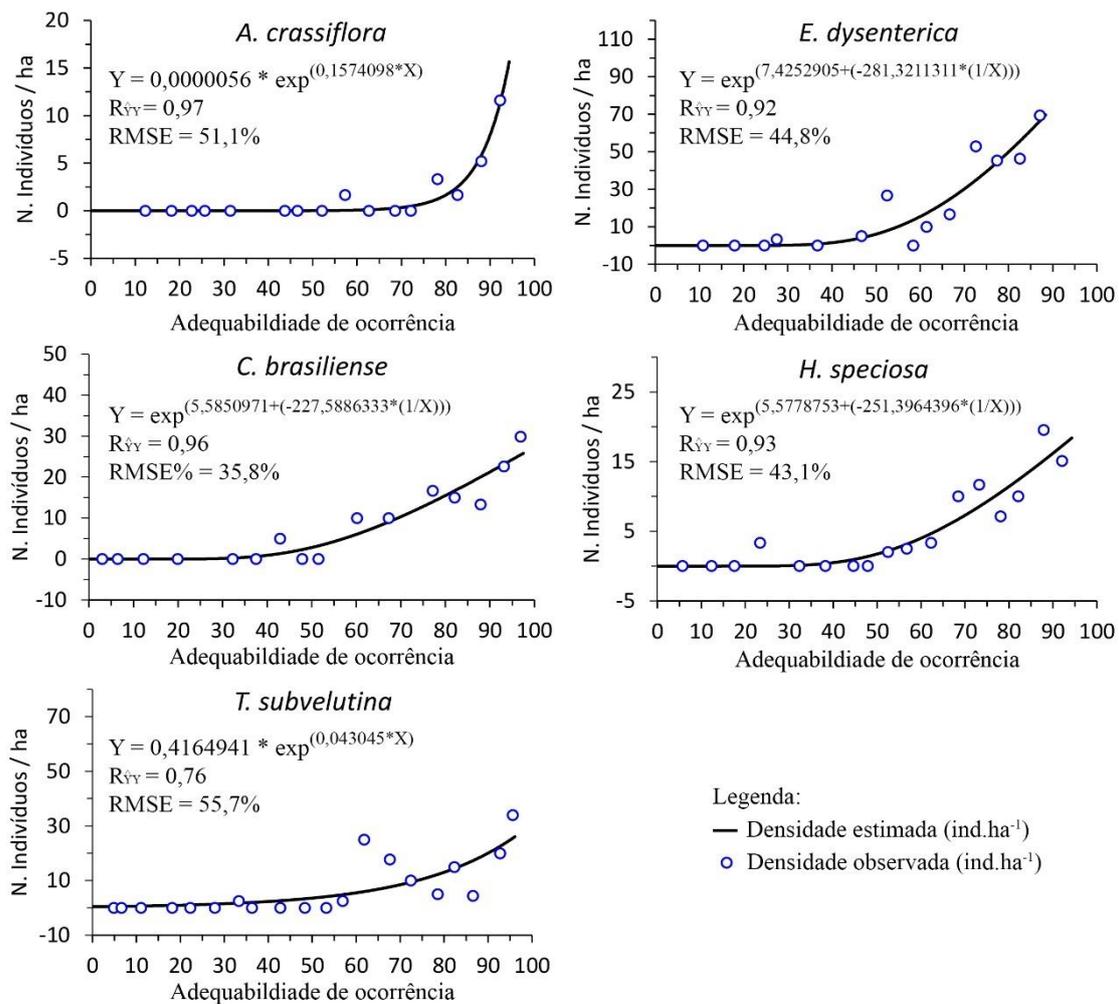
Dentre os diferentes modelos exponenciais ajustados para estimativa da densidade de indivíduos foi observado relação de proporcionalidade pelo coeficiente de correlação ( $R_{\hat{Y}Y}$ ) da densidade de indivíduos em função da adequabilidade de ocorrência. O forte poder preditivo entre as variáveis foi verificado pelo algoritmo GLM (*Generalized Linear Models*) com o modelo exponencial para *A. crassiflora*; algoritmo ANN (*Artificial Neural Networks*) com modelo de Curtis para *C. brasiliense*; algoritmo CTA (*Classification Tree Analysis*) com modelo de Curtis para *E. dysenterica*; algoritmo GLM com modelo de Curtis para *H. speciosa*; e moderada relação de proporcionalidade pelo  $R_{\hat{Y}Y}$  para *T. subvelutina* entre o algoritmo MARS (*Multiple Adaptive Regression Splines*) e o modelo exponencial.

O erro médio quadrático RMSE (%) variou de 35,8% a 55,7%, com menor valor para *C. brasiliense* e maior valor para *T. subvelutina*, apresentando ajustes significativos pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e distribuição normal dos resíduos pelo teste de Anderson-Darling ( $p < 0,05$ ), a 5% de probabilidade. Os resultados das equações selecionadas para cada espécie com as respectivas métricas de ajuste e precisão estão apresentados na Tabela 3.3. A distribuição dos valores estimados e observados para visualização dos erros de estimativa atribuídos aos modelos na Figura 3.8.

**Tabela 3.3.** Métricas de ajuste e precisão dos modelos de densidade selecionados para as espécies de interesse agroextrativistas, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

Espécie	Algoritmo (MDE)	Modelo selecionado	$R_{\hat{Y}Y}$	RMSE (%)	$\beta_0$	$\beta_1$
<i>A. crassiflora</i>	GLM	Exponencial	0,97	51,1	0,0000056	0,1574098
<i>C. brasiliense</i>	ANN	Curtis	0,96	35,8	5,5850971	-227,5886333
<i>E. dysenterica</i>	CTA	Curtis	0,92	44,8	7,4252905	-281,3211311
<i>H. speciosa</i>	GLM	Curtis	0,93	43,1	5,5778753	-251,3964396
<i>T. subvelutina</i>	MARS	Exponencial	0,76	55,7	0,4164941	0,0430450

MDE = Modelos de Distribuição de Espécies; GLM = *Generalized Linear Models*; ANN = *Artificial Neural Networks*; CTA = *Classification Tree Analysis*; MARS = *Multiple Adaptive Regression Splines*;  $R_{\hat{Y}Y}$  = Coeficiente de correlação; RMSE% = Erro quadrático Médio;  $\beta_0$  e  $\beta_1$  = coeficientes de ajuste.

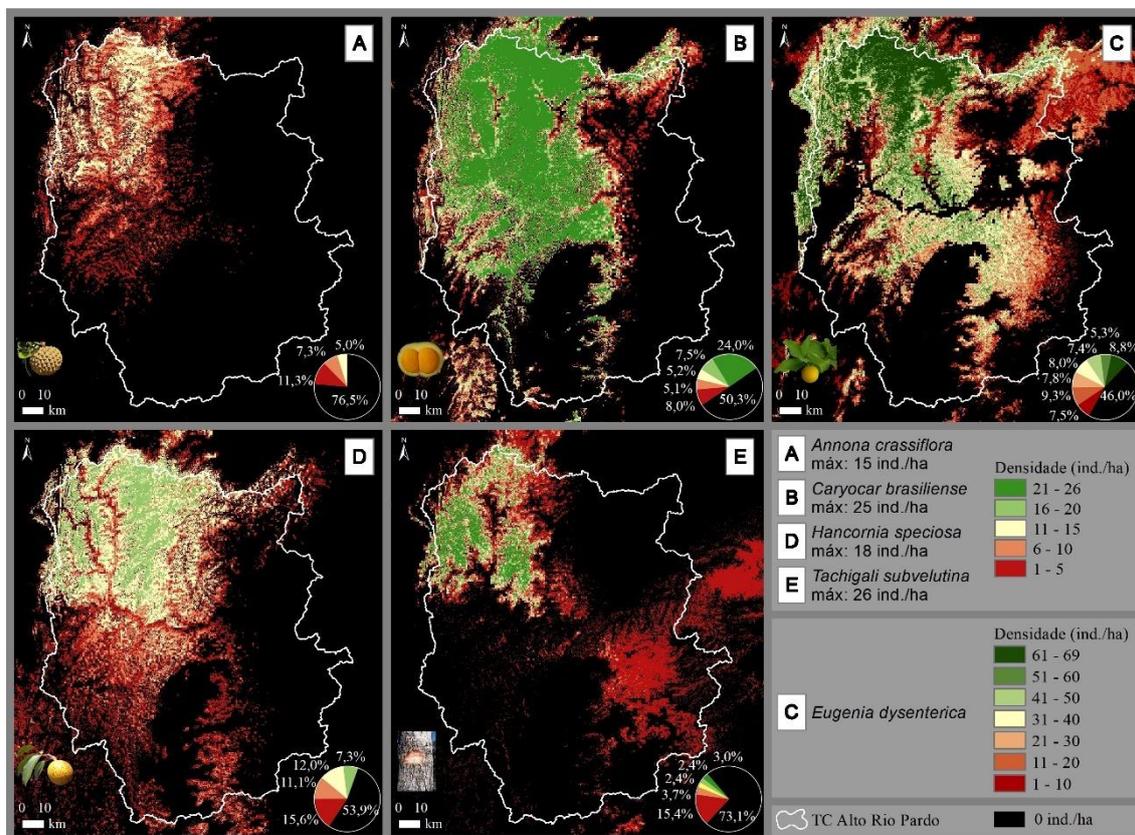


**Figura 3.8.** Distribuição dos valores estimados e observados de densidade de indivíduos por hectare em função da adequabilidade de ocorrência das cinco espécies no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

### 4.3. Estimativa e espacialização da densidade de indivíduos por hectare

A região Noroeste do TCARP, de forma geral, apresentou os maiores valores de densidade de indivíduos para todas as espécies, considerando o cenário potencial da região, que desconsidera a cobertura do solo (Figura 3.9). *E. dysenterica* apresentou os maiores valores de densidade de indivíduos na região, chegando a 69 ind ha<sup>-1</sup> no extremo Norte da área de estudo. A espécie *C. brasiliense* apresentou o maior quantitativo em área (361.142 ha) para a classe de maior densidade, entre 21 e 25 ind ha<sup>-1</sup>. *H. speciosa* apresentou maior semelhança na representatividade em área de cada classe de densidade, com maiores valores de densidade de 18 ind ha<sup>-1</sup>. Já as espécies *A. crassiflora* e *T. subvelutina* apresentaram menor representatividade em área para as classes de maior densidade de indivíduos, 74.672 ha (11 a 15 ind ha<sup>-1</sup>) e 44.926 ha (21 a 26 ind ha<sup>-1</sup>),

respectivamente. O quantitativo em área das classes de densidade de indivíduos por espécie está apresentado na Tabela 3.4.



**Figura 3.9.** Mapa de densidade de indivíduos para espécies de interesse agroextrativista no Cerrado, com respectivas porcentagens de ocupação em área para os limites do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor.

**Tabela 3.4.** Área, em hectares, por classe de densidade de indivíduos, para as cinco espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil.

Classe de densidade (ind ha <sup>-1</sup> )	Área <i>E. dysenterica</i>		Classe de densidade (ind ha <sup>-1</sup> )	Área							
	(ha)	%		<i>A. crassiflora</i>		<i>C. brasiliense</i>		<i>H. speciosa</i>		<i>T. subvelutina</i>	
0	692.310,8	46,0	0	1.150.585,7	76,4	756.934,6	50,3	811.491,9	53,9	1.100.611,8	73,1
1-10	112.097,1	7,4	1-5	169.304,9	11,2	120.518,5	8,0	235.240,4	15,6	231.491,6	15,4
11-20	140.055,8	9,3	6-10	110.527,4	7,3	76.687,5	5,1	167.204,9	11,1	56.295,7	3,7
21-30	117.185,1	7,8	11-15	74.671,8	5,0	77.557,9	5,2	180.919,4	12,0	35.711,0	2,4
31-40	120.827,8	8,0	16-20	-	-	112.249,4	7,5	110.233,3	7,3	36.035,7	2,4
41-50	111.555,3	7,4	21-25	-	-	361.142,1	24,0	-	-	44.943,9	3,0
51-60	79.361,5	5,3									
61-69	131.696,6	8,8									
						Área total = 1.505.089,8					

Para todas as espécies foram identificadas áreas sem ocorrência de indivíduos, principalmente na região Sul do TCARP. As espécies *A. crassiflora*, *C. brasiliense* e *H. speciosa* também não foram registradas na região Sudeste do TCARP. O sudeste do TCARP é parte da bacia hidrográfica do alto Jequitinhonha, correspondente a unidade geomorfológica “depressão dissecada”, com pequena faixa de áreas as quais foram projetadas estimativas de densidade, correspondentes aos morros testemunha nominadas como unidades geomorfológicas de “mesas”.

Ao Nordeste, com predomínio de vegetação em transição do bioma Cerrado para o bioma Caatinga, foi previsto pelos modelos áreas sem ocorrência de *A. crassiflora* e *T. subvelutina*. Já na região localizada no extremo Oeste, fora dos limites do TCARP, caracterizada pela depressão dissecada por influência da bacia do Rio São Francisco, também não foi prevista estimativas de densidade dos indivíduos.

## 5. DISCUSSÃO

A modelagem da distribuição de espécies (MDE) é uma técnica amplamente utilizada na literatura para espacialização da ocorrência de espécies em diferentes aplicações (FOIS et al., 2018; HAO et al., 2019; SILLERO et al., 2021; ZURELL et al., 2020). Os MDE são eficazes na compreensão da distribuição de áreas potencialmente adequadas à ocorrência de espécies, baseando-se na premissa que a distribuição geográfica dessas espécies é dependente das condições ambientais a que forem submetidas (SOBERÓN, 2007). Os resultados deste estudo mostram que o uso de *scores* de adequabilidade de ocorrência na estimativa da densidade de indivíduos é uma alternativa promissora, pois, garante uma boa precisão nas estimativas. Estimativas precisas de densidade de indivíduos também foram obtidas por Rullens et al. (2021) a partir da modelagem da distribuição e densidade de moluscos marinhos. Áreas com alta adequação ambiental tendem a abrigar maiores populações pela favorabilidade das condições locais aumentar a probabilidade de nascimento e a sobrevivência de indivíduos (WEBER et al., 2017).

Por outro lado, é verificado alta variação da relação de proporcionalidade entre as variáveis densidade de indivíduos e adequabilidade de ocorrência entre os algoritmos e entre espécies. Em certos casos, a variabilidade na abundância das espécies pode estar relacionada à variação na adequação do habitat, com as espécies sendo mais abundantes em habitats altamente adequados (YU; COOPER; INFANTE, 2020). Esta variação da relação densidade-adequabilidade é esperada, visto que a ocorrência das espécies e a

abundância de indivíduos é influenciada também por diversos fatores bióticos e abióticos, e as barreiras físicas operam como filtro para a dispersão de propágulos (ESPÍNOLA; JÚLIO JUNIOR, 2007), podendo ser intensificadas de acordo com as interações antropogênicas de degradação ambiental, como histórico de desmatamento e queimadas (FEELEY; REHM, 2012). Se as populações sofrerem rápidas mudanças, não se espera correlações reais e significativas (WEBER et al., 2017). Estes fatores estão relacionados em estimativas de densidade que resulta em alto poder preditivo para algumas espécies e que pode não ser observado para outras.

Devido haver diferentes relações bióticas e abióticas entre espécies nativas somadas às alterações antrópicas, não há consenso quanto a estabilidade da relação de proporcionalidade entre a adequabilidade de ocorrência com a densidade populacional, podendo essa relação explicativa entre as variáveis ser forte (RULLENS et al., 2021) ou não (JIMÉNEZ-VALVERDE et al., 2009).

A precisão dos modelos de densidade deste estudo pode ter sido positivamente influenciada pela amostragem estratificada no campo, que garantiu representatividade em diferentes classes de adequabilidade de ocorrência. Também pode ter sido influenciada pela cautelosa seleção das variáveis ambientais na projeção da adequabilidade de ocorrência nos modelos de nichos ecológicos, com utilização de variáveis geomorfológicas de alta resolução espacial associadas às variáveis bioclimáticas.

Previsões em escala local e regional que utilizam variáveis de alta resolução espacial sobre a distribuição e densidade de espécies são necessárias (RULLENS et al., 2021), pois, fortes variações ambientais podem ocorrer em curtas distâncias, resultando em distribuições altamente variáveis e irregulares (HEWITT; THRUSH; DAYTON, 2008; THRUSH; HEWITT; PRIDMORE, 1989).

Ao realizar o recorte das estimativas de densidade para a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, localizada na região Noroeste do TCARP, é observada a correspondência das estimativas de acordo com os intervalos verificados por Mazer (2016), que inventariou diferentes fitofisionomias nessa Unidade de Conservação (Tabela 3.5).

**Tabela 3.5.** Principais classes de densidade de indivíduos de espécies de interesse agroextrativistas para a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, com valores estimados no presente estudo e inventário realizado por Mazer (2016).

Espécie	Presente estudo		(MAZER, 2016)	
	Percentual de área da RDSNG	Densidade (ind ha <sup>-1</sup> )	Cobertura do solo	Densidade média (ind ha <sup>-1</sup> )
<i>A. crassiflora</i>	31%	11 a 15	Cerrado sentido restrito	8,6
	36,60%	6 a 10	Cerrado antropizado	4,8
	22,60%	1 a 5	Cerrado rupestre	0,9
<i>C. brasiliense</i>	90,80%	21 a 25	Cerrado sentido restrito	23,3
	-	-	Cerrado antropizado	14,7
	-	-	Cerrado rupestre	5,6
<i>H. speciosa</i>	62,70%	16 a 18	Cerrado sentido restrito	36,2
	30,60%	11 a 15	Cerrado antropizado	12
			Cerrado rupestre	12,3
<i>E. dysenterica</i>	47,20%	61 a 69	Cerrado sentido restrito	23,3
	24,20%	51 a 60	Cerrado antropizado	48,8
	13%	41 a 50	Cerrado rupestre	4
	-	-	Áreas em regeneração natural, anteriormente destinadas ao plantio de eucalipto	89,6
<i>T. subvelutina</i>	27,30%	21 a 25	Cerrado sentido restrito	12,9
	13,50%	16 a 20	Cerrado antropizado	23,4
	10,40%	11 a 15	Cerrado rupestre	108,4

Mazer (2016) encontrou os maiores valores médios de 108,4 ind ha<sup>-1</sup> para *T. subvelutina* em áreas de cerrado rupestre. Já no presente estudo o modelo apresentou subestimativa para estas áreas, com maior precisão das estimativas em áreas de chapada, onde a espécie ocorre em menor densidade quando comparada às rampas de colúvio. Em terrenos declivosos de cerrado, principalmente em unidades geomorfológicas rampa de colúvio (Figura 3.10), onde a espécie ocorre em elevadas densidades, esse modelo gerou a baixa previsibilidade, subestimando a densidade real, similar ao encontrado em estudos com outros organismos (RULLENS et al. 2021).



**Figura 3.10.** Unidade geomorfológica nominada rampa de colúvio, com alta densidade de indivíduos de *T. subvelutina* (sinalizados em vermelho), no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), Estado de Minas Gerais, Brasil (Autoria: Jonas Alex Antônio de Souza).

A projeção da ocorrência de espécies e densidade populacional é fundamental na ciência da conservação e gestão da natureza (RULLENS et al., 2021; SCHWAGER; BERG, 2021) e no planejamento territorial. Quando valores contínuos de adequabilidade são associados às informações geográficas, a densidade populacional é potencializada em sua utilização, pois dentro do mesmo território torna-se possível identificar sua variabilidade, além de ser indispensável para quantificação do potencial produtivo de espécies na região. A abundância das espécies é amplamente demandada em estudos ecológicos, no entanto, são frequentemente reduzidas à presença e ausência nos estudos que utilizam Modelos de Nichos Ecológicos (MNE) ou de distribuição de espécies (MDE) (YU; COOPER; INFANTE, 2020).

## 5.1. Incertezas associadas aos modelos de densidade

Para utilização dos modelos de densidade apresentados é necessário a compreensão das incertezas associadas aos valores preditos. Para estimativas das densidades foram utilizados *scores* de adequabilidade de ocorrência obtidos por meio de modelos de nichos ecológicos ou de adequabilidade de ocorrência, definidos com auxílio de 19 variáveis bioclimáticas e 4 geomorfológicas. Embora muitas variáveis ambientais e ecológicas não conhecidas podem estar envolvidas na ocorrência de uma espécie, foi assumido que essas 23 variáveis contêm informações de parte do seu nicho ecológico, suficientes para prever com precisão a distribuição. No entanto, é possível que em áreas com alta adequabilidade de ocorrência não haja registro da espécie, o que pode ser devido a fatores tais como barreiras à dispersão, uso pretérito do solo ou degradação do ambiente, que afetam as relações ecológicas que determinam a ocorrência da espécie (ELITH; FRANKLIN, 2017). Similarmente, em ambiente com baixa adequabilidade é possível ocorrer a espécie, porém, com condições não favoráveis ao desenvolvimento dos indivíduos.

Estas incertezas são transferidas aos modelos de densidade, de modo que algumas regiões com alta adequabilidade de ocorrência não ocorre necessariamente alta densidade de indivíduos (RULLENS et al., 2021). Adicionalmente, diferentes métodos, processos e intensidade de amostragem no inventário florestal podem influenciar nas incertezas associadas aos modelos de densidade.

Mesmo com essas incertezas foi encontrada forte relação de proporcionalidade entre as variáveis para quatro espécies, e moderada relação para uma espécie, demonstrando que é possível e confiável a espacialização da densidade de indivíduos a partir de modelos de nichos ecológicos.

## 6. CONCLUSÃO

Foi verificado forte relação de proporcionalidade dos valores de densidade de indivíduos com a adequabilidade de ocorrência para quatro espécies de interesse agroextrativista (*A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *E. dysenterica* e *H. speciosa*) e moderada relação para *T. subvelutina*, apresentando comportamento exponencial e forte aumento da densidade nos maiores valores de adequabilidade.

A estimativa da densidade de indivíduos por meio de modelos de distribuição de espécies resulta em modelos confiáveis para esta relação, servindo como fonte de

informação fundamental para o planejamento de ações para conservação, manejo e restauração ecológica da vegetação nativa.

A relação da densidade e adequabilidade de ocorrência apresenta alta variação das métricas de ajuste e precisão para diferentes espécies e diferentes algoritmos, tornando necessário a avaliação de diferentes combinações dos algoritmos para modelagem da distribuição de espécies e modelo de estimativa de densidade em cada contexto ambiental e para cada espécie. No TCARP as combinações que apresentaram melhores ajustes foram: modelo exponencial com os algoritmos GLM para *A. crassiflora* e MARS para *T. subvelutina*, modelo de Curtis com os algoritmos ANN para *C. brasiliense*, CTA para *E. dysenterica* e GLM para *H. speciosa*.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AFONSO, S. R.; ÂNGELO, H. Mercado dos produtos florestais não-madeireiros do Cerrado brasileiro. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 3, p. 315-326, 2009.
- BEM DIVERSO. 2017. **Geoportal Bem Diverso: mapa estrutural e funcional da paisagem e de uso dos solos para a região do TC Alto Rio Pardo**. Brasília-DF. Disponível em: <<https://bemdiverso.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=4378836a7a4b42fb98280f707e70d13a>>. Acesso em: 2 jan. 2022.
- BRUZINGA, J. S. et al. Métodos de amostragem para quantificar indivíduos adultos do pequi *Caryocar brasiliense* Cambess. **Ciência Rural**, v. 44, n. 8, p. 1341–1347, 2014.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2013. 605p
- ELITH J, FRANKLIN J. **Species distribution modeling**. Encyclopedia of Biodiversity, 2017.
- ESPÍNOLA, L. A.; JÚLIO JUNIOR, H. F. Espécies invasoras: conceitos, modelos e atributos. **Interciência**, v. 32, n. 9, p. 580-585, 2007.
- FEELEY, K. J.; REHM, E. M. Amazon's vulnerability to climate change heightened by deforestation and man-made dispersal barriers. **Global Change Biology**, v. 18, n. 12, p. 3606–3614, 2012
- FOIS, M. et al. Using species distribution models at local scale to guide the search of poorly known species: Review, methodological issues and future directions. **Ecological Modelling**, v. 385, p. 124–132, 2018.
- HAO, T. et al. review of evidence about use and performance of species distribution modelling ensembles like BIOMOD. **Diversity and Distributions**, v. 25, n. 5, p. 839–852, 2019.
- HEWITT, J. E.; THRUSH, S. F.; DAYTON, P. D. Habitat variation, species diversity and ecological functioning in a marine system. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 366, n. 1–2, p. 116-122, 2008.
- INMET. **BDMEP - Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 8 jan. 2020.
- JĘDRZEJEWSKI, W. et al. Estimating large carnivore populations at global scale based on spatial predictions of density and distribution – Application to the jaguar (*Panthera onca*). **PLOS ONE**, v. 13, n. 3, 2018.

- JIMÉNEZ-VALVERDE, A. et al. Species Distribution Models Do Not Account for Abundance: The Case of Arthropods on Terceira Island. **Annales Zoologici Fennici**, v. 46, n. 6, p. 451-464, 2009.
- MARTINS, J. F. C. et al. Modelagem hipsométrica de povoamentos de acácia-negra usando linguagem de programação Julia. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 6, n. 2, p. 133-152, 2021.
- MACEDO, C. E. N. 2019. 119 f. **Distribución potencial de especies forestales amenazadas y endémicas raras mediante modelos de nicho ecológico**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Lima, Peru.
- MAZER, S. 2016. 54 f. **Potencial produtivo de plantas de importância socioeconômica da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, Minas Gerais, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Brasília-DF.
- MEINHOLD, K.; DUMENU, W. K.; DARR, D. Connecting rural non-timber forest product collectors to global markets: The case of baobab (*Adansonia digitata* L.). **Forest Policy and Economics**, v. 134, p. 102628, 2022.
- MORRISON, M. L.; MARCOT, B.; MANNAN, W. **Wildlife-habitat relationships: Concepts and applications**. 3. ed. Washington, DC: Island Press, 2006.
- PETERSON, A. T. et al. **Ecological Niches and Geographic Distributions**. Nueva Jersey, US: Princeton University Press, 2011.
- ROCHA, C. C. **Estimativa de volume, biomassa e carbono de vegetação lenhosa de floresta estacional no estado de Goiás**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 80 f, 2011.
- RULLENS, V. et al. Combined species occurrence and density predictions to improve marine spatial management. **Ocean & Coastal Management**, v. 209, 2021.
- SCHWAGER, P.; BERG, C. Remote sensing variables improve species distribution models for alpine plant species. **Basic and Applied Ecology**, v. 54, p. 1-13, 2021.
- SHACKLETON, C. M.; DE VOS, A. How many people globally actually use non-timber forest products? **Forest Policy and Economics**, v. 135, p. 102659, 2022
- SILLERO, N. et al. Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. **Ecological Modelling**, v. 456, p. 109671, 2021.
- SOARES, T. S. et al. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 845–854, 2004.
- SOBERÓN, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. **Ecology Letters**, v. 10, n. 12, p. 1115–1123, 2007.
- STEUR, G. et al. Exploring relationships between abundance of non-timber forest product species and tropical forest plant diversity. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107202, 2021.

TALUKDAR, N. R. et al. Importance of Non-Timber Forest Products (NTFPs) in rural livelihood: A study in Patharia Hills Reserve Forest, northeast India. **Trees, Forests and People**, v. 3, p. 100042, 2021.

THIERSCH, C. R. et al. Estimativa da relação hipsométrica em clones de Eucalyptus sp. com o modelo de curtis ajustado por métodos bayesianos empíricos. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 01–08, 2013.

THRUSH, S. E.; HEWITT, J. E.; PRIDMORE, R. D. Patterns in the spatial arrangements of polychaetes and bivalves in intertidal sandflats. **Marine Biology**, v. 102, p. 529–535, 1989.

VIEIRA, L. T. A. et al. Reviewing the Cerrado's limits, flora distribution patterns, and conservation status for policy decisions. **Land Use Policy**, v. 115, p. 106038, 2022.

WAHLÉN, C. B. Opportunities for making the invisible visible: Towards an improved understanding of the economic contributions of NTFPs. **Forest Policy and Economics**, v. 84, p. 11–19, 2017.

WAUCHOPE-DRUMM, M. et al. Using a species distribution model to guide NSW surveys of the long-footed potoroo (*Potorous longipes*). **Austral Ecology**, v. 45, n. 1, p. 15–26, 2020.

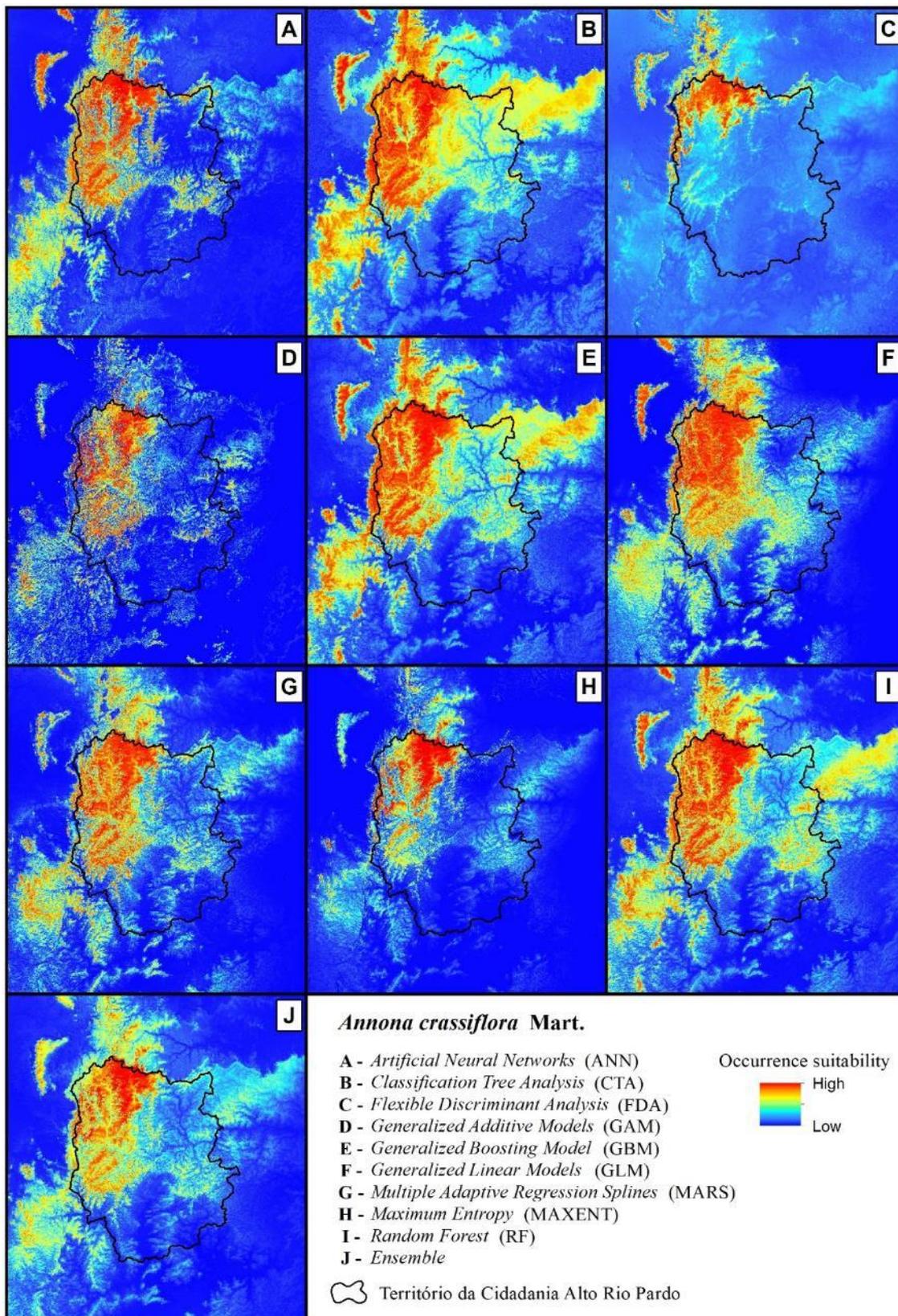
WEBER, M. M. et al. Is there a correlation between abundance and environmental suitability derived from ecological niche modelling? A meta-analysis. **Ecography**, v. 40, n. 7, p. 817–828, 2017.

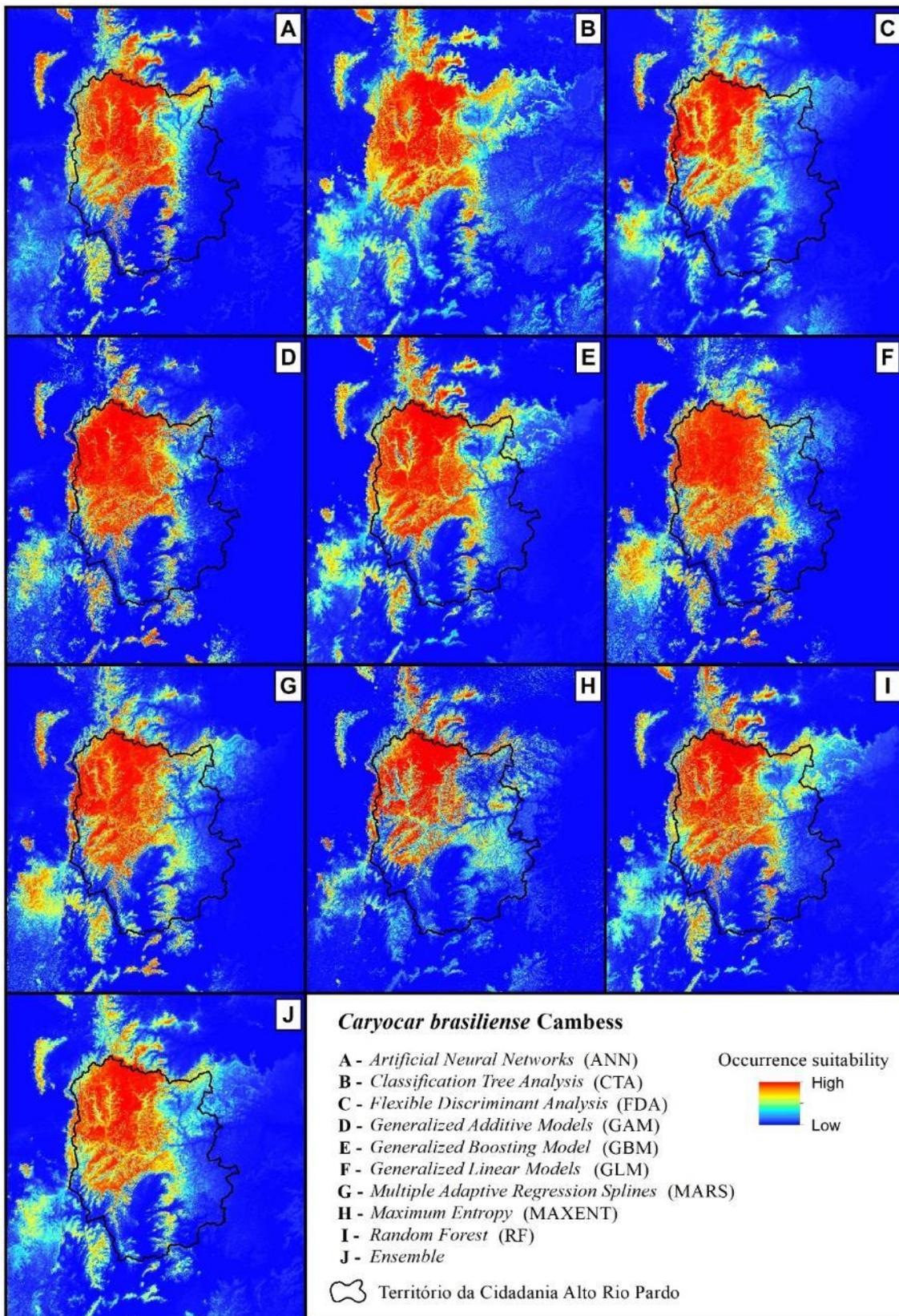
YADAV, S. et al. Above-ground biomass estimation of Indian tropical forests using X band Pol-InSAR and Random Forest. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 21, p. 100462, 2021.

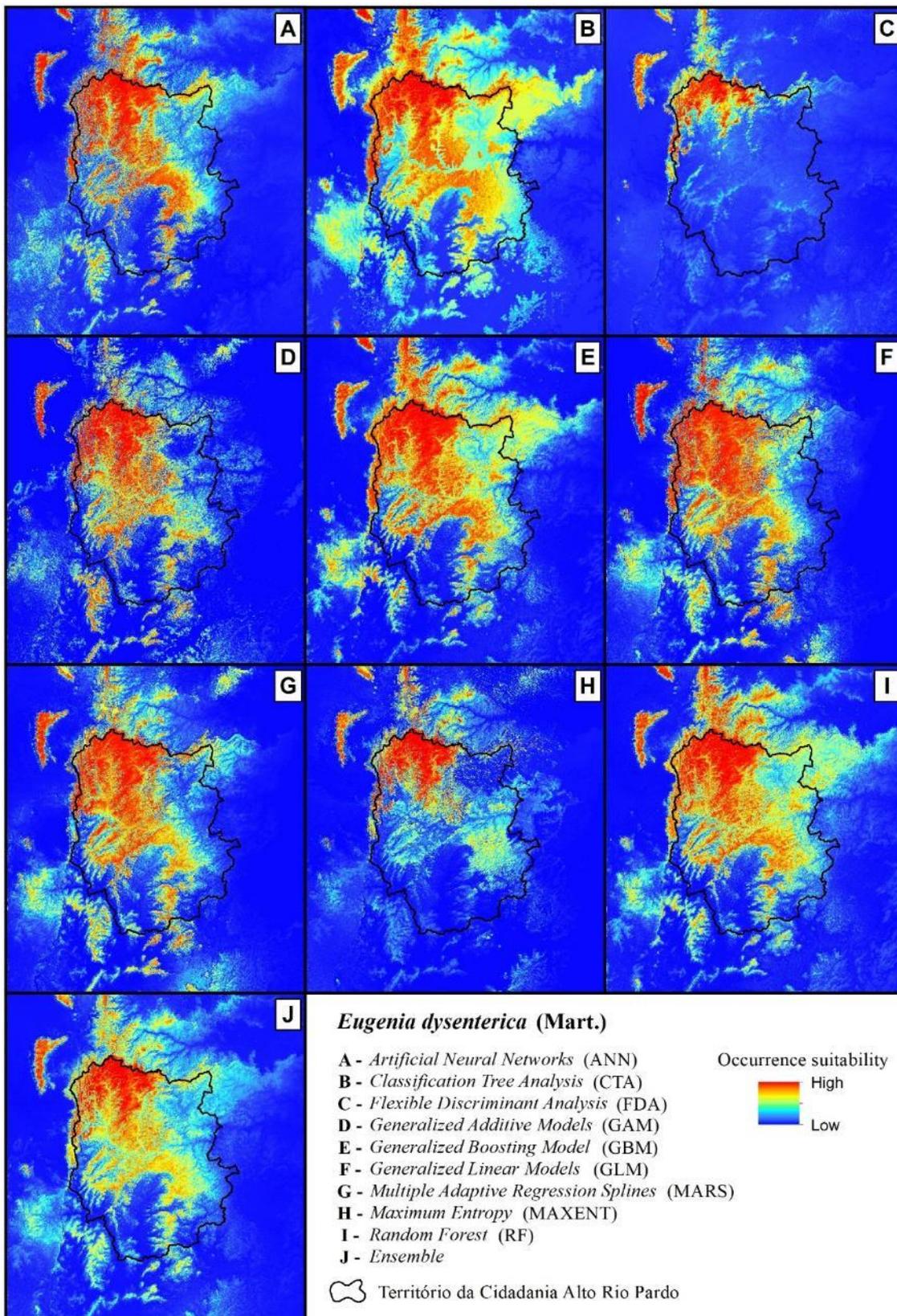
YU, H.; COOPER, A. R.; INFANTE, D. M. Improving species distribution model predictive accuracy using species abundance: Application with boosted regression trees. **Ecological Modelling**, v. 432, 2020.

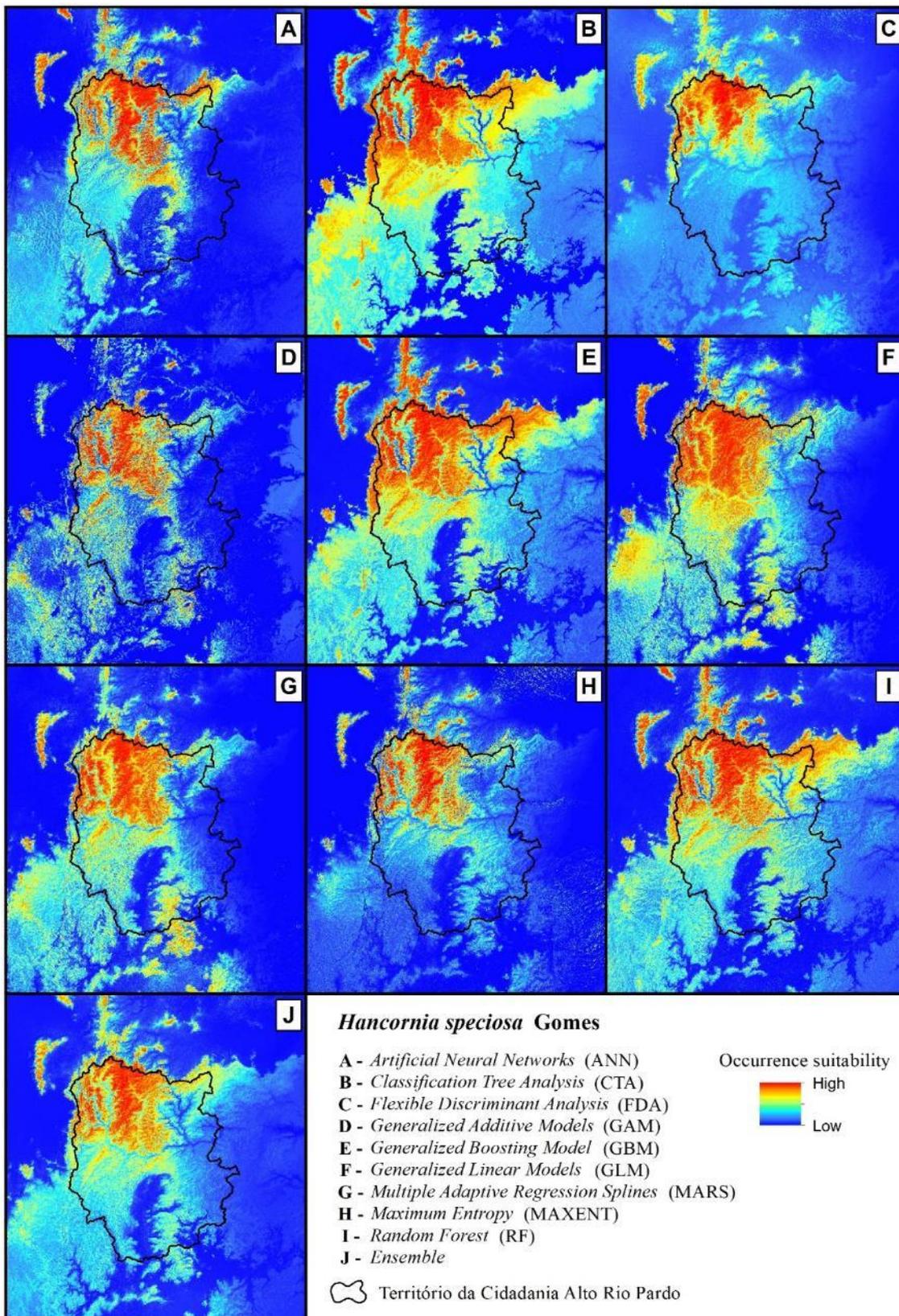
ZURELL, D. et al. A standard protocol for reporting species distribution models. **Ecography**, v. 43, n. 9, p. 1261–1277, 2020.

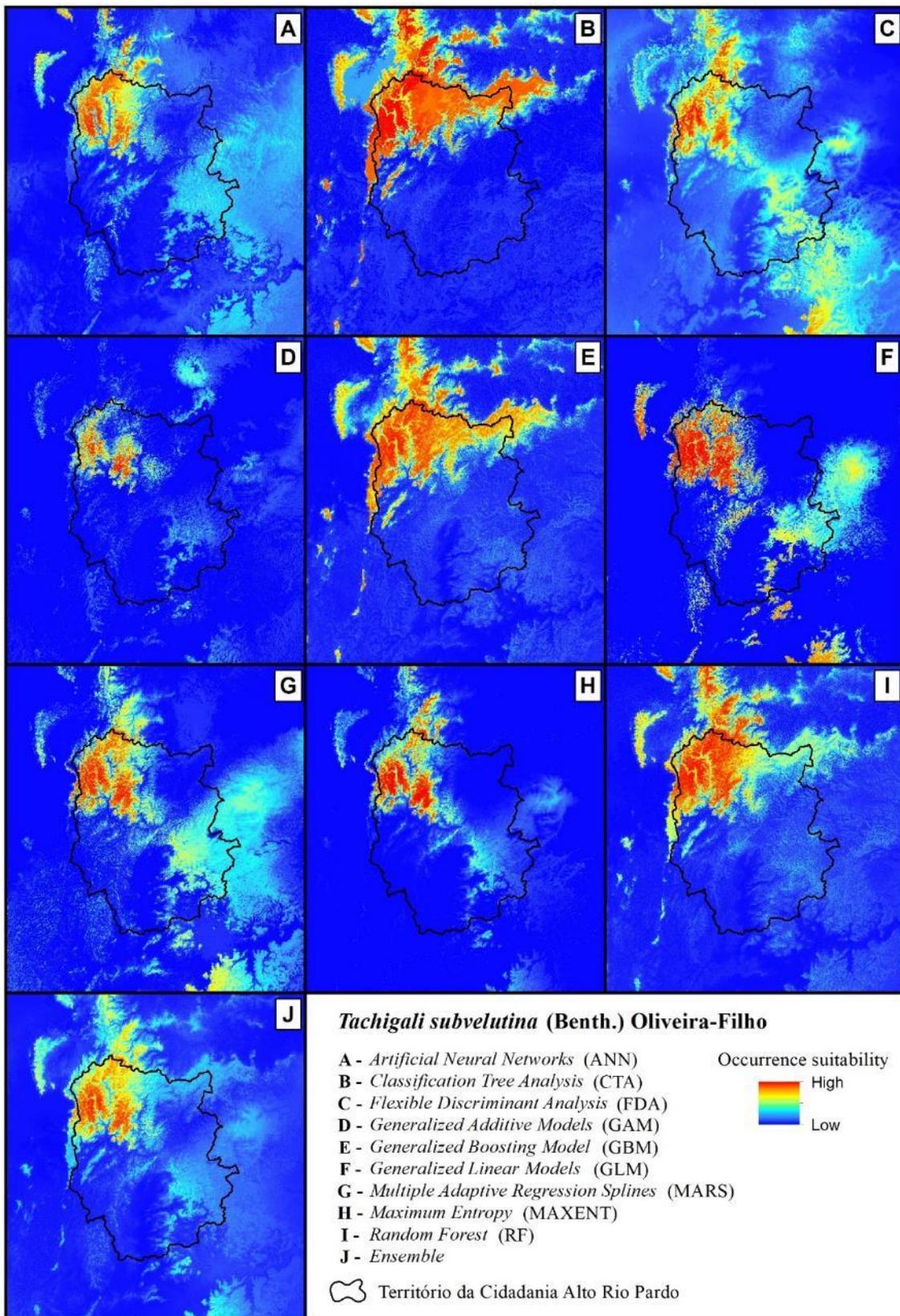
**APÊNDICE I.** Modelos de adequabilidade de ocorrência para cinco espécies de interesse agroextrativista, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil, ajustados a partir de 10 algoritmos (A, B, C, D, E, F, G, H, I e J).











## APÊNDICE II



Registro em alto de chapada com vista para vegetação do Cerrado



Alocação de parcelas em áreas de cerrado sentido restrito



Furtos de Cagaita em área de Cerrado



Cerrado sentido restrito conservado em área de chapada



Coleta de dados/fruto de Cagaita



Medição da circunferência a 0,3 m do solo em um indivíduo de Cagaita



Medição da circunferência a 0,3 m do solo em um indivíduo de Mangaba



Alocação de parcelas em áreas de cerrado sentido restrito

## CAPÍTULO IV

### POTÊNCIAL PRODUTIVO DE ESPÉCIES DE INTERESSE AGROEXTRATIVISTA NO CERRADO: CENÁRIO ATUAL VERSUS POTENCIAL

#### RESUMO

No Brasil, a região Norte do Estado de Minas Gerais se destaca por sua base agroextrativista e pelas populações tradicionais que ali existem, a exemplo dos povos Geraizeiros, que atuam no manejo dos recursos naturais baseado na diversidade produtiva da vegetação do Cerrado. Desde a década de 70, as áreas naturais de Cerrado nessa região vêm sendo substituídas por outros usos, principalmente por extensas plantações de eucaliptos, que ocupam, em especial, as áreas de chapada, que são naturalmente cobertas por formações savânicas do Cerrado. Portanto, dada a importância do setor agroextrativista na região e considerando os impactos que vêm ocorrendo nas áreas naturais do Cerrado, é importante o desenvolvimento de pesquisas científicas, que busquem quantificar a produtividade de espécies de interesse agroextrativistas, visando subsidiar planejamento de ações de conservação, manejo e restauração das paisagens naturais do Cerrado para a manutenção da qualidade de vida dos povos e populações tradicionais que sobrevivem dos recursos naturais da região. O objetivo do presente estudo foi estimar e comparar o potencial produtivo do agroextrativismo local em dois cenários, ou seja, o cenário atual, que considera a presente cobertura do solo, e o cenário potencial, que considera todo o gradiente de adequabilidade de ocorrência de espécies de interesse agroextrativista no TCARP. O estudo foi desenvolvido no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), localizado no extremo Norte do Estado de Minas Gerais, Brasil. Foram contempladas uma espécie de uso madeireiro (*Tachigali subvelutina*) e quatro de uso não madeireiro (*A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *E. dysenterica* e *H. speciosa*). Para estimativa do potencial produtivo foram utilizados *rasters* com estimativa do gradiente de densidade dos indivíduos de espécies de interesse agroextrativistas, associados aos dados secundários de produtividade por indivíduo. Os dados foram sobrepostos com mapas de cobertura do solo e geomorfológico, de modo a gerar resultados para diferentes cenários. Foi verificado que *Eugenia dysenterica* possui o maior potencial produtivo de frutos no TCARP (254.884 t), seguida de *Caryocar brasiliense* (62.688t), *Annona crassiflora* (2.574 t) e *Hancornia speciosa* (1.325 t), e que o potencial produtivo destas espécies foi fortemente reduzido pelo desmatamento da vegetação nativa para a silvicultura de eucalipto. A espécie *T. subvelutina*, de interesse madeireiro apresentou potencial produtivo de 13.697,5 m<sup>3</sup> para o TCARP e por ser amplamente utilizada pelas comunidades em nível familiar, necessita de estudos mais aprimorados sobre técnicas de manejo e nível de exploração sustentável. Ao considerar apenas as quatro espécies de uso não madeireiro, estima-se um potencial de retorno econômico bruto de 903,8 (R\$/ha/ano), o que totaliza em 425.778.818,5 (R\$/ano) para o TCARP, se considerado a estabilidade produtiva das espécies.

**Palavras-chave:** agroextrativismo; produtividade; cobertura do solo; Alto Rio Pardo.

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é conhecido por sua alta biodiversidade, mas está altamente ameaçado pelo elevado desmatamento sob influência antrópica (VIEIRA et al., 2022). O uso da terra associado a falta de planejamento compromete a capacidade de sustentação dos sistemas naturais, submetendo-os à degradação ambiental e à perda de produtividade, promovendo prejuízos econômicos e sociais para as comunidades que dependem deste ambiente conservado (SOUZA et al., 2019).

No âmbito do bioma Cerrado, o norte do Estado de Minas Gerais se destaca por ser uma região de base agroextrativista e habitada por povos e populações tradicionais, como as comunidades Geraizeiras, que manejam os recursos naturais baseado na diversidade produtiva (DAYRELL, 1998). O Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), caracterizado por forte atuação de comunidades Geraizeiras, se destaca na região pelas atividades de manejo que ocorrem principalmente em áreas de Cerrado, situadas nas chapadas. Nas chapadas predominam os terrenos planos a suave ondulados (declividade entre 0% e 3%) (IBGE, 2009), que propiciam a mecanização. Conseqüentemente, essas áreas são alvos de desmatamentos e alterações do uso do solo para outras atividades, como a silvicultura (CARRARA, 2007).

Enquanto em 1970, 85% da região ainda estavam cobertas pela vegetação nativa do Cerrado, em 1990 apenas 32% do território ainda mantinha a cobertura original (DAYRELL, 1998). Especialmente na década de 1980, houve por parte do governo brasileiro, o incentivo à política de concessão e arrendamento de terras devolutas, a preços reduzidos, sobretudo, nas chapadas do Vale do Jequitinhonha, Noroeste e Norte de Minas Gerais, com o objetivo de melhorar o desenvolvimento econômico nessas regiões. Naquela época, o governo viabilizou a apropriação de extensas áreas para a expansão da silvicultura de eucalipto, com redução de riscos nos investimentos (BRITO, 2006; NOGUEIRA, 2009; SILVA, 2012). Este processo impactou de forma significativa a paisagem local e a cultura Geraizeira (LIMA, 2016), pois não houve, por parte do governo, qualquer interesse em incentivar o desenvolvimento econômico do potencial agroextrativista existente no local, aliado ao fortalecimento do manejo florestal comunitário por comunidades tradicionais.

Cerca de quatro décadas depois, diversas áreas que foram anteriormente ocupadas por eucaliptos, foram abandonadas, pois as atividades silviculturais foram interrompidas. É o caso de várias áreas no TCARP (BEM DIVERSO, 2021). Com o abandono dessas

áreas nas chapadas, o que se vê atualmente são extensas áreas com solo exposto e áreas cobertas predominantemente por gramíneas. O processo de regeneração natural da vegetação nativa do Cerrado nesses locais é ainda bastante lento, devido, principalmente, as restritas condições edafoclimáticas. Porém, embora muitas áreas de chapada tenham sido desmatadas, de modo geral, a região dispõe de remanescentes de vegetação nativa com elevado potencial para o manejo sustentável.

Simon et al. (2013) destacaram a preocupação regional quanto a perda de espécies nativas do Cerrado que ainda são amplamente utilizadas e que fazem parte da cultura e desenvolvimento de comunidades que se beneficiam da biodiversidade local.

Diante dessa situação, estudos relacionados a modelagem da distribuição, densidade e do potencial produtivo de determinadas espécies de interesse agroextrativista, são fundamentais para fornecer, não apenas informações que possam fomentar iniciativas de investimentos para o uso sustentável da biodiversidade do Cerrado por comunidades tradicionais, mas também informações que possam subsidiar com dados quantitativos os projetos de desenvolvimento socioeconômico e ambiental, relacionados a bioeconomia, além da restauração ecológica da vegetação nativa.

Métodos para estimar a produtividade de produtos florestais não madeireiros (PFNM) são essenciais para gerar previsões de retorno econômico com a exploração sustentável desses recursos e, conseqüentemente, contribuir com a valorização da vegetação em pé (PALUDO; SILVA; REIS, 2012). Além disso, a elaboração de mapas de densidade também é fundamental na estimativa do potencial produtivo de PFNMs de uma região, pois, permite conhecer a espacialização da ocorrência das espécies, e também, contribuir na indicação de áreas mais produtivas. Ainda existe uma lacuna de informações que combinam mudanças da cobertura da terra, políticas ambientais e modelagens que possam fundamentar a base econômica em uma região, como em ambientes semiáridos, iguais aos encontrados no Norte de Minas Gerais (STAN et al., 2015).

Neste sentido, modelos preditivos de distribuição espacial, capazes de regionalizar áreas com potencial adequação de ocorrência de espécies florestais, em função de variáveis ambientais e, também, de registros de ocorrência da espécie de interesse, podem subsidiar estudos relacionados ao potencial produtivo. Porém, estimar a distribuição potencial nem sempre é igual a estimar a distribuição no tempo atual (IKEGAMI; JENKINS, 2018), já que diversos fatores, como desmatamento e alteração do uso do solo podem restringir a ocorrência de determinada espécie.

Para refinar as áreas de potencial ocorrência e torná-las representativas do cenário atual, algumas estratégias podem ser utilizadas, como, por exemplo, a sobreposição de mapas de uso do solo e mapas geomorfológicos como fase de pós-modelagem.

Diante do exposto, nosso estudo busca responder as seguintes perguntas relacionadas aos cenários atual e potencial, sobre a produtividade de espécies de interesse agroextrativista no TCARP:

- a) Qual a principal classe de uso do solo que sobrepõe as áreas de maior potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativista no TCARP?
- b) Qual o potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativista no TCARP, considerando a presente cobertura do solo?

## **2. OBJETIVO**

Comparar o potencial produtivo de frutos e madeira das principais plantas nativas exploradas no Território da Cidadania Alto Rio Pardo em dois cenários, o atual que considera a cobertura do solo e o potencial que considera todo o gradiente de adequabilidade de ocorrência dessas espécies.

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1. Área de estudo**

O estudo foi desenvolvido no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), localizado no extremo Norte de Minas Gerais. Esta região é caracterizada pela cultura Geraizeira e pelo agroextrativismo praticado pelas comunidades tradicionais. O TCARP, com 15.323 km<sup>2</sup>, contempla quinze municípios, compreendendo parte das bacias hidrográficas do Alto Rio Pardo e Alto Jequitinhonha, região caracterizada pela presença de vegetação do bioma Cerrado e transição para o bioma Caatinga.

O clima da região é variado (ALVARES et al., 2013), com predomínio do clima subtropical com invernos secos e verão temperado (Cwb) na região norte e noroeste do Território, em áreas de chapadas e nas regiões de maiores altitudes na Serra Geral do Espinhaço (1.700 m); clima tropical com verões secos (As) na região centro-sul localizada na depressão do vale do Jequitinhonha e planícies fluviais, com altitude média de 700 m; e clima subtropical úmido com invernos secos e verões quentes (Cwa) nas regiões com altitude média de 1.000 m, distribuído por todo o Território em áreas de chapadas. A

temperatura média no TCARP é de 24,2°C e precipitação média anual de 795 mm (INMET, 2020).

### **3.2. Espécies contempladas**

Foram selecionadas espécies de interesse agroextrativista amplamente utilizadas pelas comunidades Geraizeiras no TCARP, uma de interesse madeireiro [*Tachigali subvelutina* (Benth.)] e quatro alimentícias [*Annona crassiflora* Mart., *Caryocar brasiliense* Cambess, *Eugenia dysenterica* (Mart.) e *Hancornia speciosa* Gomes]. A descrição detalhada das espécies está apresentada no item 4.2, presente no Capítulo I deste documento.

### **3.3. Estimativa do potencial produtivo das cinco espécies de interesse agroextrativista no TCARP**

Para estimativa do potencial produtivo no TCARP foram utilizadas como informações de entrada os *rasters* com valores contínuos de densidade de indivíduos das espécies de interesse agroextrativistas produzidas no Capítulo III deste documento, com resultados apresentados no item 4.3.

As informações espacializadas referentes ao número de indivíduos por unidade de área foram associadas aos dados secundários de produção de frutos por indivíduo. Os dados se referem a estudos de produtividade de frutos de populações nativas em Minas Gerais e Goiás para *H. speciosa* (LIMA; SCARIOT; GIROLDO, 2013), *C. brasiliense* (W. OLIVEIRA & A. SCARIOT, não publicado), *E. dysenterica* (SCARIOT; RIBEIRO, 2015) e *A. crassiflora* (A. SCARIOT, dados não publicados), compilados e descritos por Mazer (2016), em estudo realizado na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, situada na porção Noroeste do TCARP.

A produção anual de frutos por planta, registrada para a espécie *H. speciosa* ocorre em diferentes quantidades, de acordo com duas principais classes diamétricas, ou seja, i) 86,6% dos indivíduos com *DAS* (diâmetro da árvore tomado a 0,30 m do nível do solo) entre 5 cm e 17 cm produzem, em média,  $15,4 \pm 14$  frutos por planta; e ii) 100% dos indivíduos com  $DAS \geq 17$  cm produzem, em média,  $72,1 \pm 47,1$  frutos por planta, sendo necessários 50 frutos para obtenção de 1 kg *in natura* (LIMA; SCARIOT; GIROLDO, 2013). De acordo com o inventário realizado no TCARP, o *DAS* médio foi de 10,8 cm para *H. speciosa*, com 82,5% dos indivíduos com  $DAS < 17$  cm e 17,5% de indivíduos com  $DAS \geq 17$  cm. Desta forma, o potencial produtivo utilizado no presente estudo foi

calculado pela ponderação dos valores de produção de frutos de *H. speciosa* em relação à frequência relativa para as duas classes diamétricas (Eq. 1).

$$PP = D \times (15,4 \times 0,866 \times 0,825 + 72,1 \times 0,175) \quad (\text{Eq. 1})$$

em que PP = Potencial produtivo (frutos ha<sup>-1</sup>); D = Densidade (ind ha<sup>-1</sup>)

A produção anual de frutos de *C. brasiliense*, em média, é de 34,6 ± 13,4 frutos por planta em indivíduos com DAS entre 8 cm e 25 cm, e de 139 ± 21,6 frutos por planta em indivíduos com DAS ≥ 25 cm (W. OLIVEIRA & A. SCARIOT, não publicado), citado por (MAZER, 2016). São necessários 4,65 frutos para obtenção de 1 kg *in natura* (OLIVEIRA; SCORIOT, 2010). No presente estudo, o DAS médio para *C. brasiliense* foi de 17,3 cm, com 79,3% dos indivíduos com DAS < 25 cm e 20,7% dos indivíduos com DAS ≥ 25 cm. Portanto, o potencial produtivo no presente estudo foi calculado pela ponderação dos valores de produção de frutos de *C. brasiliense* em relação frequência relativa para as duas classes diamétricas (Eq. 2).

$$PP = D \times (34,6 \times 0,793 + 139 \times 0,207) \quad (\text{Eq 2})$$

em que PP = Potencial produtivo (frutos ha<sup>-1</sup>); D = Densidade (ind ha<sup>-1</sup>).

*E. dysenterica* produz anualmente entre 500 e 2.000 frutos por indivíduo, sendo necessários 58,8 frutos para obtenção de 1 kg *in natura*, pois um fruto pesa entre 14 g e 20 g (SCARIOT; RIBEIRO, 2015). Neste caso foi considerado a média do número de frutos para os cálculos de produtividade, ou seja, 1.250 frutos por indivíduo, de modo a evitar superestimativa da produtividade.

A produção anual de frutos de *A. crassiflora* varia de acordo com o grau de conservação do Cerrado, com média de 1,39 ± 2,69 frutos por indivíduo em áreas de Cerrado conservado e 3,86 ± 5,18 em áreas de Cerrado alterado (A. SCARIOT, não publicado), citado por (MAZER, 2016). Mazer (2016) também cita que, em média, os frutos de *A. crassiflora* pesam 2 kg *in natura*. No presente estudo adotou-se o valor correspondente a áreas de Cerrado conservado de 1,39 frutos por indivíduo, visando gerar um cenário conservador para o potencial produtivo e evitar possíveis superestimativas.

A espécie *T. subvelutina*, em estudo desenvolvido na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, inserida no TCARP, possui, em média, volume madeireiro de 0,0091 m<sup>3</sup> por indivíduo em áreas de Cerrado alterado. Este

valor foi levantado pela razão entre a produção madeireira por hectare e número de indivíduos por hectare inventariados por Mazer (2016). Neste mesmo trabalho o volume madeireiro foi obtido por meio da equação volumétrica desenvolvida para espécies de cerrado sentido restrito (REZENDE et al., 2006). Para estimativa do potencial produtivo de madeira para a espécie *T. subvelutina* no presente estudo, foi adotado o volume médio por indivíduo para áreas de Cerrado alterado ( $0,0091 \text{ m}^3 \text{ ind}^{-1}$ ), visto o histórico de degradação do Cerrado por agentes externos ao Território.

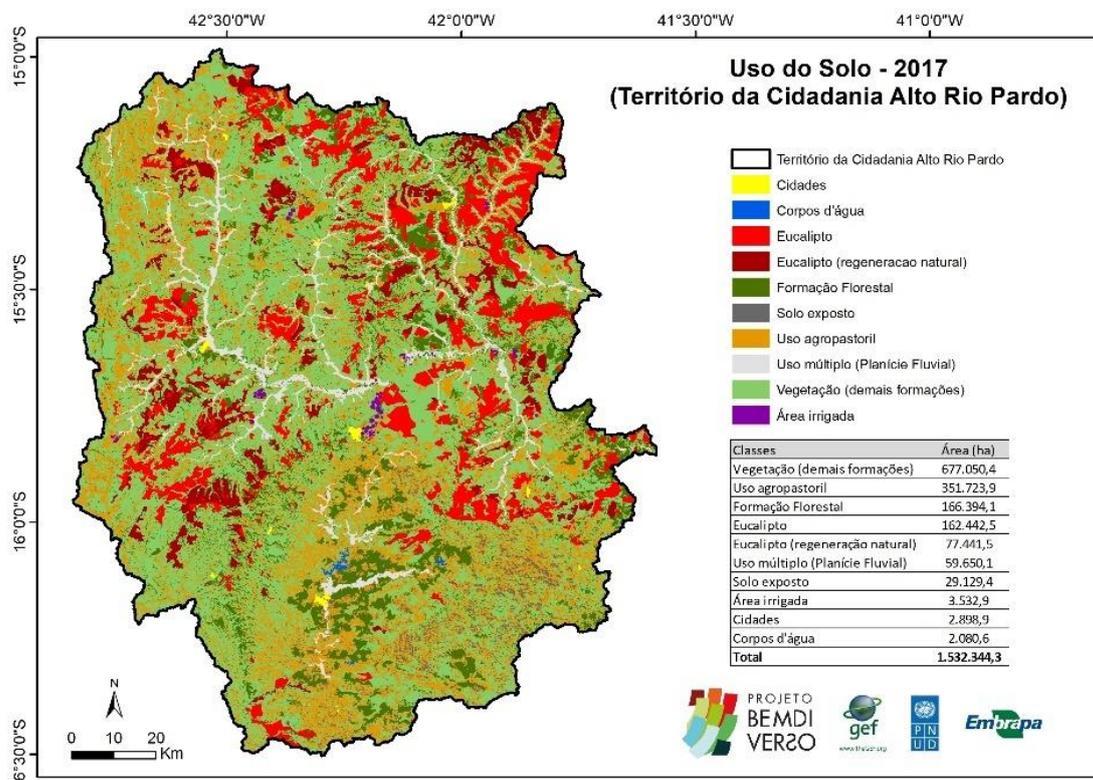
Ao final, para geração dos mapas de produtividade, foi realizada a multiplicação dos valores de produtividade por indivíduo e o valor dos pixels do *raster* referente a estimativa de densidade por hectare de cada espécie, posteriormente multiplicado pela área total de cada classe de densidade.

### **3.4. Mapas de uso dos solos e geomorfológico**

O TCARP é caracterizado por fortes alterações e degradação das paisagens naturais, principalmente, a partir de 1970, com transformações socioambientais substanciais, em parte devido o arrendamento de áreas públicas para empresas cultivarem eucalipto para produção de carvão vegetal para as indústrias siderúrgicas (CARRARA, 2007; DAYRELL, 1998; NOGUEIRA, 2009). Diversas áreas de chapada tiveram a interrupção das práticas silviculturais no monocultivo de eucalipto e se encontram em processo de regeneração natural. Portanto, foram utilizadas duas bases de dados relacionadas à cobertura do solo e uma base relacionada às unidades geomorfológicas para sobreposição com os mapas do potencial produtivo das espécies, sendo estas as informações mais detalhadas encontradas para a região.

O mapa de cobertura do solo do TCARP foi confeccionado por meio da classificação supervisionada de imagens Landsat 8 sensor OLI para o ano 2017, utilizando o método da máxima verossimilhança em nível de pixel e posterior edição matricial em fase de pós-processamento (BEM DIVERSO, 2017). As classes utilizadas no mapeamento foram: corpos d'água (cursos hídricos, tanques de peixe e poços); Eucalipto (área de silvicultura com plantio de eucalipto); Eucalipto - regeneração natural (área com remanescentes de eucalipto em diferentes densidades e diferentes idades do abandono das atividades de plantio e condução, com elevada cobertura herbácea); formação florestal (vegetação de formação florestal, compreendendo mata de galeria, mata ciliar e mata seca); vegetação - demais formações (compreende vegetações de formação savânica e campestre); área irrigada (área com plantios de manga e café irrigados); uso agropastoril

(áreas de uso agropastoril); área de uso múltiplo - planície fluvial (áreas planas correspondentes às planícies fluviais, destinadas a múltiplos usos por comunidades tradicionais incluindo pastagem, agricultura diversificada, produção de hortaliças, sistemas agroflorestais, entre outros), solo exposto (áreas de solo exposto e mineradas) e cidades (centros urbanos) (Figura 4.1).

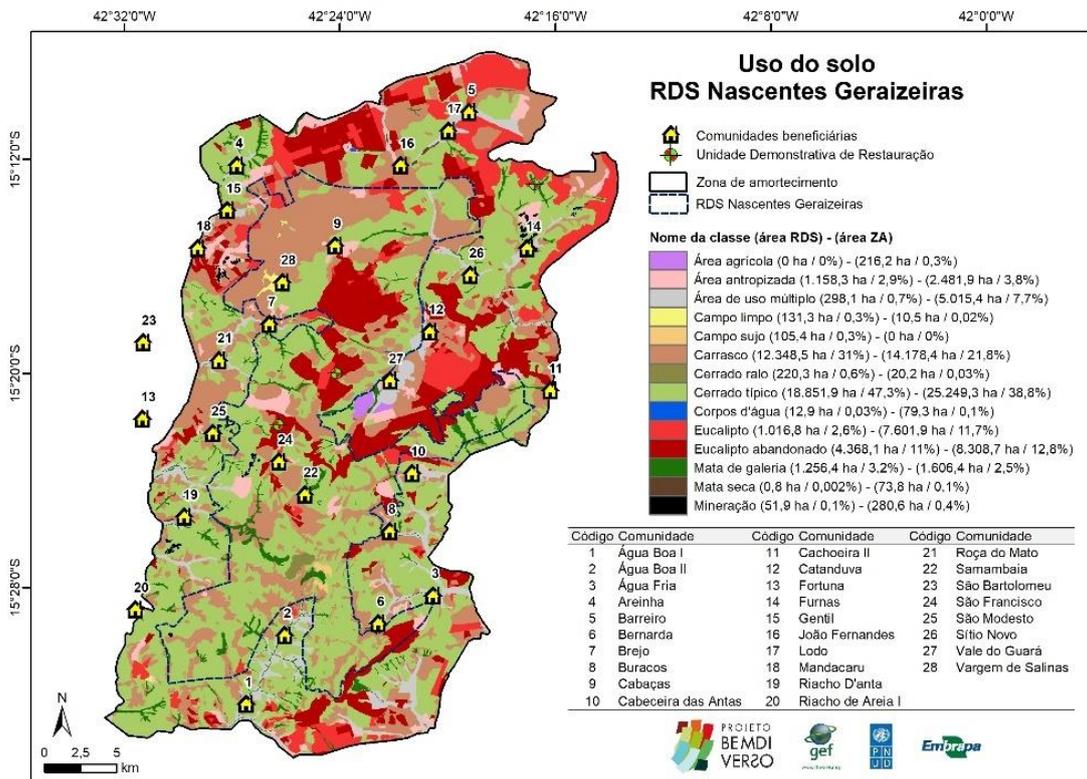


**Figura 4.1.** Mapa de cobertura do solo do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil (BEM DIVERSO, 2017).

Os registros fotográficos que representam algumas das classes de uso e cobertura do solo estão no Apêndice I.

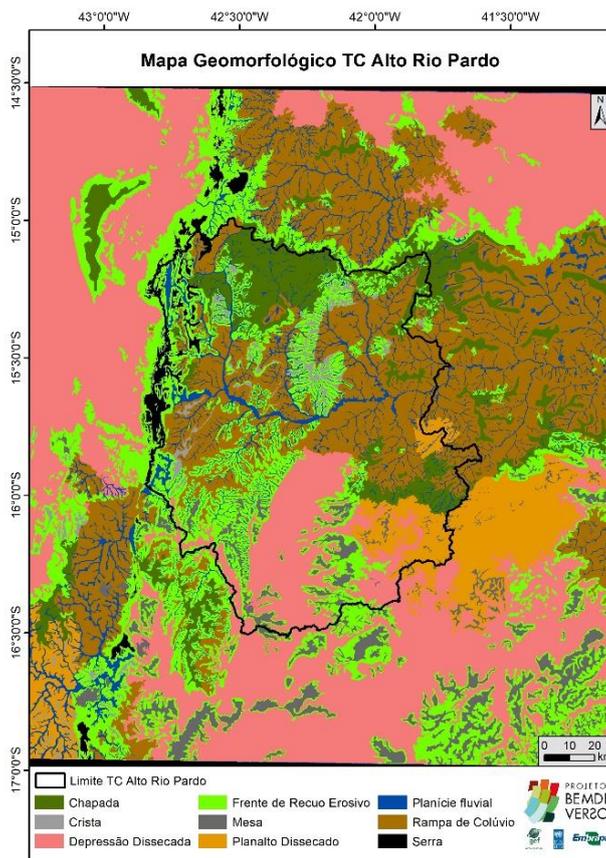
A segunda base de dados de cobertura do solo é o mapa produzido para os limites da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, inserida ao Noroeste do TCARP (BEM DIVERSO, 2020). Apesar da RDSNG estar dentro dos limites do TCARP, também foi utilizada e sobreposta ao mapa que contempla toda a área de estudo, pois carrega maior nível de detalhamento pela escala de confecção do mapa em uma região que apresentou as maiores classes de adequabilidade de ocorrência e de densidade das espécies-alvo (Capítulos II e III deste documento). Esse mapa foi confeccionado por meio da classificação supervisionada de imagens Sentinel 2 para o ano 2019, utilizando o método da máxima verossimilhança em nível de pixel e posterior edição matricial em

fase de pós-processamento. O mapa foi elaborado considerando 14 classes de cobertura do solo: área agrícola, área antropizada, área de uso múltiplo, campo limpo, campo sujo, carrasco, cerrado ralo, cerrado típico, corpos d'água, eucalipto, eucalipto abandonado (área com remanescentes de eucalipto em diferentes densidades e diferentes idades do abandono das atividades de plantio e condução, com elevada cobertura), mata de galeria, mata seca e áreas de mineração (Figura 4.2.). As diferentes fitofisionomias foram agrupadas em nível de formação da vegetação (florestal, savânica e campestre) para ficar no mesmo nível de detalhe do mapa que abrange toda a área do TCARP.



**Figura 4.2.** Mapa de cobertura do solo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, no Estado de Minas Gerais, Brasil (BEM DIVERSO, 2020).

A terceira base de dados é o mapa geomorfológico elaborado para os limites do TCARP (BEM DIVERSO, 2017). Neste mapa foi utilizado apenas as regiões classificadas como planície fluvial, onde as espécies estudadas não ocorrem. O mapa foi produzido por meio da classificação de imagem SRTM e suas derivadas, declividade em graus e curvatura mínima do terreno, dispostas em uma composição colorida com altitude no canal do vermelho (R), declividade no canal do verde (G) e curvatura mínima no canal do azul (B) (Figura 4.3).



**Figura 4.3.** Mapa geomorfológico para os limites do Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil (BEM DIVERSO, 2017).

### 3.5. Potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo, Minas Gerais em diferentes cenários de uso e cobertura da terra

O mapa relacionado ao potencial produtivo do TCARP foi disposto em dois cenários:

- a) Cenário 1: potencial produtivo considerando toda amplitude de adequabilidade de ocorrência das espécies. Neste cenário são utilizadas todas as regiões com adequação bioclimática e geomorfológica para ocorrência das espécies. Este cenário pressupõe um panorama de conservação das paisagens coberto por vegetação nativa que ocorriam naturalmente na região;
- b) Cenário 2: potencial produtivo atual. Considera a cobertura do solo presente como recorte das áreas com remanescentes de vegetação nativa. Neste cenário, as classes em que não ocorrem as espécies foram: áreas de silvicultura de

eucalipto, antigas áreas de silvicultura de eucalipto que ainda não exhibe vegetação nativa regenerada, áreas de uso agropastoril, áreas agrícolas irrigadas, solo exposto, corpos d'água, planícies fluviais, cidades e áreas de formação florestal, nas quais não ocorrem as espécies estudadas (mata de galeria e mata seca).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Potencial produtivo atual de espécies de interesse agroextrativista no Território da Cidadania Alto Rio Pardo

Com base nas estimativas e projeções espaciais do potencial produtivo das espécies de interesse agroextrativista no TCARP, e considerando apenas as áreas ocupadas por formações savânicas, os maiores valores de produtividade de frutos ocorrem na região noroeste do Território e as espécies frutíferas com maior potencial produtivo são *E. dysenterica* com 254.884,4 t, seguida de *C. brasiliense* (62.688,3 t), *A. crassiflora* (2.574,1 t) e *H. speciosa* (1.325,5 t). Já a espécie *T. subvelutina* apresentou um potencial produtivo madeireiro de 13.697,5 m<sup>3</sup>, com os maiores valores também na região Noroeste do TCARP. O fato de *E. dysenterica* produzir elevada quantidade de frutos por árvore (Figura 4.4), podendo chegar a 2.000 frutos (SCARIOT; RIBEIRO, 2015), favorece o elevado potencial produtivo da espécie na região.

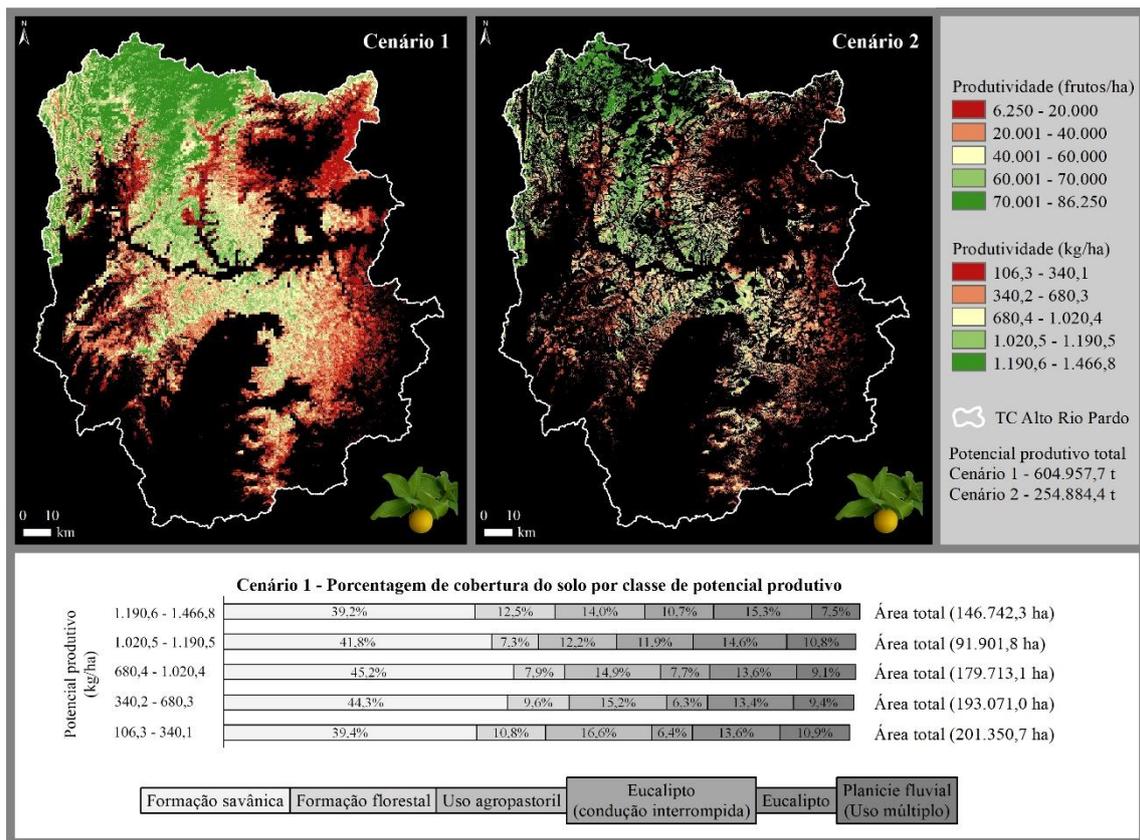


**Figura 4.4.** Frutos maduros de um indivíduo de *E. dysenterica* em área de chapada no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor.

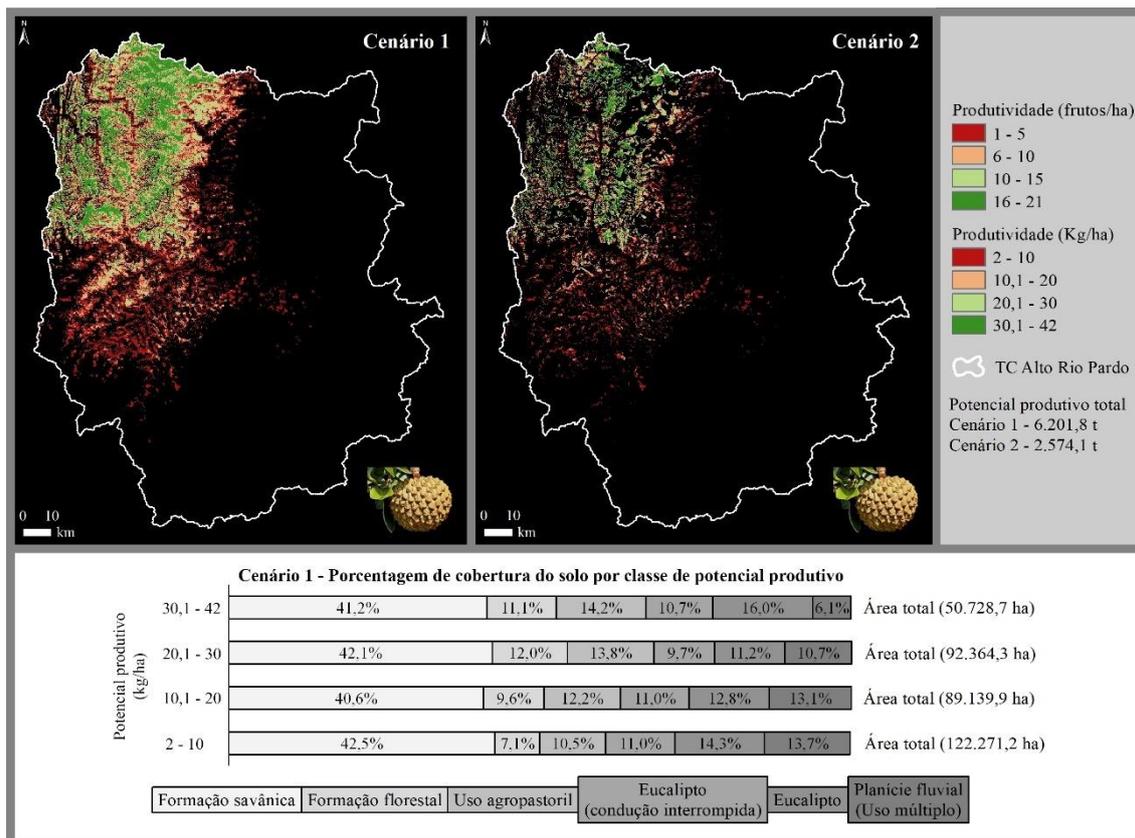
## 4.2. Potencial produtivo em diferentes cenários no TCARP

Para o Cenário 1, que considera todo o gradiente de adequabilidade de ocorrência, ou seja, um panorama de total cobertura natural de vegetação nativa do Cerrado, o potencial produtivo estimado para a *E. dysenterica* no TCARP é de 604.957,7 t de frutos. Comparando este valor com o estimado para o Cenário 2 (cenário atual), que considera a cobertura do solo verifica-se uma redução de 58% de área, totalizando o potencial produtivo atual de 254.844 t (Figura 4.5). A espécie *A. crassiflora* apresentou potencial produtivo para o Cenário 1 de 6.201,8 t de frutos, com redução de 58,3% de área, totalizando o potencial produtivo atual (Cenário 2) de 2.574,1 t (Figura 4.6). A espécie *C. brasiliense* apresentou potencial produtivo para o Cenário 1 de 151.669,2 t de frutos, com redução de 58% de área, totalizando o potencial produtivo atual (Cenário 2) de 62.688,3 t (Figura 4.7). Já a espécie *H. speciosa* apresentou potencial produtivo para o Cenário 1 de 2.949,3 t de frutos, com redução de 55% de área, totalizando o potencial produtivo atual (Cenário 2) de 1.325,5 t (Figura 4.8). E a espécie *T. subvelutina* apresentou potencial produtivo madeireiro para o Cenário 1 de 39.378,2 m<sup>3</sup>, com redução de 55,9% de área, totalizando o potencial produtivo atual (Cenário 2) de 13.697,5 m<sup>3</sup> (Figura 4.9).

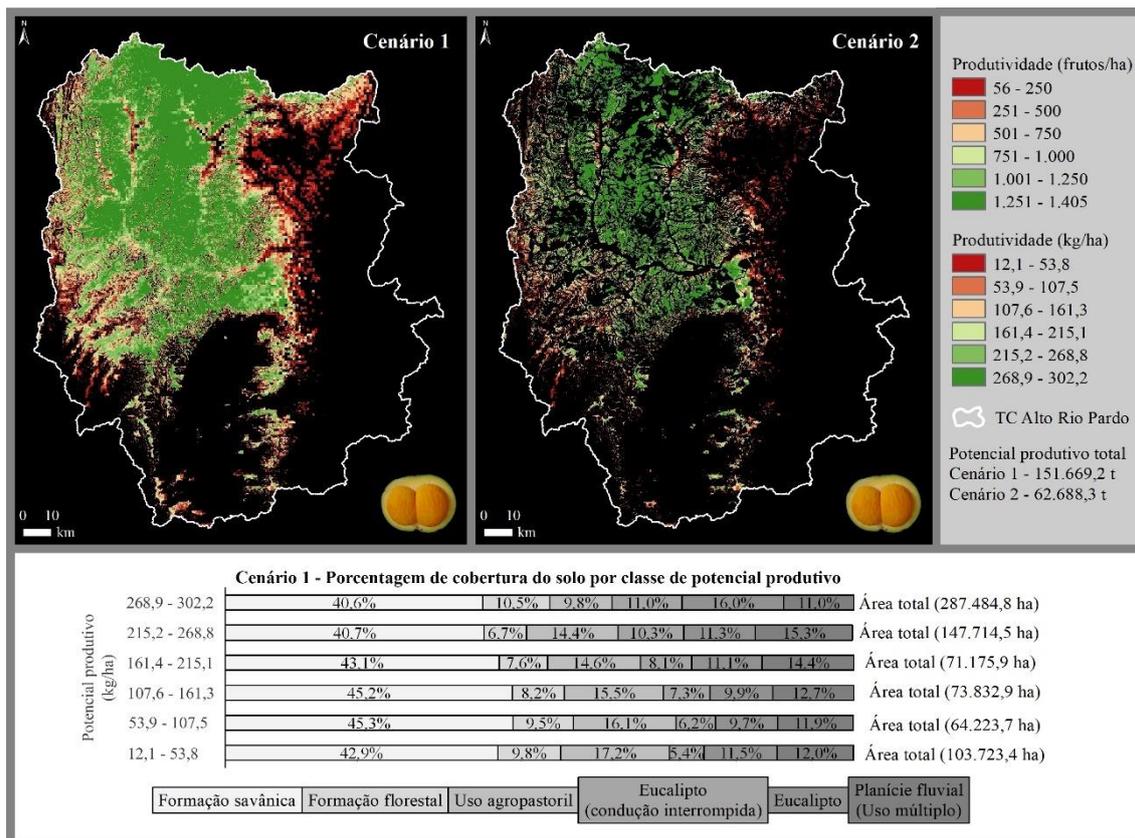
Em relação a porcentagem verificada de redução de áreas pela alteração da cobertura do solo entre os cenários 1 e 2, verificou-se que 22% (179.123,1 ha), 23,9% (84.872,4 ha), 21,9% (163.673,9 ha), 18,8% (130.254,4 ha) e 17,9% (72.439,0 ha), respectivamente para as espécies *E. dysenterica*, *A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *H. speciosa* e *T. subvelutina*, correspondem a áreas de chapada que têm histórico de conversão da cobertura original do Cerrado para plantios de eucalipto, sendo que desta área total, 32,3% (77.520 ha) tiveram cultivo interrompido até o ano 2017.



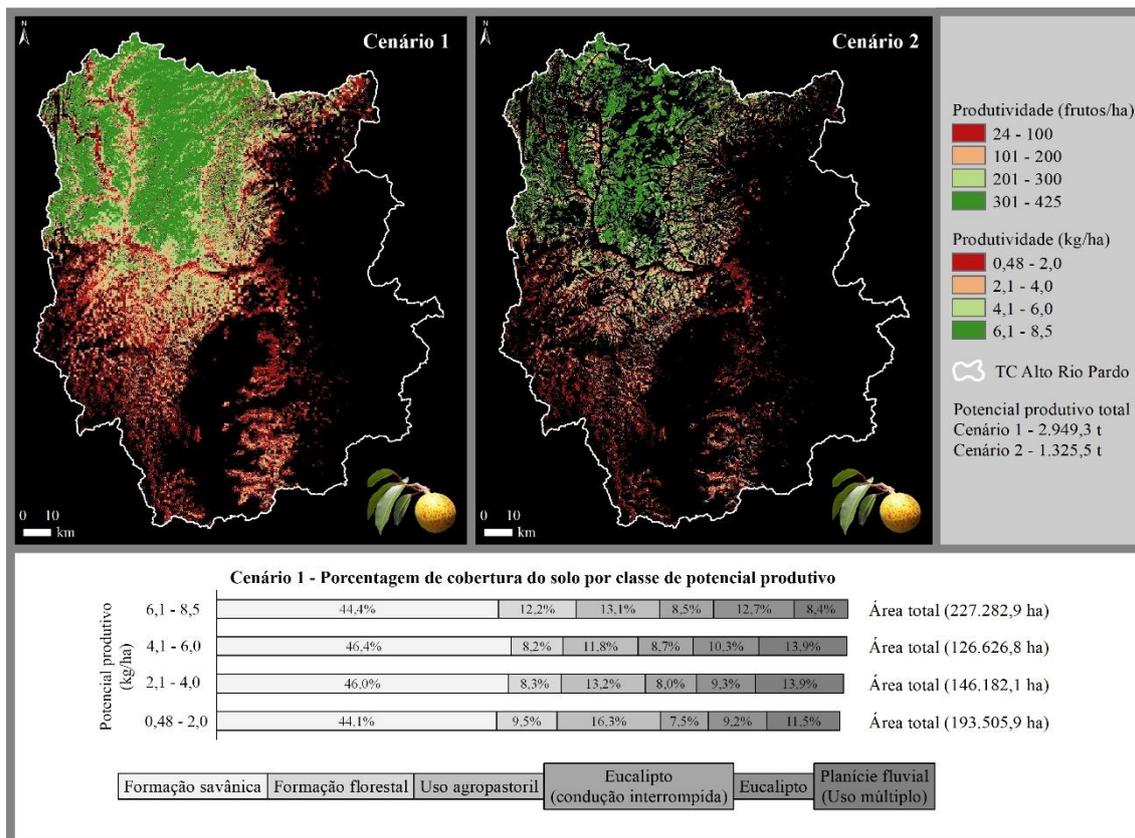
**Figura 4.5.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *E. dysenterica*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor.



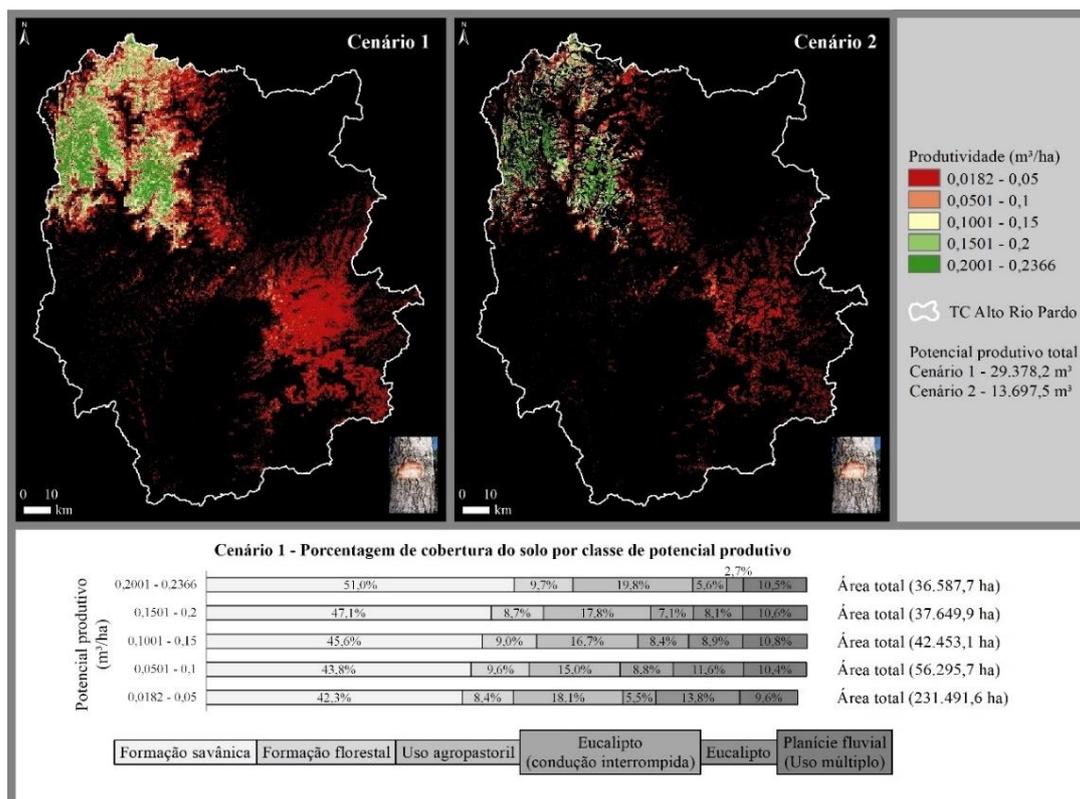
**Figura 4.6.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *A. crassiflora*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor.



**Figura 4.7.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *C. brasiliense*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor.



**Figura 4.8.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *H. speciosa*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor.



**Figura 4.9.** Potencial produtivo de todo horizonte de adequabilidade de ocorrência (Cenário 1) e potencial produtivo considerando as áreas com remanescentes de vegetação nativa de formação savânica (Cenário 2) para *T. subvelutina*, no Território da Cidadania Alto Rio Pardo (TCARP), no Estado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: próprio autor.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Potencial produtivo do Território da Cidadania Alto Rio Pardo

Os resultados demonstram que o TCARP, principalmente a porção Noroeste, possui elevado potencial produtivo das espécies estudadas, mesmo com a redução da cobertura vegetal devido o desmatamento a partir da década de 70, onde extensas áreas de chapadas foram desmatadas para silvicultura de eucalipto (RIBEIRO DE SOUZA; SAUER, 2020), que chegaram a ocupar cerca de 240 mil hectares no TCARP (BEM DIVERSO, 2017). O Território sofreu expressiva redução de área coberta por vegetação nativa, que afetou principalmente as áreas de chapadas, ocupadas por formações savânicas. São nas áreas de chapadas que as cinco espécies, majoritariamente ocorrem, e, portanto, onde ocorre o extrativismo (LIMA et al., 2012).

Este fator relacionado a redução de áreas naturais de formações savânicas do Cerrado é preocupante na região, considerando a elevada redução dos recursos naturais

para o extrativismo, além dos prejuízos relacionados aos bens e serviços ambientais, com extensas áreas degradadas após interrupção da condução dos plantios de eucalipto que provocaram o assoreamento das nascentes situadas próxima das planícies fluviais, causando forte desbalanço hídrico (CARRARA, 2007). Portanto, projetos voltados a restauração ecológica do Cerrado e de manejo sustentável da sociobiodiversidade para programas voltados ao tema bioeconomia, são fundamentais, de modo a praticar maiores valores quantitativos do potencial produtivo das espécies. No Cenário 1, que considera toda amplitude de adequação de ocorrência das espécies, o potencial produtivo do TCARP para as espécies de uso não madeireiro (*A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *E. dysenterica* e *H. speciosa*) pode ser até 2,4 vezes maior que o cenário atual (Cenário 2).

A espécie de uso madeireiro *T. subvelutina* é amplamente utilizada pelas comunidades em nível familiar, porém, a apresenta baixa densidade e dominância relativa quando comparada com outras espécies em área de Cerrado em chapada no Norte de Minas (LIMA et al., 2012), o que pode condizer em menor volume quando comparado as outras espécies, porém apresenta características físicas atrativas para sua utilização madeireira (NOGUEIRA, 2013). Nesta região, *T. subvelutina* ocorre em elevadas densidades em áreas específicas de cerrado localizadas em terrenos declivosos, principalmente em unidades geomorfológicas nominadas como rampa de colúvio, sendo estas regiões mais apropriadas para o manejo da espécie.

## **5.2. Incertezas associadas às estimativas do potencial produtivo**

A utilização das informações relacionadas ao potencial produtivo das espécies de interesse agroextrativistas para o TCARP necessita da compreensão das incertezas associadas ao método utilizado. Primeiramente, a produtividade foi calculada considerando as estimativas de densidade projetadas por meio de modelos de distribuição de espécies, fundamentados em 19 variáveis bioclimáticas e 4 geomorfológicas. Isto implica que apesar de inúmeras variáveis ambientais e ecológicas não conhecidas serem responsáveis pela ocorrência de uma espécie, assumimos que as 23 variáveis utilizadas carregam informações de parte do seu nicho ecológico, suficientes para prever com precisão a distribuição das espécies, além das incertezas assumidas pelos coeficientes de ajuste e precisão da relação entre as variáveis densidade e adequabilidade de ocorrência. Outro fator importante a ser considerado é a irregularidade anual na produção de frutos

de espécies nativas (BRAGA et al., 2021; BRUZINGA, 2017; FERREIRA et al., 2015; LIMA, 2016).

Por outro lado, temos a estimativa do cenário relacionado ao potencial produtivo atual, que considera apenas as áreas com cobertura do solo com vegetação nativa de formação savânica, deste modo, desconsiderando pastagens arborizadas, onde é comum haver indivíduos remanescentes, principalmente de pequi (*C. brasiliense*), comumente mantida em áreas onde ocorreu a supressão da vegetação nativa. Também foram desconsideradas aquelas áreas em que houve interrupção da condução dos plantios de eucalipto na década de 80 e 90, e que se encontram abandonadas e que apresenta indivíduos regenerantes de algumas espécies, como a Cagaita (*E. dysenterica*), conforme constatado por Mazer (2016), que registrou a presença de 89,6 ind ha<sup>-1</sup> nessas áreas.

### **5.3. Comparativo dos valores brutos da rentabilidade econômica do agroextrativismo e silvicultura de eucalipto**

Diante do contexto relacionado ao potencial produtivo e aptidão do Território da Cidadania Alto Rio Pardo para práticas relacionadas ao agroextrativismo, e em contrapartida, o incentivo governamental na década de 70 de projetos silviculturais no monocultivo de eucalipto, torna-se importante uma breve abordagem relacionada à divergência de retorno econômico entre as diferentes atividades.

Considerando o preço de comercialização dos produtos do Cerrado em uma Cooperativa no Norte de Minas para o ano de 2016 (LIMA, 2016), foi verificado que o araticum (*A. crassiflora*) é comercializado entre R\$ 2,00 e R\$ 2,50 por unidade de fruto na Cooperativa, chegando a R\$ 5,00 na feira.

O pequi (*C. brasiliense*) é comercializado a R\$ 1,50/dúzia de fruto com casca na Cooperativa e a R\$ 2,00/dúzia de fruto sem casca na feira. Cerca de 70,6% dos frutos de pequi apresentam um putâmen, podendo chegar até quatro (LUZ et al., 2011). Neste caso consideramos apenas um putâmen por fruto. Já a cagaita (*E. dysenterica*) é comercializada a R\$ 1,50/kg.

A mangaba (*H. speciosa*) é comercializada entre R\$ 1,50/kg a R\$ 5,20 o quilograma, sendo considerado a média de 3,35 neste estudo (CONAB, 2021).

Já em relação ao contexto relacionado a silvicultura de eucalipto na Região Norte de Minas, Coelho et al. (2016) verificaram que a região é caracterizada pela produção de carvão para siderurgia, com ciclos de cultivo em sistema talhadia de 14 anos, sendo uma

colheita aos 7 anos e outra colheita referente a condução de rebrotas com menor produtividade aos 14 anos totais. Nesta região o rendimento médio de produção de lenha é de 171,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> no primeiro ciclo e de 136,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> no segundo ciclo. Em média, o incremento em volume de madeira é de 22 m<sup>3</sup> ha ano.

O rendimento gravimétrico médio na conversão de lenha para carvão é de 25% para fornos tipo rabo-quente (OLIVEIRA et al., 2013), que predominam na região (Figura 4.10). Já o preço de comercialização do carvão praticado na região é de R\$ 120,00 por metro cúbico, conforme relato de produtores no ano de 2018.



**Figura 4.10.** Fornos tipo rabo-quente para produção de carvão de eucalipto no município de São João do Paraíso, Minas Gerais (Território Alto Rio Pardo). Fonte: próprio autor.

Com os valores brutos supracitados e o gradiente de produtividade das espécies de interesse agroextrativista é possível comparar o rendimento das diferentes práticas de uso da terra. A silvicultura de eucalipto resulta em rendimento bruto de 660,00 (R\$/ha/ano), desconsiderando os custos de produção (implantação silvicultural, condução e manutenção, condução de rebrota, colheita, carvoejamento, entre outros).

Para o agroextrativismo na região foram consideradas apenas quatro espécies frutíferas (*A. crassiflora*, *C. brasiliense*, *E. dysenterica* e *H. speciosa*). Assim, considerando os limites sustentáveis de 40% para a colheita de *C. brasiliense* (OLIVEIRA; SCORIOT, 2010), de 90% para *H. speciosa* (LIMA; SCARIOT, 2010) e de 70% para *A. crassiflora* e *E. dysenterica*, que não possuem limites sustentáveis de colheita definidos, mas, cujo percentual é praticado pela COOCREARP (Cooperativa de Agricultores Coletores e Restauradores Agroextrativistas do Alto Rio Pardo) na colheita de sementes do Cerrado, foi constatado que o rendimento bruto relacionado a exploração das quatro espécies é de 903,8 (R\$/ha/ano), sendo 12,1 (R\$/ha/ano) referentes a

*A. crassiflora*, 826,6 (R\$/ha/ano) referentes a *E. dysenterica*, 51,5 (R\$/ha/ano) referentes a *C. brasiliense* e 13,6 (R\$/ha/ano) referentes a *H. speciosa*.

Para os quantitativos encontrados foram consideradas as áreas que tiveram sobreposição do uso do solo com cultivo de eucalipto, e considerada a estabilidade anual de produção, que não ocorre no caso da vegetação nativa. Além disso foi considerado o menor valor praticado para frutos *in natura* que podem ter seu preço aumentado com a venda em feiras e comércio local, além do beneficiamento destes produtos como polpas e no caso do pequi também a produção de óleo e castanha.

Outros fatores devem ser considerados nesta comparação, pois o agroextrativismo também proporciona a conservação dos bens e serviços associados a vegetação nativa, principalmente nas áreas de chapadas, que desempenham papel fundamental nos ciclos hidrológicos, por se tratar de zonas de recarga hídrica e de barreira para a lixiviação e assoreamento das nascentes localizadas nas regiões próximas das planícies fluviais.

No TCARP há cerca de 240.000 ha de chapadas com silvicultura de eucalipto, o que pode gerar um rendimento bruto na produção de carvão vegetal de 158.400.000 (R\$/ano). Esta mesma área coberta por vegetação nativa poderia gerar um retorno de médio de 216.912.000 (R\$/ano) somente com a exploração das quatro espécies frutíferas.

Ao considerar o potencial produtivo atual (Cenário 2) das quatro espécies frutíferas em toda extensão do TCARP, é verificado a capacidade de se produzir 254.884,4 t de frutos de *E. dysenterica*, 2.574,1 t de *A. crassiflora*, 62.688,3 t de *C. brasiliense* e 1.325,5 t de *H. speciosa* o que totaliza um rendimento bruto de R\$ 425.778.818,5 (R\$/ano).

No entanto, para a promoção da conservação e do desenvolvimento sustentável com base no uso da biodiversidade na região, faz-se ainda necessário o investimento na melhoria e ampliação das condições e processos da coleta de frutos, do seu processamento em agroindústrias de base comunitária e na promoção de acesso ao mercado. As ações desencadeadas pelo Projeto Bem Diverso, uma parceria entre a Embrapa, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e o Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF) nesse sentido, denotaram a capacidade local das comunidades em se adequarem às conformidades exigidas para a regularização dos empreendimentos e da comercialização dos produtos processados e sua inserção em mercados locais, quer institucionais ou privados (SEVILHA et al., 2021). Considerando o potencial produtivo da região, como apresentado por este estudo, a manutenção do treinamento dessas comunidades no manejo e processamento de produtos da biodiversidade, o desenvolvimento de novos produtos, a

promoção da facilitação do escoamento da produção e da inserção dos produtos processados em mercados regionalizados é de fundamental importância para garantir a sustentabilidade dessas atividades e das comunidades envolvidas com o extrativismo, bem como a conservação, manejo e restauração de áreas para fins extrativistas.

## 6. CONCLUSÃO

As áreas com maior potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativista e que possuem substituição da vegetação nativa, correspondem, em sua maior parte às áreas que foram ocupadas pela silvicultura de eucalipto.

*E. Dysenterica*, *C. brasiliense*, *A. crassiflora* e *H. speciosa* apresentam nessa ordem, os maiores potenciais produtivos não madeireiro na região do TCARP, respectivamente, 254.884,4 t, 62.688,3 t, 2.574,1 t e 1.325,5 t.

A espécie *T. subvelutina*, de interesse madeireiro apresentou potencial produtivo de 13.697,5 m<sup>3</sup> para o TCARP e por ser amplamente utilizada pelas comunidades em nível familiar, necessita de estudos mais aprimorados sobre técnicas de manejo e nível de exploração sustentável.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Propostas metodológicas para estimativa do potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativistas são de fundamental importância, pois servem como subsídio para o planejamento estratégico regional e como aporte de banco de informações para projetos governamentais ou não governamentais de desenvolvimento socioeconômico e ambiental, com objetivos que favoreçam as práticas culturais e a aptidão local.

O método proposto traz uma abordagem para atender escalas locais e regionais, fundamentado na estimativa da produtividade pela projeção do gradiente de adequabilidade de ocorrência associado às diferentes densidades. No entanto, por se tratar de espécies nativas, a precisão dos modelos pode sofrer alterações significativas entre espécies, devendo ser cautelosamente avaliados, caso a caso. Por outro lado, alternativas de melhoria dos modelos foram identificadas e podem ser consideradas em estudos futuros.

Primeiramente, a coleta de dados ao ser realizada de forma estratificada por classes de adequabilidade de ocorrência foi considerada uma escolha assertiva, devido melhor leitura dos modelos no comportamento exponencial da relação

adequabilidade/densidade, com observações contempladas em toda amplitude de adequabilidade de ocorrência. No entanto, ao realizar a média dos valores de todas as parcelas de cada classe de adequabilidade de ocorrência, este procedimento reduziu o grau de liberdade dos modelos e isso deve ser considerado para melhoria dos parâmetros de ajuste e precisão. Se em cada classe de adequabilidade houver grupos de parcelas que representem a densidade de indivíduos em regiões distintas, isso poderá garantir melhor robustez estatística dos modelos, conseqüentemente melhorar a precisão. Por outro lado, os resultados encontrados no estudo demonstram confiabilidade das estimativas de acordo com os parâmetros de ajuste e precisão, sendo recomendados a utilização do método, e os resultados podem ser utilizados no planejamento e em políticas públicas voltados ao uso sustentável e conservação da sociobiodiversidade.

Métodos que utilizam informações de alta resolução espacial podem gerar resultados adequados às escalas local e regional, de grande importância para subsidiar o planejamento mais detalhado do território, principalmente em situações que envolvem a exploração dos recursos e os meios de vida de povos e comunidades tradicionais.

Já em relação ao contexto socioeconômico e ambiental do TCARP, paralelamente aos processos de alteração do uso e cobertura do solo, houveram iniciativas de retomada do Território por parte das comunidades tradicionais após o desmatamento de extensas áreas na década de 80, com a criação do Centro de Agricultura Alternativa do Norte de Minas (CAA/NM), que é uma organização composta e administrada, em sua maioria, por agricultores familiares da região, na busca da valorização da cultura tradicional Norte-Mineira e fortalecimento de atividades de base agroecológica e manejo sustentável da agrobiodiversidade. Posteriormente, com apoio do CAA, foi fundada a Cooperativa dos Agricultores Familiares e Agroextrativistas Grande Sertão (CGS), como parte do processo de busca de alternativas para geração de renda e fortalecimento da economia local com base na valorização e utilização/processamento de produtos locais, principalmente das espécies nativas (CARRARA, 2007; CARVALHO, 2007).

O TCARP conta com forte mobilização comunitária, intensificada com a chegada, em 2015, do Projeto Bem Diverso, uma parceria entre a Embrapa, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e o Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), que em 2021, foi contemplado com a premiação e reconhecimento da ONU pela implementação de práticas condizentes aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

O Projeto Bem Diverso conta com o propósito de contribuir para a conservação da biodiversidade brasileira, por meio da promoção do seu uso sustentável em paisagens de múltiplos usos, e a inserção de comunidades locais em circuitos bioeconômicos, com a finalidade de agregar valor aos produtos da sociobiodiversidade, por meio de um conjunto de boas práticas em ações de conservação, manejo e restauração da biodiversidade (SEVILHA et al., 2021).

Diferentes atividades foram desenvolvidas pelo Projeto Bem Diverso, que proporcionaram a criação do Grupo de Coletores e Restauradores da RDS Nascentes Geraizeiras, posteriormente formalizada na COOCREARP (Cooperativa de Agricultores Coletores e Restauradores Agroextrativistas do Alto Rio Pardo) que atuam na coleta sustentável e venda de sementes do Cerrado, além de serviços relacionados a restauração ecológica da vegetação nativa, incluindo projetos internos de restauração no próprio TCARP por meio da semeadura direta.

O Projeto Bem Diverso também proporcionou a criação do Centro de Referência em Conservação, Manejo e Restauração do Cerrado no TCARP, vinculada a Escola Família Agrícola Nova Esperança, integrando as práticas agroextrativistas às práticas de ensino junto à estudantes e organizações comunitárias locais. Além disso, o Projeto proporcionou o desenvolvimento de atividades no fortalecimento de organizações comunitárias já existentes no Território, como exemplo, a COOPAAB (Cooperativa de Agricultores Agroextrativistas de Água Boa II) e COOPAV (Cooperativa de Agricultores Familiares Agroextrativistas de Vereda Funda) que atuam no beneficiamento de frutos para venda de polpas e outros derivados.

Todo este complexo de organizações comunitárias voltadas às práticas de ensino e manejo da sociobiodiversidade no TCARP, demonstram a real aptidão do território com trabalhos relacionados ao agroextrativismo e a agricultura familiar, de modo a conservar a biodiversidade e promover o seu uso sustentável. A região Noroeste do TCARP, onde é encontrado os maiores valores do potencial produtivo das espécies, conta com duas unidades de conservação, a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras (RDSNG) e o Parque Estadual de Montezuma. No extremo Oeste do TCARP, está o Parque Estadual de Serra Nova, que contribui para a conservação dos recursos naturais nesta região. Especificamente na RDSNG estão localizadas algumas Cooperativas e unidades de processamento de frutos das espécies estudadas no presente estudo.

De modo geral, quantificar o potencial produtivo de espécies de interesse agroextrativista é de fundamental importância para o manejo das paisagens (MAZER, 2016), e quando esta informação é associada a um gradiente espacializado, permite melhor planejamento do manejo das paisagens, como alocação estratégica de agroindústrias de base comunitária, áreas prioritárias para conservação, manejo e restauração ecológica, além de servir como banco de informações e subsídios para novos projetos governamentais e não governamentais apropriados para o contexto socioeconômico e ambiental de uma região.

## **8. DISPONIBILIZAÇÃO DOS DADOS**

Todo conteúdo geoespacial gerado neste documento foi disponibilizado no Geoportal Bem Diverso ([link de acesso](#)), de forma a promover o livre acesso aos *rasters* com valores contínuos de adequabilidade de ocorrência, densidade e produtividade das espécies contempladas no estudo, e fomentar a utilização das informações para novos desdobramentos de pesquisa e trabalhos técnicos.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil.

**Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BEM DIVERSO. (2017). **Geoportal Bem Diverso: mapa estrutural e funcional da paisagem e de uso dos solos para a região do TC Alto Rio Pardo**. Brasília-DF.

Disponível em:

<<https://bemdiverso.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=4378836a7a4b42fb98280f707e70d13a>>. Acesso em: 5 jan. 2022.

BEM DIVERSO. (2021) **Projeto Bem Diverso: TC Alto Rio Pardo**. Disponível em: <<https://bemdiverso.org.br/onde-atuamos/alto-rio-pardo/>>. Acesso em: 7 jan. 2020.

BEM DIVERSO. (2020). **Geoportal Bem Diverso: mapa de uso dos solos em nível de fitofisionomias para a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras**. Disponível em:

<<https://bemdiverso.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=4378836a7a4b42fb98280f707e70d13a>>. Acesso em: 5 jan. 2022.

BRAGA, R. S. S.; SILVA, K. C. A.; LIMA, N. S.; BARBOSA, R. F. M.; SOUZA, W. M. A. T.; CARNAVAL, T. K. B. A.; SILVA, I. S. F. **Contexto econômico dos frutos de *Hancornia speciosa* Gomes entre os anos de 1986 a 2019**. Editora Científica Digita, p. 110–123, 2021.

BRITO, I. C. B. **Comunidade, território e complexo florestal industrial: o caso de vereda funda, Norte de Minas Gerais**. Montes Claros, MG: Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Social da Universidade Estadual de Montes Claros, 2006.

BRUZINGA, J. S. **Amostragem e predição da produção de frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Cam.)**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília-DF, 2017.

CARRARA, Á. A. **Reconversão agroextrativista - perspectivas e possibilidades para o Norte de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Brasília-DF, 121f, 2007.

CARVALHO, I. S. H. **Potenciais e limitações do uso sustentável da biodiversidade do Cerrado: um estudo de caso da Cooperativa Grande Sertão no Norte de Minas**. 2007. 165 f., il. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

COELHO, R. M.; LEITE, Â. M. P.; LEONEL, M. S.; MATUDA, J. J.; FREITAS, L. C. Avaliação econômica do uso da madeira de eucalipto para diferentes finalidades, na região do Alto Jequitinhonha, MG. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 155-164, 2016.

CONAB. (2021). **Companhia Nacional de Abastecimento: preços de mercado**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/precos>>. Acesso em: 7 jan 2022.

- DAYRELL, C. A. **Geraizeiros e biodiversidade no Norte de Minas: a contribuição da agroecologia e da etnoecologia nos estudos dos agroecossistemas tradicionais**. Dissertação (Maestria em Agroecologia y Desarrollo Rural Sostenible). Universidade Internacional de Andalucia, Sede Ibero Americana de La Rábida. 192f, 1998.
- FERREIRA, G. A.; NAVES, R. V.; CHAVES, L. J.; VELOSO, V. R.; SOUZA, E. R. B. Produção de frutos de populações naturais de pequiheiro no estado de Goiás. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 121–129, 2015.
- IBGE. Coordenação de recursos naturais e estudos ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009.
- IKEGAMI, M.; JENKINS, T. A. R. Estimate global risks of a forest disease under current and future climates using species distribution model and simple thermal model – Pine Wilt disease as a model case. **Forest Ecology and Management**, v. 409, p. 343–352, 2018.
- INMET. **BDMEP - Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 8 jan. 2020.
- LIMA, I. L. P. **Manejo de produtos florestais por agricultores tradicionais visando o enriquecimento de uma paisagem de Cerrado no Norte de Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2016.
- LIMA, I. L. P. et al. Diversidade e uso de plantas do Cerrado em comunidade de Geraizeiros no norte do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 3, p. 675–684, 2012.
- LIMA, I. L. P.; SCARIOT, A. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável da mangaba**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010
- LIMA, I. L. P.; SCARIOT, A.; GIROLDO, A. B. Sustainable harvest of mangaba (*Hancornia speciosa*) fruits in Northern Minas Gerais, Brazil. **Economic Botany**, v. 67, n. 3, p. 234–243, 2013.
- LUZ, G. R.; RODRIGUES, P. M. S.; MENINO, G. C. DE O.; COUTINHO, E. S.; NUNES, Y. R. F. Caracterização física de frutos e putâmens e taxa de ataque por *Carmenita* sp. a pequiheiros (*Caryocar brasiliense* Camb.) no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 746–756, 2011.
- MAZER, S. 2016. 54 f. **Potencial produtivo de plantas de importância socioeconômica da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, Minas Gerais, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Brasília-DF.
- NOGUEIRA, M. C. R. **Gerais a dentro e a fora: identidade e territorialidade entre Geraizeiros do Norte de Minas Gerais**. Brasília, DF: Tese de Doutorado, departamento de antropologia - UnB, 2009.

- NOGUEIRA, M. C. R. **Dinâmica de *Caryocar brasiliense* CAMBESS. e *Tachigali subvelutina* (Benth.) Oliveira-Filho em formação savânica, Fazenda Água Limpa, Brasília/DF.** Brasília, DF: Dissertação de mestrado, departamento de antropologia - UnB, 2013.
- OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. DE C. O.; PEREIRA, B. L. C.; VITAL, B. R.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; DAMÁSIO, R. A. P. Otimização da produção do carvão vegetal por meio do controle de temperaturas de carbonização. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 557–566, 2013.
- OLIVEIRA, W. L.; SCORIOT, A. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do Pequi.** Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010.
- PALUDO, G.; SILVA, J. DA; REIS, M. DOS. Estimativas de produção de frutos de palmitero (*Euterpe edulis* Mart.) a partir da densidade de indivíduos. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, p. 92–102, 2012.
- REZENDE, A. V.; DO VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 65–76, 2006.
- RIBEIRO DE SOUZA, J.; SAUER, S. Antagonismo e reciprocidade na (re)afirmação identitária dos geraizeiros: luta por território e água no norte de Minas Gerais. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 28, n. 3, p. 676-699, 2020.
- SCARIOT, A.; RIBEIRO, J. F. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável da Cagaita.** Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Tecnologia, 2015.
- SEVILHA, A. C.; SCARIOT, A.; MATIAS, R. A. M.; ÁVILA, J. C. C.; NASCIMENTO, M. M.; VIUDES, P. **Projeto Bem Diverso: integrando conservação e uso sustentável da biodiversidade às práticas produtivas de produtos florestais não madeireiros e sistemas agroflorestais em paisagens florestais de múltiplo uso e alto valor de conservação.** Brasília, DF: Projeto Bem Diverso - Embrapa/Pnud/GEF. 2021. Disponível em: <http://www.bemdiverso.org.br/>. Acesso em: 21 dez 2021.
- SILVA, C. E. M. Territorialidades Camponesas do Cerrado - o saber gerado a partir do conhecimento local. **CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária**, v. 7, n. 14, p. 1–35, 2012.
- SIMON, L. M.; OLIVEIRA, G.; BARRETO, B. DE S.; NABOUT, J. C.; RANGEL, T. F. L. V.; DINIZ-FILHO, J. A. F. B. Effects of global climate changes on geographical distribution patterns of economically important plant species in Cerrado. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 267–274, 2013.
- SOUZA, K. B.; SILVA, J. B. L.; MATIAS, S. S. R.; ALMEIDA, K. N. S.; LISBOA, G. S.; RATKE, R. F. Mudança no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Preto, Piauí. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 25490–25511, 2019.

STAN, K.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A.; ESPÍRITO-SANTO, M.; PORTILLO-QUINTERO, C. Simulating deforestation in Minas Gerais, Brazil, under changing government policies and socioeconomic conditions. **PLOS ONE**, v. 10, n. 9, p. e0137911, 2015.

VIEIRA, L. T. A. et al. Reviewing the Cerrado's limits, flora distribution patterns, and conservation status for policy decisions. **Land Use Policy**, v. 115, p. 106038, 2022.

## APÊNDICE I



Registro fotográfico em alto de chapada com vista para vegetação do Cerrado.



Área de cerrado sentido restrito conservada, localizada em chapada.



Vegetação de formação campestre em áreas com mais de 1.100 m de altitude



Área de campo limpo.



Área de silvicultura de eucalipto no Território da Cidadania Alto Rio Pardo.



Antiga área de plantio de eucalipto com mais de 10 anos de interrupção das atividades.



Área de mineração com 5 anos de interrupção das atividades.



Cultivo irrigado de manga na chapada da Prata (TCARP).



Cultivo de café irrigado na chapada da Prata (TCARP).



Reservatório de água na RDS Nascentes Geraizeiras



Pequizeirão, localizado na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras, é considerado o maior pequizeiro conhecido pelas comunidades. Falas populares estimam que o pequizeiro possui cerca de 500 anos de idade, considerado símbolo de luta da conservação do Cerrado.



Caroço seco de pequi, destinado à extração da amêndoa por comunidades agroextrativistas.