



**GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS**  
SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL INTEGRADO E SUSTENTÁVEL**

# **DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DAS ÁREAS VULNERÁVEIS A ESCASSEZ HÍDRICA NA REGIÃO SUDESTE DO ESTADO DO TOCANTINS**

**TOMO I**

# GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS

**MAURO CARLESSE** - Governador

**Wanderlei Barbosa** - Vice-Governador

## SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO

**Sandro Armando Henrique** - Secretário

### SECRETARIA EXECUTIVA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO

**Sergislei Silva de Moura** - Secretário Executivo

### SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO GOVERNAMENTAL

**Romildo Leite Dias** - Superintendente

### DIRETORIA DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES TERRITORIAIS E SOCIOECONÔMICAS

**Rodrigo Sabino Teixeira Borges** - Diretor

### GERÊNCIA DE ZONEAMENTO TERRITORIAL

**Leandro Roeder** - Gerente

### EQUIPE TÉCNICA

**Bruno Moure Cícero** - Bacharel em Ciências Econômicas - Mestre em Desenvolvimento Regional e Agronegócio

**Cecília Amélia Miranda Costa** - Bacharel em Processamento de Dados - Mestre em Engenharia Ambiental

**Dalvany Alves de Sousa Lima** - Bacharel em Engenharia Ambiental - Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

**Ilda Celeste da Costa Martins** - Tecnóloga em Gestão Ambiental

**Joaquin Eduardo Manchola Cifuentes** - Bacharel em Estatística - Doutor em Sociologia

**Leandro Roeder** - Bacharel em Ciências Econômicas

**Paulo Augusto Barros de Sousa** - Bacharel em Ciência da Computação - Mestre em Modelagem Computacional de Sistemas

**Rodrigo Sabino Teixeira Borges** - Bacharel em Geografia - Mestre em Geografia

**GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS**  
**SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO**

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL**  
**INTEGRADO E SUSTENTÁVEL**

**DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO CARTOGRÁFICA**  
**DAS ÁREAS VULNERÁVEIS A ESCASSEZ HÍDRICA NA**  
**REGIÃO SUDESTE DO ESTADO DO TOCANTINS**

Escala 1:50.000

**TOMO I**

Palmas, 2019.

## CRÉDITOS DE AUTORIA

### TEXTO EXPLICATIVO

Ricardo Ribeiro Dias  
Vicente de Paulo Rodrigues da Silva  
Edison Crepani  
Virlei Álvaro de Oliveira  
Leonardo Mitre Alvim de Castros

### COLABORADORES

Daniel Tha  
Ledice Kesiane Pestana Moraes  
Girlene Figueiredo Maciel  
Luiz Eduardo Borges Leal  
Glailson Barreto  
Dyego Legentil Teixeira  
Pedro Alberto Bignelli  
Ana Katiuscia Pastana de Souza  
Ghislaine Medeiros de Almeida  
Ricardo Flores Haidar  
Eduardo Ribeiro dos Santos  
Renata Dias Françoso  
Isac Tavares de Santana  
Erton Inacio Monteiro de Moraes

Washington Luís de Oliveira  
Heitor Campos de Sousa  
Vinícius Tavares Parreiras de Moraes  
Jailton Soares dos Reis  
Rodrigo Barroso  
Thaynan Gomes Andrade  
Welton Silva Cardoso  
Vitor Lages do Vale  
Vitor Carvalho Queiroz  
Vinicius de Melo Lima  
Mateus Gouveia Araújo  
Jorge Wanderson Assunção Chagas  
Cassia Sampaio Freire  
Mikaellem Paz Marinho  
Renan Aquillis Correia Borges

## ACOMPANHAMENTO TÉCNICO E ANÁLISE

### ACOMPANHAMENTO TÉCNICO

Rodrigo Sabino Teixeira Borges  
Cecília Amélia Miranda Costa

### ANÁLISE

Bruno Moure Cícero  
Cecília Amélia Miranda Costa  
Dalvany Alves de Sousa Lima  
Ilda Celeste da Costa Martins

Joaquin Eduardo M. Cifuentes  
Leandro Roeder  
Paulo Augusto Barros de Sousa  
Rodrigo Sabino Teixeira Borges

DIAS, Ricardo Ribeiro; SILVA, Vicente de Paulo Rodrigues da; CREPANI, Edson; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; CASTRO, Leonardo Mitre Alvim de .

Secretaria da Fazenda e Planejamento (SEFAZ). Subsecretaria do Planejamento e Orçamento. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial (GZT). Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Delimitação e Caracterização Cartográfica das Áreas Vulneráveis a Escassez Hídrica na Região Sudeste do Estado do Tocantins. Escala 1:50.000. Palmas: SEFAZ/GZT, 2019.

592 p., Ilust.

Série TOCANTINS - Sudeste / Recursos Naturais.

Executado pelo Consórcio Serras Gerais - formado pelas empresas Oikos Pesquisa Aplicada Ltda e Nippon Koei Latin America-Caribbean CO. Ltda - Nippon Koei LAC do Brasil, para a Secretaria da Fazenda e Planejamento, no âmbito do Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável (PDRIS).

1. Vulnerabilidade à Escassez Hídrica. 2. Zoneamento Ambiental. 3. Gestão Territorial. 4. Sudeste do Tocantins. 5. relatório. 6. mapas.

I. Tocantins. Secretaria da Fazenda e Planejamento. II. Subsecretaria do Planejamento e Orçamento. III. Título.

CDU 504.5 (811)

Secretaria da Fazenda e Planejamento  
Superintendência de Planejamento Governamental  
Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas  
Gerência de Zoneamento Territorial  
AANO - Esplanada das Secretarias, s/n, Centro  
CEP: 77.001-002, Palmas - TO  
Tel: (63) 3212.4495 - 3212.4493  
<http://www.sefaz.to.gov.br>  
E-mail: [ascom@sefaz.to.gov.br](mailto:ascom@sefaz.to.gov.br)



## RESUMO

Os trabalhos de Delimitação e Caracterização Cartográfica das Áreas Vulneráveis a Escassez Hídrica na Região Sudeste do Estado do Tocantins foram realizados atendendo aos objetivos propostos para os serviços. Para o alcance destes objetivos foram usados dados primários levantados em trabalhos de campo, imagens de satélites e dados secundários obtidos em instituições governamentais produtoras de informações nas áreas de geociências e socioeconomia. O trabalho contemplou oito etapas, tais como: (1) organização e gerenciamento do projeto; (2) levantamento e aquisição de dados; (3) montagem do banco de dados geográficos; (4) mapeamentos temáticos; (5) elaboração dos diagnósticos físico, biótico e socioeconômico; (6) diagnóstico hidroclimático; (7) diagnóstico integrado – potencialidade de escassez hídrica; (8) prognóstico. Nas etapas foram empregados métodos de trabalhos já consagrados e bastante difundidos no meio técnico-científico conforme as especificações de cada uma delas, e.g., para mapeamentos temáticos (solos, vegetação/inventário florestal, cobertura e uso da terra, unidades de paisagens) e análise de dados climáticas e de recursos hídricos. As várias etapas foram desenvolvidas concomitantemente e, em alguns casos, de modo sequencial. Conforme os resultados dos diagnósticos físico, biótico e integrado, pode-se perceber que a região realmente detém condições ambientais favoráveis à escassez hídrica em função das características das rochas, relevo, solos, clima, vegetação e recursos hídricos. Cerca de 81% das terras da RSE-TO foram cartografadas como pertencentes às classes de potencialidade de escassez hídrica moderado (59%), alto (20%) e muito alto (2%). Apenas 17% das terras são áreas que apresentam potencialidade para produção de água. Elas situam-se na parte extremo leste da região, uma faixa marginal ao longo da divisa com o estado da Bahia, que se alarga de sul para norte. Pode-se dizer que a esta faixa é a principal fonte das águas regionais – “a caixa de água” da RSE-TO, alimentadora de rios como o Palma, das Balsas, Palmeiras, Manuel Alves, Mosquito, Peixinho e Sobrado. Estes rios são usados para favorecer o desenvolvimento das atividades socioeconômicas e o abastecimento de água de algumas cidades da região. Todavia, as informações deste trabalho permitem indicar para a RSE-TO um *status* moderado a crítico em relação à escassez hídrica, que é ratificado pela vulnerabilidade climática à escassez hídrica também determinada neste estudo. Das seis bacias presentes parcial ou integralmente na RSE-TO, as bacias dos rios Paranã e Manuel Alves da Natividade aparecem como as de maiores potenciais para escassez hídrica, enquanto, que as bacias dos rios das Balsas e Palmas mostram os maiores potenciais hídricos. Em termos municipais, nota-se que os municípios com maiores potenciais para escassez hídrica são Novo Alegre, Natividade e Chapada da Natividade, ao passo que os municípios de Rio da Conceição, Novo Jardim e Ponte Alta do Bom Jesus são aqueles com os melhores potenciais hídricos.





## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xvi</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>xix</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>xxiii</b>

### TOMO I

<b>1 APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>3 ÁREA ESTUDADA.....</b>	<b>5</b>
<b>4 MATERIAL E METODOLOGIA .....</b>	<b>9</b>
4.1 Material .....	9
4.2 Metodologia .....	10
4.2.1 Organização e gerenciamento do projeto.....	11
4.2.2 Levantamento e aquisição de dados .....	11
4.2.2.1 Aquisição de imagens de sensores remotos .....	11
4.2.2.2 Aquisição de dados cartográficos, temáticos, altimétricos, hídricos e climatológicos ..	12
4.2.2.3 Levantamento de publicações técnico-científicas.....	13
4.3 Montagem do banco de dados geográficos.....	13
4.3.1 Concepção dos bancos de dados espaciais .....	13
4.3.2 Inserção de dados cartográficos, temáticos, altimétricos hídricos e climatológicos .....	15
4.3.3 Inserção/processamento das imagens de sensoriamento remoto .....	16
4.3.4 Nomenclatura dos arquivos e dos campos de atributo.....	17
4.4 Mapeamentos temáticos.....	20
4.4.1 Sistemas ambientais.....	20
4.4.2 Recursos naturais .....	21
4.4.2.1 Cobertura vegetal .....	21
4.4.2.2 Hidrografia .....	26
4.4.2.3 Áreas de preservação permanente .....	27
4.4.2.4 Cobertura e uso da terra.....	28
4.4.2.5 Áreas vulneráveis à escassez hídrica.....	31
4.5 Elaboração dos diagnósticos físico, biótico e socioeconômico .....	31
4.5.1 Meio físico.....	31
4.5.2 Meio biótico.....	46
4.5.3 Meio socioeconômico .....	50
4.6 Diagnóstico hidroclimático .....	52
4.7 Elaboração do diagnóstico integrado – potencialidade de escassez hídrica.....	61

4.8 Elaboração do prognóstico .....	64
-------------------------------------	----

## **TOMO II**

<b>5 DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL .....</b>	<b>69</b>
5.1 Geologia .....	69
5.1.1 Províncias estruturais e unidades geológicas.....	69
5.1.1.1 Província Tocantins .....	69
5.1.1.2 Província São Francisco .....	81
5.1.1.3 Província Parnaíba .....	85
5.1.2 Recursos Minerais .....	87
5.1.3 Espeleologia .....	120
5.2 Relevo.....	132
5.3 Solos.....	146
5.3.1 Argissolos .....	147
5.3.1.1 Argissolos Vermelho-Amarelos.....	148
5.3.2 Cambissolos .....	149
5.3.2.1 Cambissolos Háplicos.....	149
5.3.3 Chernossolos .....	151
5.3.3.1 Chernossolos Rêndzicos .....	151
5.3.4 Gleissolos .....	152
5.3.5 Latossolos.....	153
5.3.5.1 Latossolos Amarelos .....	156
5.3.5.2 Latossolos Vermelhos .....	156
5.3.5.3 Latossolos Vermelho-Amarelos .....	157
5.3.6 Neossolos .....	158
5.3.6.1 Neossolos Litólicos .....	159
5.3.6.2 Neossolos Flúvicos .....	160
5.3.6.3 Neossolos Regolíticos .....	161
5.3.6.4 Neossolos Quartzarênicos.....	162
5.3.7 Plintossolos.....	163
5.3.7.1 Plintossolos Pétricos.....	163
5.3.7.2 Plintossolos Argilúvicos .....	165
5.3.8 Tipos de terrenos .....	165
5.3.8.1 Afloramentos de rochas .....	165
5.4 Aptidão agrícola das terras .....	171
5.5 Clima.....	182
5.5.1 Precipitação pluvial .....	182
5.5.2 Temperatura do ar .....	183



5.5.3 Umidade relativa do ar.....	184
5.5.4 Evapotranspiração de referência.....	184
5.5.5 Deficiência hídrica.....	185
5.5.6 Índice de aridez (IA).....	186
5.5.7 Índice hídrico.....	186
5.5.8 Índice de umidade.....	187
5.5.9 Vulnerabilidade à escassez hídrica.....	187
5.6 Recursos hídricos.....	190
5.6.1 Disponibilidade hídrica superficial - estudos desenvolvidos e resultados.....	190
5.6.1.1 Análise de consistência dos dados fluviométricos.....	190
5.6.1.2 Preenchimento das séries de vazões em período comum.....	190
5.6.1.3 Cálculo das variáveis hidrológicas e avaliação da sazonalidade hidrológica.....	199
5.6.1.4 Regionalização das variáveis hidrológicas.....	208
5.6.1.5 Cálculo da disponibilidade hídrica.....	218
5.6.2 Disponibilidade hídrica subterrânea.....	219
5.6.2.1 Base de dados.....	219
5.6.2.2 Caracterização dos aquíferos.....	220
5.6.2.3 Estudos desenvolvidos e resultados.....	223
5.6.3 Estimativa de demandas hídricas.....	230
5.6.3.1 Usos consuntivos.....	231
5.6.3.2 Usos não consuntivos.....	242
5.6.4 Síntese e espacialização das demandas.....	248
5.6.5. Balanço hídrico.....	256
5.6.5.1 Análise comparativa com os resultados do PERH/TO.....	261
5.7 Vegetação.....	263
5.7.1 Abrangência dos dados primários e secundários.....	263
5.7.2 Caracterização da cobertura vegetal.....	265
5.7.2.1 Cobertura natural (nativa).....	265
5.7.2.2 Cobertura vegetal antrópica.....	268
5.7.3 Composição florística e espécies especiais.....	270
5.7.4 Abrangência florística da amostragem e suficiência amostral.....	272
5.7.5 Diversidade, estrutura e potenciais usos das principais fitofisionomias.....	274
5.7.5.1 Cerrado sensu stricto.....	274
5.7.5.2 Cerradão.....	285
5.7.5.3 Floresta estacional.....	292
5.7.5.4 Mata de galeria e ciliar.....	301
5.8 Cobertura e uso da terra.....	309
5.8.1 Áreas antrópicas não agrícolas.....	311

5.8.2 Áreas antrópicas agrícolas .....	317
5.8.3 Outras áreas .....	332
5.8.4 Água .....	332
5.9 Vulnerabilidade de paisagens à perda de solo .....	335
5.9.1 Grau de vulnerabilidade moderadamente vulnerável .....	336
5.9.2 Grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável .....	341
5.9.3 Grau de vulnerabilidade moderadamente estável .....	346
5.9.4 Planícies e fundos de vales sujeitos a inundações.....	347
5.9.5 Escassez hídrica e a vulnerabilidade de paisagens à perda de solo .....	351
5.10 Adequação do uso de solo à aptidão agrícola.....	352
5.11 Socioeconomia .....	357
5.11.1 Caracterização dos aspectos políticos, históricos, culturais e socioeconômicos .....	357
5.11.1.1 Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM).....	357
5.11.1.2 Índice de GINI.....	361
5.11.2 Minorias étnicas .....	363
5.11.2.1 Quilombolas .....	363
5.11.2.2 Assentamentos rurais .....	364
5.11.2.3 Comunidades de pescadores artesanais .....	365
5.11.2.4 Famílias beneficiárias do programa bolsa família.....	368
5.11.3 Demografia .....	369
5.11.3.1 Estrutura etária .....	369
5.11.3.2 População e densidade demográfica .....	375
5.11.4 Emprego e renda .....	378
5.11.5 Dinâmica econômica de uso e ocupação do solo.....	388
5.11.5.1 Produto interno bruto .....	388
5.11.5.2 Principais atividades econômicas da RSE-TO .....	393
5.11.6 Saneamento .....	399

### **TOMO III**

<b>6 POTENCIALIDADE DE ESCASSEZ HÍDRICA .....</b>	<b>401</b>
6.1 Aspectos conceituais e contexto da escassez hídrica .....	401
6.2 Zoneamento da potencialidade de escassez hídrica da RSE-TO .....	405
6.2.1 Distribuição geral das classes de potencialidade de escassez hídrica.....	405
6.2.2 Classes de potencialidade de escassez hídrica .....	412
<b>7 PROGNÓSTICO .....</b>	<b>431</b>
7.1 Concepção dos cenários .....	431
7.2 Forçantes exógenas .....	434
7.2.1 Dinâmica econômica .....	434



7.2.2 Dinâmica demográfica .....	440
7.2.3 Regionalização das forçantes exógenas na RSE-TO.....	444
7.2.4 Regionalização das projeções econômicas exógenas .....	449
7.2.5 Regionalização das projeções demográficas exógenas.....	452
7.3 Forçantes endógenas .....	453
7.3.1 Vetores de transformação da RSE-TO.....	454
7.3.2 Aspectos metodológicos da cenarização das forçantes endógenas .....	471
7.3.3 Cenários da atividade econômica do setor primário.....	473
7.3.4 Cenários da atividade econômica do setor secundário .....	484
7.3.5 Cenários da atividade econômica do setor terciário .....	485
7.3.6 Demografia – população urbana e rural .....	487
7.4 Rebatimento hídrico dos cenários da RSE-TO.....	491
7.5 Demandas hídricas de uso consuntivo .....	491
7.5.1 Agricultura irrigada .....	491
7.5.2 Pecuária.....	494
7.5.3 Aquicultura .....	496
7.5.4 Indústria e mineração .....	497
7.5.5 Abastecimento humano urbano.....	500
7.5.6 Abastecimento humano rural.....	502
7.6 Demandas hídricas de usos não consuntivos .....	505
7.6.1 Geração Hidrelétrica .....	505
7.6.2 Lazer e turismo .....	506
7.7 Síntese das demandas futuras .....	506
7.7.1 Demandas hídricas na cena atual .....	509
7.7.2 Demandas Hídricas no Cenário Estagnação.....	509
7.7.3 Demandas hídricas no cenário morosidade .....	511
7.7.4 Demandas hídricas no cenário retomada .....	512
7.7.5 Demandas hídricas no cenário aceleração.....	514
7.8 Balanço hídrico e análise de escassez hídrica.....	516
7.8.1 Análises para a RSE-TO .....	516
7.8.2 Análises por bacia hidrográfica.....	522
7.8.3 Análises por sub-bacia hidrográfica.....	535
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>549</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>571</b>

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A - Tabela com Informações do conteúdo das colunas de atributos dos planos de informações do geodatabase final**

**APÊNDICE B - Descrição do conteúdo dos planos de informações dos metadados**

**APÊNDICE C - Vegetação - fichas de campo**

**APÊNDICE D - Cobertura e uso da terra - fichas de campo**

**APÊNDICE E - Pedologia - Perfis dos solos**

**APÊNDICE F - Mapa de geologia**

**APÊNDICE G - Processos de títulos minerários ANM (DNPM)**

**APÊNDICE H - Relação de cavernas cadastradas nas bases de dados do CECAV, SBE e Redespeleo Brasil para o Sudeste de Tocantins**

**APÊNDICE I - Mapa de geomorfologia**

**APÊNDICE J - Mapa de solos**

**APÊNDICE K - Mapa de aptidão agrícola da terra**

**APÊNDICE L - Cartogramas de variáveis climáticas**

**APÊNDICE M - Mapa de precipitação média anual**

**APÊNDICE N - Mapa de temperatura média anual**

**APÊNDICE O - Mapa de umidade relativa do ar média anual**

**APÊNDICE P - Mapa de evapotranspiração média anual**

**APÊNDICE Q - Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos**

**APÊNDICE R - Mapa de vegetação**

**APÊNDICE S - Inventário florestal e lista de espécies**

**APÊNDICE T - Mapa de cobertura e uso da terra**

**APÊNDICE U - Mapa de vulnerabilidade de paisagens à perda de solos**

**APÊNDICE V - Mapa de adequação do uso da terra à aptidão agrícola**

**APÊNDICE W - Mapa de Potencialidade à Escassez Hídrica (PEH)**

**APÊNDICE X - Mapa de Potencialidade à Escassez Hídrica (PEH) x Projeto Barraginhas Sudeste - TO**



## LISTA DE FIGURAS

### TOMO I

<b>Figura 1.</b> Localização da área estudada: Região da RSE-TO.....	5
<b>Figura 2.</b> Organograma das macroatividades do projeto.....	11
<b>Figura 3.</b> Fluxogramas de concepção das geodatabases para cartas segundo fusos UTM, faixas e RSE-TO.....	15
<b>Figura 4.</b> Exemplo de um fluxo do processo de montagem dos dados cartográficos básicos em ambiente ArcGIS (geodatabase). ....	16
<b>Figura 5.</b> Organização da geodatabase.....	19
<b>Figura 6.</b> Exemplo de descrição dos planos de informação na geodatabase.....	19
<b>Figura 7.</b> Código de classificação das unidades geologia-relevo-solo (sistemas ambientais). 21	
<b>Figura 8.</b> Lacunas de conhecimento sobre a composição, estrutura e diversidade da flora da RSE-TO (A, B). ....	22
<b>Figura 9.</b> Método de amostragem do estrato arbóreo (parcela de 20 x 50 m) em área de cerrado stricto sensu e cerradão (a) e linhas de amostragem em floresta estacional (b) e matas de galeria (c) com parcelas de 20 x 20 m. ....	24
<b>Figura 10.</b> Métodos de amostragem do estrato arbóreo em áreas de cerrado stricto sensu (A, B e C) e áreas de cerradão (D), mata de galeria (E) e floresta estacional (F).....	25
<b>Figura 11.</b> Método de coleta de espécies vasculares (A, B, C) e herborização do material botânico (D, E, F). ....	26
<b>Figura 12.</b> Organograma de execução do mapeamento de cobertura e uso da terra.....	29
<b>Figura 13.</b> Trincheira aberta para descrição e coleta de solo. ....	35
<b>Figura 14.</b> Utilização de barranco para exame de solo.....	35
<b>Figura 15.</b> Sondagem com emprego de trado. ....	35
<b>Figura 16.</b> Escala de estabilidade/vulnerabilidade de unidades. ....	46
<b>Figura 17.</b> Faixas de Desenvolvimento Humano Municipal. ....	50
<b>Figura 18.</b> Código de classificação das unidades de paisagem. ....	62
<b>Figura 19.</b> Modelo de relações para obtenção da carta de potencialidade de escassez hídrica. ....	64
<b>Figura 20.</b> Composição conceitual dos cenários. ....	67

### TOMO II

<b>Figura 21.</b> A RSE-TO no contexto das províncias estruturais do Brasil .....	70
<b>Figura 22.</b> Distribuição das Coberturas Cenozoicas na RSE-TO. ....	72
<b>Figura 23.</b> Localização do Domínio Porto Nacional-Nova Crixás na na RSE-TO.....	74
<b>Figura 24.</b> Localização do Arco Magmático de Goiás na na RSE-TO.....	75
<b>Figura 25.</b> Localização dos Terreno/Domínio Dianópolis na na RSE-TO.....	76
<b>Figura 26.</b> Localização do Rifte Araí-Natividade na na RSE-TO. ....	78
<b>Figura 27.</b> Localização da Faixa Brasília na na RSE-TO.....	81

<b>Figura 28.</b> Localização da Bacia Sanfranciscana na RSE-TO. ....	83
<b>Figura 29.</b> Localização da Bacia São Francisco/BambuÍ na na RSE-TO. ....	84
<b>Figura 30.</b> Localização da Bacia do ParnaÍba na Área de estudo. ....	86
<b>Figura 31.</b> Distribuição percentual dos tipos processuais junto ao DNPM da RSE-TO. ....	88
<b>Figura 32.</b> Distribuição dos processos minerÁrios da RSE-TO por classe de jazimento. ....	89
<b>Figura 33.</b> Distribuição espacial dos processos das substÁncias minerais da Classe I requeridos no DNPM na RSE-TO. ....	90
<b>Figura 34.</b> Distribuição Espacial dos processos do DNPM - substÁncias minerais da Classe II. ....	96
<b>Figura 35.</b> Visão geral da Mina Itafós em Arraias na RSE-TO e detalhe da exploração de fosforito. ....	98
<b>Figura 36.</b> Distribuição dos Processos do DNPM - substÁncias minerais da Classe III. ....	99
<b>Figura 37.</b> Distribuição Espacial dos Processos do DNPM - substÁncias minerais da Classe VI. ....	101
<b>Figura 38.</b> Distribuição Espacial dos Processos do DNPM - substÁncias minerais da Classe VII. ....	105
<b>Figura 39.</b> Lapa/Furna do Boqueirão na RSE-TO. ....	121
<b>Figura 40.</b> Lapa Catedral da Laje na RSE-TO. ....	122
<b>Figura 41.</b> Furna do petróglifo na RSE-TO. ....	123
<b>Figura 42.</b> Gruta do Açude na RSE-TO. ....	124
<b>Figura 43.</b> Ocorrências de cavidades naturais no município de Aurora do Tocantins. ....	125
<b>Figura 44.</b> Ocorrências de cavidades naturais no município de Dianópolis. ....	126
<b>Figura 45.</b> Ocorrências de cavidades naturais no município de Novo Jardim. ....	127
<b>Figura 46.</b> Ocorrências de cavidades naturais no município de Taguatinga. ....	128
<b>Figura 47.</b> Potencialidade para ocorrências de cavidades naturais da RSE-TO. ....	132
<b>Figura 48.</b> Distribuição do Depósitos Sedimentares Inconsolidados na RSE-TO. ....	134
<b>Figura 49.</b> Localização das Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas na RSE-TO. ....	136
<b>Figura 50.</b> Localização do Domínio dos Embasamentos em Estilos Complexos na RSE-TO. ....	143
<b>Figura 51.</b> Localização do Domínio dos Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares na RSE-TO. ....	144
<b>Figura 52.</b> Distribuição dos Argissolos Vermelho-Amarelos na RSE-TO. ....	148
<b>Figura 53.</b> Distribuição dos Cambissolos HÁplicos na RSE-TO. ....	150
<b>Figura 54.</b> Distribuição dos Gleissolos HÁplicos na RSE-TO. ....	154
<b>Figura 55.</b> Distribuição dos Latossolos na RSE-TO. ....	155
<b>Figura 56.</b> Distribuição dos Neossolos na RSE-TO. ....	159
<b>Figura 57.</b> Distribuição dos Plintossolos na RSE-TO. ....	164
<b>Figura 58.</b> Distribuição dos Plintossolos na RSE-TO. ....	166



<b>Figura 59.</b> Grupo 1 - Terras com aptidão boa para lavouras de ciclo curto em pelo menos um dos níveis de manejo. ....	174
<b>Figura 60.</b> Grupo 2 - Terras com aptidão regular para lavouras de ciclo curto em pelo menos um dos níveis de manejo. ....	175
<b>Figura 61.</b> Grupo 3 - Terras com aptidão regular para lavouras de ciclo curto em pelo menos um dos níveis de manejo. ....	177
<b>Figura 62.</b> Grupo 4 - Terras com aptidão regular ou restrita para pastagem plantada. ....	179
<b>Figura 63.</b> Grupo 5 - Terras com aptidão regular ou restrita para silvicultura e/ou pastagem natural. ....	180
<b>Figura 64.</b> Grupo 6 - Terras sem aptidão agrícola. ....	181
<b>Figura 65.</b> Curvas de regressão utilizadas para preenchimento das falhas mensais das estações selecionadas. ....	197
<b>Figura 66.</b> Fluviograma das estações preenchidas. ....	198
<b>Figura 67.</b> Vazões médias mensais para as estações de interesse. ....	206
<b>Figura 68.</b> Estações fluviométricas na bacia do rio Palma. ....	209
<b>Figura 69.</b> Curvas de rendimento específico e de vazões absolutas para a bacia do rio Palma. ....	210
<b>Figura 70.</b> Estações fluviométricas na bacia do rio Paranã. ....	211
<b>Figura 71.</b> Comparação das curvas regionais do rio Paranã com e sem a estação 21900000. ....	212
<b>Figura 72.</b> Curvas de regionalização de vazões para a Bacia do Rio Paranã. ....	213
<b>Figura 73.</b> Estações fluviométricas nas bacias hidrográficas do norte da RSE-TO. ....	214
<b>Figura 74.</b> Curvas de rendimento específico e de regionalização de vazões para a Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade. ....	215
<b>Figura 75.</b> Localização das sub-bacias de referência para o Plano de Bacia dos Rios das Balsas e São Valério. ....	216
<b>Figura 76.</b> Fluviograma da estação 21080000. ....	217
<b>Figura 77.</b> Mapa de poços tubulares versus bacias hidrográficas da RSE-TO. ....	220
<b>Figura 78.</b> Zoneamento explotável da RSE-TO. ....	221
<b>Figura 79.</b> Mapa das unidades geológicas que ocorrem na RSE-TO. ....	222
<b>Figura 80.</b> Domínios Hidrogeológicos que ocorrem na RSE-TO. ....	223
<b>Figura 81.</b> Mapa com as Unidades Hidroestratigráficas versus as bacias hidrográficas. Legenda: Gr é granular, Fr é fraturado e K é cárstico. ....	225
<b>Figura 82.</b> Poços Tubulares versus Domínio de cada Unidade Hidroestratigráfica. ....	226
<b>Figura 83.</b> Croquis de abastecimento de Paranã. ....	231
<b>Figura 84.</b> (a) Mineração de calcário em Chapada da Natividade. Empreendimento com material exposto e sem uso da água para aspersão de poeira de mina; (b) Leito de curso de água em Dianópolis utilizado para dragagem de areia com área de preservação permanente não preservada. ....	238
<b>Figura 85.</b> (a) Área de irrigação de banana do DIMA em Dianópolis; (b) Reservatório do barramento utilizado para captação de água para o DIMA, no rio Manuel Alves da Natividade, em Dianópolis. ....	240

<b>Figura 86.</b> (a e b) - Entrada do empreendimento Tamborá, em Almas; (c e d) - Conjunto de lagoas de piscicultura do empreendimento Piracema, em Almas. ....	242
<b>Figura 87.</b> Aproveitamentos Hidrelétricos em operação na RSE-TO. ....	243
<b>Figura 88.</b> Tipos de aproveitamentos hidrelétricos em diferentes estágios (em operação, em construção ou somente projetadas) na RSE-TO. ....	244
<b>Figura 89.</b> Localização das principais atrações turísticas que necessitam da preservação recursos e da paisagem natural na RSE-TO. ....	245
<b>Figura 90.</b> (a) Lagoa do Japonês, Pindorama. Margens preservadas em sua maior parte; (b) Balneário em Aurora do Tocantins. Curso de água assoreado e margens com solo exposto e potencial de carreamento de material no período chuvoso; (c e d) Rio Azuis. Balneário em Aurora do Tocantins. Solo exposto e margens cimentadas com área de preservação permanente não respeitada; (e e f) Balneário em Rio da Conceição - Rio Manuel Alves da Natividade. Material descartado nas margens e área de preservação permanente não preservada. ....	247
<b>Figura 91.</b> Demanda total para usos consuntivos por sub-bacia. ....	255
<b>Figura 92.</b> Demanda total para usos consuntivos por bacia. ....	256
<b>Figura 93.</b> Balanço hídrico por sub-bacia hidrográfica. ....	261
<b>Figura 94.</b> Distribuição das parcelas amostradas e lacunas de conhecimento na RSE-TO, incluindo dados primários; e as base de dados SEPLAN, 2013 e da tese de LEMOS, 2018. ....	264
<b>Figura 95.</b> Formações savânicas da RSE-TO. Cerrado ralo (A, B); Cerrado Típico (C, D, E), Cerrado Denso (F, G), Cerrado Rupestre (H, I), Cerrado decíduo (J, K, L), Vereda (M, N, O). ....	266
<b>Figura 96.</b> Formações florestais da RSE-TO. Cerradão (A, B, C); Mata de Galeria (D), Floresta Estacional Semidecídua (E), Floresta Estacional Decídua (F, G, H, I). ....	267
<b>Figura 97.</b> Coberturas e usos antrópicos do solo na RSE-TO: pasto em ambiente de floresta (A), pasto em ambiente de savana (B e C), açude para hidratação animal e fornecimento de água para roça e horta (D), cultivo agrícola (E), plantio de Eucalipto após incêndio florestal (F), uso de fogo para limpeza de pasto (G), área de vereda após de incêndio (H), corte seletivo de Angico ( <i>Anadenanthera colubrina</i> ) em ambiente de floresta estacional (I). ....	269
<b>Figura 98.</b> Novos registros das espécies raras <i>Tibouchina papyrus</i> (A) e <i>Wunderlichia cruelsiana</i> (B) no ambiente de Cerrado rupestre (C). ....	270
<b>Figura 99.</b> Produtos da sociobiodiversidade provindos da cobertura vegetal nativa da RSE-TO. (A) <i>Caryocar coriaceum</i> (Pequi); (B) <i>Eugenia dysenterica</i> (Cagaita); (C e D) <i>Anacardium occidentale</i> (Caju-do-cerrado) e (E e F) <i>Dypterix alata</i> (Baru). ....	271
<b>Figura 100.</b> Curva do coletor com rarefação para quatro formações vegetais amostradas na RSE-TO. ....	273
<b>Figura 101.</b> (A) Análise de agrupamento (UPGMA - Índice de Bray-Curtis), (B) escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) e (C) distribuição espacial de 236 parcelas de cerrado sensu stricto, divididos em cinco Grupos Fitofisionômicos (GF) com base na UPGMA e NMDS. ....	275
<b>Figura 102.</b> Caracterização ambiental dos cinco grupos fitofisionômicos (GF) de cerrado sensu stricto em função das classes de solos, domínios geomorfológicos e subdomínios hidrogeológicos e bacias hidrográficas da RSE-TO. ....	278
<b>Figura 103.</b> Produtos (picolés e geleias) fabricados com frutos de espécies de cerrado sensu stricto com ampla aceitação no mercado consumidor nacional e internacional. ....	285



- Figura 104.** (A) Análise de agrupamento (UPGMA - Índice de Bray-Curtis), (B) Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) e (C) distribuição espacial de 32 parcelas de Cerradão, divididos em quatro Grupos Fitofisionômicos (GF)..... 287
- Figura 105.** Caracterização ambiental dos quatro grupos fitofisionômicos (GF) de cerradão em relação as variáveis categóricas sub-bacias hidrográficas, classes de solos, domínios hidrogeológicos e a compartimentação geoambiental da RSE-TO..... 289
- Figura 106.** (A) Análise de agrupamento (UPGMA - Índice de Bray-Curtis); (B) Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS); (C) distribuição espacial de 161 parcelas de Floresta Estacional, divididos em cinco Grupos Fitofisionômicos (GF). ..... 293
- Figura 107.** Caracterização ambiental dos grupos fitofisionômicos de floresta estacional (GFFE) conforme ocorrência nas classes de declividade, solos, erodibilidade, bacias hidrográficas, compartimentação geoambiental e precipitação da RSE-TO. .... 296
- Figura 108.** (A) Análise de agrupamento (UPGMA - Índice de Bray-Curtis); (B) Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS); (C) distribuição espacial de 50 parcelas de mata de galeria e ciliar, divididos em quatro Grupos Fitofisionômicos (GF)..... 302
- Figura 109.** Caracterização ambiental dos grupos fitofisionômicos das matas de galeria e ciliares (GFMGC) conforme ocorrência nos compartimentos geoambientais e nas classes de solos, subdomínios hidrogeológicos, declividade, erodibilidade potencial dos solos e bacias hidrográficas da RSE-TO..... 305
- Figura 110.** Tipos de uso na unidade Cidades e Vilas (a) Comunidade de Morro de São João - Santa Rosa do Tocantins; (b) Trevo de entrada Pindorama do Tocantins..... 312
- Figura 111.** Tipos de uso na unidade Industrial/Comercial/Serviço – (a) Pequena Central Hidrelétrica Boa Sorte em Dianópolis –TO; (b) Unidade de armazenamento de grãos em Silvanópolis – TO; (c) Auto posto de combustível em Natividade – TO e (d) Estação de bombeamento - Distrito Irrigado Manoel Alves. Fonte: Consórcio Serras Gerais. .... 313
- Figura 112.** Tipos de uso na unidade Extração Mineral. (a) Planta mineradora de calcário em Palmeirópolis – TO e (b) Planta mineradora de fosfato em Arraias – TO. .... 315
- Figura 113.** Tipos de uso na unidade Áreas Degradadas (a) Mineração de areia abandonada em Rio da Conceição – TO e (b) Área de empréstimo em estrada a margem de estrada vicinal em Bom Jesus do Tocantins – TO. .... 317
- Figura 114.** Tipos de uso na unidade Cultivos Temporários Diversificados. (a) Área de cultura diversificada em Ponta Alta do Bom Jesus – TO e (b) Área de roça de toco em Dianópolis - TO..... 318
- Figura 115.** Tipos de uso na unidade Graníferas e Cerealíferas. (a) Área plantada de soja na divisa dos estados do Tocantins e Bahia em Taguatinga – TO e (b) Área colhida de milho em Silvanópolis – TO..... 319
- Figura 116.** Tipos de uso na unidade Frutíferas. (a) Cultivo de banana e (b) abacaxi no Distrito Irrigado Manoel Alves em Dianópolis - TO. .... 322
- Figura 117.** Tipos de uso na unidade Pecuária com Cultivos Temporários Diversificados. (a) Dianópolis-TO e (b) São Salvador do Tocantins. .... 324
- Figura 118.** Tipos de uso na unidade Pecuária de Animais de Grande Porte. (a) Pastagem degradada no município de Silvanópolis – TO; (b) Pastagem cultivada em ambiente de Cerrado Típico no município de Paranã – TO; (c) Pastagem cultivadas em ambiente de Floresta Estacional no município de Combinado e (d) Pasto sujo em ambiente de Cerrado Ralo no município de Almas -TO..... 326
- Figura 119.** Quantitativo do rebanho bovino nos municípios da RSE-TO. .... 328

<b>Figura 120.</b> Tipos de uso na unidade Pastagens Indiferenciadas no entorno do Distrito Irrigado Manoel Alves no município de Dianópolis – TO (a e b).....	329
<b>Figura 121.</b> Tipos de uso na unidade Reflorestamento. Área de silvicultura: (a) plantio de eucalipto em Natividade - TO e de (b) seringueira em Palmeirópolis - TO. ....	330
<b>Figura 122.</b> Tipos de uso na unidade Capoeira – (a) Área de Capoeira com vegetação em estágio avançado de regeneração em Pindorama – TO e (b) Área de Capoeira com vegetação em estágio médio de regeneração em Santa Rosa do Tocantins - TO.....	331
<b>Figura 123.</b> Tipos de uso na unidade Praias. Praias fluviais (a) no rio Manoel Alves no município de Natividade - TO e (b) no rio Palmas no município de Paranã - TO.....	332
<b>Figura 124.</b> Tipos de uso na unidade Corpos D’água Continental. (a) Travessia no Rio Manoel Alves em Santa Rosa do Tocantins – TO; (b) Vista do reservatório de Usina Hidrelétrica Peixe Angical no Rio Tocantins no município de São Sebastião do Tocantins - TO.....	333
<b>Figura 125.</b> Tipos de uso na unidade Piscicultura. (a) Tanque de piscicultura em período de despescas - o viveiro é totalmente esvaziado e o peixe coletado no final, em Dianópolis – TO; (b) Tanque de piscicultura cheio, em Almas - TO.....	334
<b>Figura 126.</b> Carta de Vulnerabilidade de Paisagens à Perda de Solo da RSE-TO. ....	336
<b>Figura 127.</b> Formas erosivas de erosão remontante (escarpas e morros testemunhos) da Serra Geral do Tocantins vistas em imagem obtida a partir de grades do SRTM.....	337
<b>Figura 128.</b> Conjunto de serras sustentado pelo Grupo Natividade que se destaca na vasta superfície pediplanada da Depressão do Alto Tocantins visto em imagens obtidas a partir de grades de MNT do Projeto SRTM. ....	340
<b>Figura 129.</b> Conjunto de serras na parte sul da área sustentado pelas formações Traíras (esquerda) e Arraias (direita) visto em imagens obtidas a partir de grades de MNT do Projeto SRTM.....	341
<b>Figura 130.</b> Patamares entre a Depressão do Alto Tocantins e o Chapadão Ocidental Baiano vistos em imagens obtidas a partir de grades de MNT do Projeto SRTM. ....	342
<b>Figura 131.</b> Distribuição dos pontos de observação de drenagem no Sudeste do Tocantins em agosto de 2018. Pontos vermelhos representam drenagem intermitente e pontos azuis representam drenagem perene. ....	350
<b>Figura 132.</b> Faixas de Desenvolvimento Humano Municipal. ....	358
<b>Figura 133.</b> Evolução do IDHM - Tocantins e Brasil. ....	358
<b>Figura 134.</b> Composição do IDHM - Brasil, Tocantins, Dianópolis e Conceição do Tocantins. ....	359
<b>Figura 135.</b> Índice de Desenvolvimento Humano Municipal do ano de 2000 (à esquerda) e 2010 (à direita) para os Municípios da RSE-TO. ....	360
<b>Figura 136.</b> Índices de GINI para os anos de 1991, 2000 e 2010. ....	361
<b>Figura 137.</b> Índices de GINI para os Municípios da RSE-TO em 2000 (à esquerda) e em 2010 (à direita). ....	362
<b>Figura 138.</b> Número de comunidades quilombolas (a), comunidades de pescadores (b), famílias em assentamentos rurais (c) e agricultores familiares (d) para os municípios da RSE-TO.....	367
<b>Figura 139.</b> Percentual de Famílias Beneficiárias do Programa Bolsa Família. ....	369
<b>Figura 140.</b> Pirâmide Etária 2000 - RSE-TO.....	370
<b>Figura 141.</b> Pirâmide Etária 2000 – Tocantins.....	370



<b>Figura 142.</b> Pirâmide Etária 2000 – Brasil. ....	371
<b>Figura 143.</b> Pirâmide Etária 2010 - RSE-TO.....	371
<b>Figura 144.</b> Pirâmide Etária 2010 – Tocantins.....	372
<b>Figura 145.</b> Pirâmide Etária 2010 – Brasil. ....	372
<b>Figura 146.</b> Evolução da População do Tocantins (mil habitantes) - 2000 a 2030.....	373
<b>Figura 147.</b> Evolução da População Residente no Brasil (mil habitantes) - 2000 a 2030. ....	373
<b>Figura 148.</b> Estimativa da População em 2017 (mil hab) - RSE-TO.....	374
<b>Figura 149.</b> População Rural e Urbana em 2010. ....	374
<b>Figura 150.</b> Área (km <sup>2</sup> ) e Densidade Demográfica (hab/km <sup>2</sup> ). ....	375
<b>Figura 151.</b> Distribuição da População por Município.....	377
<b>Figura 152.</b> Taxa de Desocupação.....	378
<b>Figura 153.</b> Taxa de Desocupação.....	379
<b>Figura 154.</b> Percentual de Ocupação por Atividade Econômica.....	381
<b>Figura 155.</b> Percentual de Ocupação por Atividade Econômica- Brasil e RSE-TO.....	382
<b>Figura 156.</b> Indicadores de Pobreza.....	383
<b>Figura 157.</b> Indicadores de Pobreza.....	384
<b>Figura 158.</b> Taxa de Analfabetismo - RSE-TO, Tocantins e Brasil.....	385
<b>Figura 159.</b> Índices de escolaridade - RSE-TO, Tocantins e Brasil.....	387
<b>Figura 160.</b> Participação das Microrregiões na Composição do PIB do Tocantins. ....	388
<b>Figura 161.</b> Produto Interno Bruto (milhares de reais) - RSE-TO.....	390
<b>Figura 162.</b> Produto Interno Bruto dos municípios da RSE-TO.....	391
<b>Figura 163.</b> Valor adicionado ao Produto Interno Bruto por Setor da Economia dos municípios da RSE-TO para o ano de 2014. ....	392
<b>Figura 164.</b> Percentual da população com abastecimento de água.....	400

### TOMO III

<b>Figura 165.</b> Balanço Hídrico por Microbacia e condição de maior criticidade hídrica.....	403
<b>Figura 166.</b> Ações possíveis para a Segurança Hídrica de uma Bacia. ....	404
<b>Figura 167.</b> Potencialidade à escassez hídrica da RSE-TO.....	406
<b>Figura 168.</b> Sequência de codificação das variáveis ambientais (pesos de PEH). No exemplo, a soma dos pesos dá 24, indicando uma unidade da subclasse 24. ....	412
<b>Figura 169.</b> Distribuição geográfica da classe Muito Baixo e suas subclasses na RSE-TO. ....	413
<b>Figura 170.</b> Distribuição geográfica da classe Baixo e suas subclasses na RSE-TO. ....	417
<b>Figura 171.</b> Distribuição geográfica da classe Moderado e suas subclasses na RSE-TO....	422
<b>Figura 172.</b> Distribuição geográfica da classe Alto e suas subclasses na RSE-TO.....	426
<b>Figura 173.</b> Distribuição geográfica da classe Muito Alto e suas subclasses na RSE-TO. ...	429
<b>Figura 174.</b> Composição conceitual dos cenários. ....	433
<b>Figura 175.</b> Projeções econômicas para o Brasil (Milhões de Reais).....	439

<b>Figura 176.</b> Projeções demográficas para o Brasil e Tocantins (Mil Habitantes). .....	444
<b>Figura 177.</b> Ilustração esquemática da metodologia mutatis-mutandi. ....	448
<b>Figura 178.</b> Projeções econômicas para a RSE-TO (Milhões de Reais). ....	450
<b>Figura 179.</b> Projeções para a população total da RSE-TO (habitantes). ....	453
<b>Figura 180.</b> Projeções de áreas plantadas para culturas selecionadas (hectares). ....	475
<b>Figura 181.</b> Projeções de áreas plantadas com fruticultura irrigada – Total regional à esquerda e apenas o DIMA à direita (hectares). ....	478
<b>Figura 182.</b> Projeções de áreas plantadas com commodities irrigadas (hectares). ....	479
<b>Figura 183.</b> Projeções de rebanhos animais (animais). ....	481
<b>Figura 184.</b> Projeções de área da atividade de aquicultura (hectares). ....	483
<b>Figura 185.</b> Projeções de geração de valor adicionado bruto industrial (R\$, mil). ....	485
<b>Figura 186.</b> Projeções de geração de valor adicionado bruto terciário (R\$, mil). ....	486
<b>Figura 187.</b> Projeções para a população da RSE-TO (habitantes, mesma escala). ....	487
<b>Figura 188.</b> Projeções para a população urbana e rural da RSE-TO (habitantes). ....	488
<b>Figura 189.</b> Projeções de demandas hídricas de irrigação (m3/s). ....	492
<b>Figura 190.</b> Projeções de demandas hídricas da pecuária (m3/s). ....	494
<b>Figura 191.</b> Projeções de demandas hídricas da aquicultura (m3/s). ....	497
<b>Figura 192.</b> Projeções de demandas hídricas da indústria e mineração (m3/s). ....	499
<b>Figura 193.</b> Projeções de demandas hídricas de abastecimento urbano (m3/s). ....	501
<b>Figura 194.</b> Projeções de demandas hídricas de abastecimento rural (m3/s). ....	503
<b>Figura 195.</b> Projeções de demandas hídricas totais (m3/s). ....	507
<b>Figura 196.</b> Projeções de demandas hídricas totais por usuário para 2022 (m3/s). ....	507
<b>Figura 197.</b> Projeções de demandas hídricas totais por usuário para 2027 (m3/s). ....	507
<b>Figura 198.</b> Projeções de demandas hídricas totais por usuário para 2037 (m3/s). ....	508
<b>Figura 199.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário estagnação em 2022. ....	523
<b>Figura 200.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário estagnação em 2027. ....	524
<b>Figura 201.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário estagnação em 2037. ....	525
<b>Figura 202.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário morosidade em 2022. ....	526
<b>Figura 203.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário morosidade em 2027. ....	527
<b>Figura 204.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário morosidade em 2037. ....	528
<b>Figura 205.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário retomada em 2022. ....	529
<b>Figura 206.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário retomada em 2027. ....	530



<b>Figura 207.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário retomada em 2037.....	531
<b>Figura 208.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário aceleração em 2022.....	532
<b>Figura 209.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário aceleração em 2027.....	533
<b>Figura 210.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário aceleração em 2037.....	534
<b>Figura 211.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário estagnação em 2022.....	536
<b>Figura 212.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário estagnação em 2027.....	537
<b>Figura 213.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário estagnação em 2037.....	538
<b>Figura 214.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário morosidade em 2022.....	539
<b>Figura 215.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário morosidade em 2027.....	540
<b>Figura 216.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário morosidade em 2037.....	541
<b>Figura 217.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário retomada em 2022.....	542
<b>Figura 218.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário retomada em 2027.....	543
<b>Figura 219.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário retomada em 2037.....	544
<b>Figura 220.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário aceleração em 2022.....	545
<b>Figura 221.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário aceleração em 2027.....	546
<b>Figura 222.</b> Balanço hídrico e análise de escassez hídrica para o cenário aceleração em 2037.....	547

## LISTA DE TABELAS

### TOMO I

<b>Tabela 1.</b> Sub-bacias de interesse para cálculo da disponibilidade hídricas. ....	58
---	----

### TOMO II

<b>Tabela 2.</b> Distribuição dos processos por substância mineral na Classe I. ....	89
<b>Tabela 3.</b> Distribuição dos processos por substância mineral na Classe II.....	94
<b>Tabela 4.</b> Distribuição dos processos por substância mineral na Classe VI. ....	100
<b>Tabela 5.</b> Distribuição dos processos por substância mineral na Classe VII. ....	104
<b>Tabela 6.</b> Número de cavidades naturais da RSE-TO e sua associação com litotipos calcários.....	129
<b>Tabela 7.</b> Domínios e Unidades geomorfológicos identificados na área de estudo.....	133
<b>Tabela 8.</b> Distribuição municipal com ocorrência de Depósitos Sedimentares Inconsolidados.....	135
<b>Tabela 9.</b> Unidades geomorfológicos encontradas no domínio das Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas.....	137
<b>Tabela 10.</b> Tipos de modelados encontradas na Unidade Geomorfológica denominada de Patamares do Chapadão Ocidental Baiano. ....	139
<b>Tabela 11.</b> Tipos de modelados encontradas na Unidade Geomorfológica denominada de Planalto Dissecado do Tocantins.....	141
<b>Tabela 12.</b> Distribuição em área e percentual dos grandes grupos de solos mapeados na RSE-TO.....	146
<b>Tabela 13.</b> Descrição das unidades de mapeamento, área e percentual.....	167
<b>Tabela 14.</b> Identificação das unidades de aptidão agrícola das terras e área ocupada .....	171
<b>Tabela 15.</b> Disponibilidade hídrica nas macrobacias de interesse.....	218
<b>Tabela 16.</b> Disponibilidade hídrica detalhada nas bacias de interesse.....	218
<b>Tabela 17.</b> Áreas de ocorrências, em km <sup>2</sup> , das formações geológicas em cada bacia hidrográfica da área de estudo.....	224
<b>Tabela 18.</b> Efetivo de animais por município.....	235
<b>Tabela 19.</b> Demanda total estimada para a pecuária nos municípios da área de estudo.....	236
<b>Tabela 20.</b> Demandas totais estimadas por município para a RSE-TO.....	249
<b>Tabela 21.</b> Retiradas, consumos e retornos por setor usuário e por município.....	251
<b>Tabela 22.</b> Demandas distribuídas por bacia hidrográfica.....	253
<b>Tabela 23.</b> Demandas percentuais por bacia hidrográfica.....	255
<b>Tabela 24.</b> Balanço hídrico para as bacias hidrográficas principais.....	258
<b>Tabela 25.</b> Balanço hídrico para as sub-bacias de interesse.....	258
<b>Tabela 26.</b> Quantificação das classes de mapeamento da cobertura e uso da terra - NÍVEL I.....	310



<b>Tabela 27.</b> Quantificação das unidades de mapeamento da cobertura e uso da terra no NÍVEL II.....	310
<b>Tabela 28.</b> Quantificação das unidades de mapeamento da cobertura e uso da terra no NÍVEL III.....	311
<b>Tabela 29.</b> Principais Culturas Temporárias de grãos, área plantada e produção. ....	321
<b>Tabela 30.</b> Principais culturas de frutíferas, área plantada, produção e rendimento médio...	323
<b>Tabela 31.</b> Distribuição por bacia hidrográfica dos graus de vulnerabilidade de paisagens à perda de solo da RSE-TO. ....	349
<b>Tabela 32.</b> Classes adequação do uso da terra a aptidão agrícola na RSE-TO.....	352
<b>Tabela 33.</b> Famílias Assentadas e Agricultores Familiares.....	364
<b>Tabela 34.</b> Pescadores com Cadastro no SIT/MDA. ....	365
<b>Tabela 35.</b> Famílias Beneficiárias e Valores Repassados pelo Programa Bolsa Família.....	368
<b>Tabela 36.</b> Percentual do VAB – Valor Adicionado Bruto para cada setor em cada município para o ano de 2016.....	380
<b>Tabela 37.</b> PIB e População.....	389
<b>Tabela 38.</b> Quantitativo de Bovinos dos Municípios da RSE-TO.....	393
<b>Tabela 39.</b> Principais Culturas Plantadas na Região. ....	395
<b>Tabela 40.</b> Fruticultura na RSE-TO.....	398

### **TOMO III**

<b>Tabela 41.</b> Quantificação das classes de Potencialidade à Escassez Hídrica (PEH) da Região Sudeste do Tocantins. ....	407
<b>Tabela 42.</b> Resultado dos Cenários para o Produto Interno Bruto (R\$, mil).....	450
<b>Tabela 43.</b> Resultado dos Cenários para o VAB Industrial em municípios-polo em 2037 (R\$, mil). ....	485
<b>Tabela 44.</b> Resultado dos Cenários para o VAB Terciário em municípios-polo em 2037 (R\$, mil). ....	486
<b>Tabela 45.</b> Resultado dos Cenários para a População Urbana (habitantes). ....	488
<b>Tabela 46.</b> Resultado dos Cenários para a População Rural (habitantes). ....	490
<b>Tabela 47.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica de Irrigação em 2022 (m3/s). 492	
<b>Tabela 48.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica de Irrigação em 2027 (m3/s). 493	
<b>Tabela 49.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica de Irrigação em 2037 (m3/s). 493	
<b>Tabela 50.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica da Pecuária em 2022 (m3/s). 495	
<b>Tabela 51.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica da Pecuária em 2027 (m3/s). 495	
<b>Tabela 52.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica da Pecuária em 2037 (m3/s). 496	
<b>Tabela 53.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica da Aquicultura em 2022 (m3/s).....	497
<b>Tabela 54.</b> Resultado dos cenários para a demanda hídrica da aquicultura em 2027 (m3/s).....	497
<b>Tabela 55.</b> Resultado dos cenários para a demanda hídrica da aquicultura em 2037 (m3/s).....	497

<b>Tabela 56.</b> Resultado dos cenários para a demanda hídrica da indústria e mineração em 2022 (m3/s).....	499
<b>Tabela 57.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica da Indústria e Mineração em 2027 (m3/s).....	499
<b>Tabela 58.</b> Resultado dos cenários para a demanda hídrica da indústria e mineração em 2037 (m3/s).....	500
<b>Tabela 59.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica de Ab. Urbano em 2022 (m3/s).....	501
<b>Tabela 60.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica de Ab. Urbano em 2027 (m3/s).....	501
<b>Tabela 61.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica de Ab. Urbano em 2037 (m3/s).....	502
<b>Tabela 62.</b> Resultado dos cenários para a demanda hídrica de abastecimento rural em 2022 (m3/s).....	504
<b>Tabela 63.</b> Resultado dos cenários para a demanda hídrica de abastecimento rural em 2027 (m3/s).....	504
<b>Tabela 64.</b> Resultado dos Cenários para a Demanda Hídrica de Ab. Rural em 2037 (m3/s).....	505
<b>Tabela 65.</b> Resultado da Cena Atual para a Demanda Hídrica (m3/s).....	509
<b>Tabela 66.</b> Resultado do Cenário Estagnação para a Demanda Hídrica em 2022 (m3/s)....	509
<b>Tabela 67.</b> Resultado do Cenário Estagnação para a Demanda Hídrica em 2027 (m3/s)....	510
<b>Tabela 68.</b> Resultado do Cenário Estagnação para a Demanda Hídrica em 2037 (m3/s)....	510
<b>Tabela 69.</b> Resultado do Cenário Morosidade para a Demanda Hídrica em 2022 (m3/s).....	511
<b>Tabela 70.</b> Resultado do Cenário Morosidade para a Demanda Hídrica em 2027 (m3/s).....	511
<b>Tabela 71.</b> Resultado do Cenário Morosidade para a Demanda Hídrica em 2037 (m3/s).....	512
<b>Tabela 72.</b> Resultado do Cenário Retomada para a Demanda Hídrica em 2022 (m3/s).....	512
<b>Tabela 73.</b> Resultado do Cenário Retomada para a Demanda Hídrica em 2027 (m3/s).....	513
<b>Tabela 74.</b> Resultado do Cenário Retomada para a Demanda Hídrica em 2037 (m3/s).....	513
<b>Tabela 75.</b> Resultado do Cenário Aceleração para a Demanda Hídrica em 2022 (m3/s)....	514
<b>Tabela 76.</b> Resultado do Cenário Aceleração para a Demanda Hídrica em 2027 (m3/s)....	515
<b>Tabela 77.</b> Resultado do Cenário Aceleração para a Demanda Hídrica em 2037 (m3/s)....	515
<b>Tabela 78.</b> Projeção de demandas e balanço hídrico por bacia hidrográfica principal para a cena de 2022.....	517
<b>Tabela 79.</b> Projeção de demandas e balanço hídrico por bacia hidrográfica principal para a cena de 2027.....	517
<b>Tabela 80.</b> Projeção de demandas e balanço hídrico por bacia hidrográfica principal para a cena de 2037.....	518
<b>Tabela 81.</b> Projeção de demandas e balanço hídrico por sub-bacia hidrográfica para a cena de 2022.....	519
<b>Tabela 82.</b> Projeção de demandas e balanço hídrico por sub-bacia hidrográfica para a cena de 2027.....	520
<b>Tabela 83.</b> Projeção de demandas e balanço hídrico por sub-bacia hidrográfica para a cena de 2037.....	521



## LISTA DE QUADROS

### TOMO I

<b>Quadro 1.</b> Lista de cenas Landsat 8 e data de imageamento. ....	12
<b>Quadro 2.</b> Critérios de aquisição de feições de hidrografia para a escala 1:100.000. ....	27
<b>Quadro 3.</b> Critérios de aquisição de feições de hidrografia para a escala 1:50.000. ....	27
<b>Quadro 4.</b> Dimensões das APPs conforme tipo e largura dos cursos d'água. ....	28
<b>Quadro 5.</b> Classes de Cobertura e uso da terra adotadas no projeto. ....	29
<b>Quadro 6.</b> Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras. ....	37
<b>Quadro 7.</b> Alternativas de utilização das terras de acordo com os grupos de aptidão agrícola. ....	37
<b>Quadro 8.</b> Convenções adicionais utilizadas. ....	39
<b>Quadro 9.</b> Quadro-guia de avaliação da aptidão agrícola das terras – Região Tropical Úmida. ....	43
<b>Quadro 10.</b> Características das classes de adequação de uso da terra à aptidão agrícola. ....	44
<b>Quadro 11.</b> Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas. ....	45
<b>Quadro 12.</b> Equações para o cálculo dos parâmetros fitossociológicos. ....	48
<b>Quadro 13.</b> Equações usadas para estimar de forma não-destrutiva o volume de material lenhoso, biomassa e estoque de carbono do componente arbóreas das formações savânicas e florestais. ....	49
<b>Quadro 14.</b> Classificação climática da UNEP em função do índice de aridez (IA). ....	54
<b>Quadro 15.</b> Classificação do nível de susceptibilidade à desertificação em função do IA. ....	55
<b>Quadro 16.</b> Dados usados para a caracterização das unidades de paisagem para fins de elaboração da carta de potencialidade de escassez hídrica (PEH). ....	62
<b>Quadro 17.</b> Rendimento Específico q90 (L/s.km <sup>2</sup> ). ....	63
<b>Quadro 18.</b> Balanço Hídrico (%) (demanda/Q90). ....	63
<b>Quadro 19.</b> Disponibilidade para novos usos (m <sup>3</sup> /s) (75% da Q90 - Demanda). ....	63

### TOMO II

<b>Quadro 20.</b> Principais jazimentos minerais cadastrados na região. ....	108
<b>Quadro 21.</b> Potencial para novas Ocorrências de Cavidades Naturais da RSE-TO. ....	130
<b>Quadro 22.</b> Classificação do nível de susceptibilidade à desertificação em função do IA. ....	186
<b>Quadro 23.</b> Classes de riscos de escassez hídrica e respectivos valores de vulnerabilidade da RSE-TO. ....	188
<b>Quadro 24.</b> Sumários das variáveis meteorológicas utilizadas no estudo de caracterização da escassez hídrica na RSE-TO. ....	189
<b>Quadro 25.</b> Estações fluviométricas selecionadas. ....	190
<b>Quadro 26.</b> Vazão QMLT para as estações selecionadas. ....	199
<b>Quadro 27.</b> Comparação da QMLT período total e QMLT para os períodos de cheia e estiagem. ....	199

<b>Quadro 28.</b> Vazão Q90 para as estações de interesse. ....	200
<b>Quadro 29.</b> Vazão Q95 para as estações de interesse. ....	201
<b>Quadro 30.</b> Vazões QMLT calculadas para os períodos de El Niño e La Niña. ....	207
<b>Quadro 31.</b> Comparação das vazões QMLT para o período completo e períodos de El Niño e La Niña. ....	208
<b>Quadro 32.</b> Comparação dos Rendimentos Específicos do Plano de Bacias e da Estação 22730000. ....	216
<b>Quadro 33.</b> Vazões de referência para as estações 21050000 e 21080000 para a série de vazões entre 1971 e 1997. ....	218
<b>Quadro 34.</b> Cálculo das vazões específicas para as áreas incrementais ao rio Tocantins. ...	218
<b>Quadro 35.</b> Resumo dos valores das avaliações de parâmetros quantitativos dos aquíferos presentes em cada bacia hidrográfica da região. ....	227
<b>Quadro 36.</b> Parâmetros quantitativos dos aquíferos presentes na Bacia do Rio Balsas. ....	228
<b>Quadro 37.</b> Parâmetros quantitativos dos aquíferos presentes na Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade. ....	228
<b>Quadro 38.</b> Parâmetros quantitativos dos aquíferos presentes na Bacia do Rio Palma. ....	228
<b>Quadro 39.</b> Parâmetros quantitativos dos aquíferos presentes na Bacia do Rio Paranã. ....	229
<b>Quadro 40.</b> Parâmetros quantitativos dos aquíferos presentes na Bacia do Rio São Valério. ....	229
<b>Quadro 41.</b> Parâmetros quantitativos dos aquíferos presentes na Bacia do Rio Tocantins. ...	229
<b>Quadro 42.</b> Outorgas para abastecimento público nos municípios da área de estudo. ....	232
<b>Quadro 43.</b> Faixas de demanda per capita para a População Urbana. ....	232
<b>Quadro 44.</b> Demanda estimada para os municípios da bacia. ....	233
<b>Quadro 45.</b> Demanda para abastecimento humano rural. ....	234
<b>Quadro 46.</b> Volumes diários de uso de água por rebanho. ....	236
<b>Quadro 47.</b> Outorgas para uso industrial e mineração nos municípios da área de estudo. ...	237
<b>Quadro 48.</b> Outorgas emitidas pelo Naturatins para irrigação na área de estudo. ....	239
<b>Quadro 49.</b> Área irrigada ao longo do ano de 2016/2017. ....	239
<b>Quadro 50.</b> Demanda de água para irrigação de culturas. ....	240
<b>Quadro 51.</b> Demanda média de água durante os meses de maio a outubro. ....	241
<b>Quadro 52.</b> Demandas totais por finalidade de uso. ....	249
<b>Quadro 53.</b> Taxas de consumo e retornos de água conforme o uso dos recursos hídricos. ...	250
<b>Quadro 54.</b> Classificação adotada para o PERH/ES quanto aos níveis de comprometimento hídrico. ....	257
<b>Quadro 55.</b> Comparativo entre as vazões médias de longo termo do PERH e deste estudo. ....	262
<b>Quadro 56.</b> Comparativo entre as vazões de referência de outorga e balanços hídricos do PERH e deste estudo. ....	263
<b>Quadro 57.</b> Número de parcelas e área amostrada (ha) em cada fitofisionomia da RSE-TO e localização das áreas de lacunas de conhecimento. ....	264



<b>Quadro 58.</b> Estatística descritiva da densidade (D), área basal (G), volume de material lenhoso (volume), estoque de carbono (C) e biomassa aérea (B) das quatro formações vegetais.....	273
<b>Quadro 59.</b> Análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) da relação entre as 13 variáveis ambientais categóricas e a matriz de similaridade florística do componente arbóreo de áreas de cerrado sensu stricto da RSE-TO.....	276
<b>Quadro 60.</b> Espécies indicadoras significativas (p) com respectivos valores de importância dentro dos grupos fitofisionômicos de cerrado sensu stricto (GFCE) da RSE-TO.....	280
<b>Quadro 61.</b> Parâmetros estruturais médios de densidade, área basal, volume de material lenhoso, biomassa e carbono do estrato arbóreo para os grupos fitofisionômicos de cerrado sensu stricto (GFCE) da RSE-TO.....	282
<b>Quadro 62.</b> Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) da relação entre as 13 variáveis ambientais categóricas e a matriz de similaridade florística do componente arbóreo de áreas de cerradão da RSE-TO.....	288
<b>Quadro 63.</b> Espécies indicadoras significativas (p) com respectivos valores de importância dentro dos grupos fitofisionômicos de cerradão (GFCD) da RSE-TO.....	290
<b>Quadro 64.</b> Diversidade alfa e parâmetros estruturais médios de densidade, área basal, volume de material lenhoso, biomassa e carbono do estrato arbóreo para os grupos fitofisionômicos de cerradão da RSE-TO.....	292
<b>Quadro 65.</b> Análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) da relação entre as 13 variáveis ambientais categóricas e a matriz de similaridade florística do componente arbóreo de áreas de floresta estacional da RSE-TO.....	294
<b>Quadro 66.</b> Espécies indicadoras significativas (p) com respectivos valores de importância dentro dos grupos fitofisionômicos de floresta estacional (GFFE) da RSE-TO.....	298
<b>Quadro 67.</b> Diversidade alfa e parâmetros estruturais médios de densidade, área basal, volume de material lenhoso, biomassa e carbono do estrato arbóreo para os cinco grupos fitofisionômicos de Floresta Estacional da RSE-TO.....	300
<b>Quadro 68.</b> Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) da relação entre as 12 variáveis ambientais categóricas e a matriz de similaridade florística do componente arbóreo de áreas de mata de galeria e ciliar da RSE-TO.....	303
<b>Quadro 69.</b> Espécies indicadoras significativas (p) com respectivos valores de importância nos grupos fitofisionômicos de mata de galeria e ciliar (GFMGC) da RSE-TO.....	306
<b>Quadro 70.</b> Diversidade alfa e parâmetros estruturais médios de densidade, área basal, volume de material lenhoso, biomassa e carbono do estrato arbóreo para os cinco grupos fitofisionômicos de Floresta Estacional da RSE-TO.....	308
<b>Quadro 71.</b> Classificação das substâncias minerais de acordo com o Código de Mineração.....	315
<b>Quadro 72.</b> Relação dos Frigoríficos da Região Sudeste do Tocantins.....	327
<b>Quadro 73.</b> Valores dos atributos para classes de grau de vulnerabilidade Moderadamente Vulnerável.....	341
<b>Quadro 74.</b> Valores dos atributos para classes de grau de vulnerabilidade Medianamente Estável/Vulnerável.....	345
<b>Quadro 75.</b> Valores dos atributos para classes de grau de vulnerabilidade Moderadamente Estável.....	347
<b>Quadro 76.</b> Critérios utilizados para a classificação da adequação ao uso das terras.....	355

<b>Quadro 77.</b> Comunidades Quilombolas na RSE-TO. ....	363
<b>Quadro 78.</b> Valor Adicionado Bruto. ....	393
<b>Quadro 79.</b> Evolução da Composição do VAB por Setores na RSE-TO (%). ....	393
<b>Quadro 80.</b> Relação dos Frigoríficos da RSE-TO. ....	394
<b>Quadro 81.</b> Relação de Industriais/Entrepósitos de Captação de Leite na RSE-TO. ....	394
<b>Quadro 82.</b> Área plantada, produção e produtividade do plantio de soja na RSE-TO. ....	395
<b>Quadro 83.</b> Tradings Instaladas na RSE-TO. ....	396
<b>Quadro 84.</b> Ocupação dos Projetos de Irrigação. ....	398

### **TOMO III**

<b>Quadro 85.</b> Quantificação das classes de potencialidade de escassez hídrica da RSE-TO por bacias hidrográficas. ....	408
<b>Quadro 86.</b> Quantificação das classes de potencialidade de escassez hídrica da RSE-TO por municípios. ....	410
<b>Quadro 87.</b> Distribuição dos pesos de PEH nas subclasses pertencentes à classe Muito Baixo. ....	415
<b>Quadro 88.</b> Distribuição dos pesos de PEH nas subclasses pertencentes à classe Baixo. ...	419
<b>Quadro 89.</b> Distribuição dos pesos de PEH nas subclasses pertencentes à classe Moderado. ....	423
<b>Quadro 90.</b> Distribuição dos pesos de PEH nas subclasses pertencentes à classe Alto. ....	427
<b>Quadro 91.</b> Distribuição dos pesos de PEH nas subclasses pertencentes à classe Muito Alto. ....	430
<b>Quadro 92.</b> Conceituação dos Cenários na Forçante Exógena Econômica. ....	437
<b>Quadro 93.</b> Rede de Influência das Cidades da RSE-TO (municípios com célula em cinza denotam aqueles fora da RSE-TO). ....	445
<b>Quadro 94.</b> Síntese de vetores regionais para composição dos cenários na forçante endógena. ....	470
<b>Quadro 95.</b> Conceituação dos Cenários na Forçante Endógena. ....	472
<b>Quadro 96.</b> Cenários para a Ocupação de Área pela Bovinocultura em 2027 (mil hectares). ....	482
<b>Quadro 97.</b> Participação dos Setores Usuários na Demanda Hídrica (%). ....	508



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Áreas de Preservação Permanente
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CEMG	Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais
CFSR	Sistema de Reanálises para Previsão do Clima
CIM	Carta Internacional ao Milionésimo
CNC	Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil
CNPS	Centro Nacional de Pesquisa de Solos da Embrapa
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil
ET-ADGV	Especificações Técnicas para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
DIMA	Distrito de Irrigação Manuel Alves
DNPM	Departamento da Produção Mineral
DoR	Dominância Relativa
DR	Densidade Relativa
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ET <sub>o</sub>	Índice de Evapotranspiração de Referência
FIETO	Federação de Indústrias de Tocantins
FR	Frequência Relativa
IA	Índice de Aridez
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INCRA	Instituto de Colonização e Reforma Agrária
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISO	International Organization for Standardization, ou Organização Internacional para Padronização
IVI	Índice de Valor de Importância
MDE	Modelo digital de elevação
Mineratins	Companhia de Mineração do Tocantins
Naturatins	Instituto Natureza do Tocantins
NBR	Norma Brasileira aprovada pela ABNT
NCEP	Centro Nacional de Previsão Ambiental
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PDRIS	Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável do Tocantins
PEH	Potencial de Escassez Hídrica
PP	Produto Parcial
RSE-TO	Região Sudeste do Tocantins
SBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SBE	Sociedade Brasileira de Espeleologia
SCE	Sistema Cartográfico do Estado do Tocantins
SDP	Solicitação de Propostas
Seagro	Secretaria de Estado da Agricultura e Pecuária do Tocantins
Sefaz	Secretaria de Estado da Fazenda
Semarh	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
Seplan	Secretaria do Planejamento e Orçamento do Tocantins



SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UnB	Universidade de Brasília
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i> ou Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Unitins	Universidade Estadual do Tocantins
USGS	<i>United States Geological Survey</i> , ou Serviço Geológico dos Estados Unidos
UBC	Unidade Básica de Compartimentação
UP	Unidades de Paisagem
UTM	Universal Transversa de Mercator





# 1 APRESENTAÇÃO

O relatório técnico DIAGNÓSTICO INTEGRADO é parte integrante da DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DAS ÁREAS VULNERÁVEIS À ESCASSEZ HÍDRICA NA REGIÃO SUDESTE DO ESTADO DO TOCANTINS <sup>[1]</sup>. Este trabalho foi desenvolvido no escopo do Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável do Tocantins (PDRIS), elaborado com recursos do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) <sup>[2]</sup>.

O Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável do Tocantins, com vários executores, tem como objetivo fomentar o melhoramento da eficácia do transporte rodoviário e a eficiência de um conjunto selecionado de serviços públicos em apoio a um desenvolvimento integrado e territorialmente equilibrado do Estado. Ele tem como componentes: (i) o Melhoramento Integrado da Eficácia do Transporte; e (ii) o Melhoramento da Eficiência dos Serviços Públicos numa Seleção de Serviços Públicos, no qual se enquadra o presente trabalho

O DIAGNÓSTICO INTEGRADO é um documento muito extenso, representando o resultado de um amplo esforço para uma análise geográfica integrada da Região Sudeste do Tocantins, culminando em diferentes cenários que podem subsidiar o desenvolvimento regional da área estudada. Devido a sua extensão, decidiu-se por dividir o relatório técnico em três tomos: o primeiro - compreende a Introdução, Metodologia e Diagnóstico Socioambiental; o segundo - contém a continuidade do Diagnóstico Socioambiental e a Potencialidade de Escassez Hídrica; e o terceiro - contempla o Prognóstico e Considerações finais.

O Tomo I começa com uma introdução, dirigindo o leitor para uma percepção da abrangência dos resultados dos trabalhos, apresentação dos objetivos, seguindo da caracterização geral da Região Sudeste do Tocantins, onde se descreve sua localização geográfica, divisão político-administrativa e aspectos fisiográficos. Na sequência exibem-se os materiais usados para a realização dos serviços, assim como a metodologia geral para os diagnósticos físico, biótico e socioeconômico, mapeamentos e prognóstico.

Ainda no Tomo I, o Diagnóstico Socioambiental traz informações da Região Sudeste do Tocantins (RSE-TO), abrangendo as áreas temáticas dos meios físico, biótico e socioeconômico com base em dados levantados em campo e dados secundários, obtidos em diversas instituições. Neste tomo, o diagnóstico socioambiental encerra a descrição da RSE-TO em seus aspectos geológicos, (unidades, recursos minerais e espeleologia), relevo, solos e clima.

O diagnóstico é continuado no Tomo II, com a descrição dos recursos hídricos (disponibilidade hídrica superficial, disponibilidade hídrica subterrânea – hidrogeologia, estimativa de

---

<sup>[1]</sup> A DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DAS ÁREAS VULNERÁVEIS A ESCASSEZ HÍDRICA NA REGIÃO SUDESTE DO ESTADO DO TOCANTINS foi executada por meio do contrato nº 19/2017, firmado entre a Secretaria da Fazenda e Planejamento e o CONSÓRCIO SERRAS GERAIS - formado pelas empresas OIKOS PESQUISA APLICADA LTDA e NIPPON KOEI LATIN AMERICA-CARIBBEAN CO. LTDA - NIPPON KOEI LAC DO BRASIL.

<sup>[2]</sup> Contrato de empréstimo nº 8185-0-BR.

demandas hídricas e balanço hídrico), vegetação (cobertura natural nativa, composição florística e espécies especiais, abrangência florística da amostragem e suficiência amostral, e diversidade, estrutura e potenciais usos das principais fitofisionomias), adequação do uso do solo a sua aptidão agrícola, vulnerabilidade de paisagens à perda de solo, e dos aspectos socioeconômicos. Na socioeconomia incluem-se as análises de demografia, dinâmica econômica, saneamento, estrutura fundiária e aspectos socioculturais.

A potencialidade de escassez hídrica também faz parte do Tomo II, e ela é uma seção que traz os aspectos conceituais e contexto da escassez hídrica, e a análise espacial e das características das classes de potencialidade à escassez hídrica. As classes resultam da integração das informações dos meios físico (hidrogeologia, recursos hídricos, clima) e biótico (vegetação), e socioeconômicos (cobertura e uso da terra).

No Tomo III consta o prognóstico e considerações finais do trabalho. O prognóstico trata a concepção dos cenários considerando as forçantes exógenas - as dinâmicas externas que interagem sobre a RSE-TO, advindas de âmbito, nacional e até internacional, e as forçantes endógenas - as dinâmicas internas que interagem sobre o território dado suas particularidades locais, trazendo atividades econômicas. A seção das considerações finais aborda as conclusões e recomendações do trabalho levando em conta os três segmentos: diagnóstico, potencialidade à escassez hídrica e prognóstico.



## 2 INTRODUÇÃO

O Governo do Tocantins tomou uma iniciativa inédita para a formação de um amplo conhecimento sobre a RSE-TO, concernente à questão hidroclimática. A região detentora das menores médias anuais de pluviosidade e das mais altas taxas médias anuais de evapotranspiração do Tocantins, sempre é castigada anualmente durante a estação seca.

A ação governamental foi a de realizar, um zoneamento do potencial de escassez hídrica da região baseado na análise de paisagens, para em um segundo momento, procurar estabelecer um portfólio de ações para amenizar os impactos sociais e ambientais das secas que se repetem anualmente. Para esse zoneamento, foram definidos como objetivos específicos:

a) identificar e delimitar as áreas vulneráveis a escassez hídrica na região RSE-TO, em escala de 1:100.000, e detalhamento em escala de 1:50.000 das áreas críticas identificadas, usando imagens de sensoriamento remoto, trabalho de campo e sobretudo dados climatológicos, em especial índices de aridez tendo por base série histórica dos postos pluviométricos e estações meteorológicas;

b) caracterizar e analisar as áreas de escassez hídrica em termos físicos (geologia, relevo, solos, climatologia, paisagens), bióticos (vegetação) e socioeconômicos (demografia, usos da terra, entre outros);

c) representar cartograficamente a escassez hídrica na RSE-TO, a partir de variáveis que permitam a determinação do comportamento climático no município;

d) elaborar diagnóstico hidroclimático da RSE-TO para a caracterização climática e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, com base em dados secundários.

Todos os objetivos foram alcançados por meio dos trabalhos para o zoneamento do potencial de escassez hídrica, resultante da integração de dados biofísicos e socioeconômicos. Para tanto, foram realizados diversos trabalhos auxiliares com a geração de planos de informação cartográficos básicos, temáticos de recursos naturais e de sistemas ambientais vinculados aos diagnósticos dos meios físico, biótico e socioeconômico.

Os planos gerados tiveram como elementos principais, unidades de paisagens cartografadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e levantamento de campo. Como os temas clima e recursos hídricos são fundamentais na análise do potencial de escassez hídrica da região, elaborou-se, um diagnóstico hidroclimático com a variáveis climáticas e de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, baseado em dados secundários. Neste diagnóstico foram produzidos planos de informação das variáveis precipitação, temperatura, deficiência hídrica, umidade do ar, evapotranspiração e índice de aridez. Na questão hídrica, foram especializadas as disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas, assim como a demanda hídrica por sub-bacias que integram a RSE-TO, considerando os usos com abastecimento público, abastecimento humano rural, pecuária, indústria e mineração, irrigação e piscicultura.

Já as informações de socioeconomia da região foram centradas nas análises dos aspectos políticos, históricos, culturais e socioeconômicos, demografia, emprego e renda, dinâmica econômica e uso da terra, e produto interno bruto com relações diretas com uso e gerenciamento dos recursos hídricos.

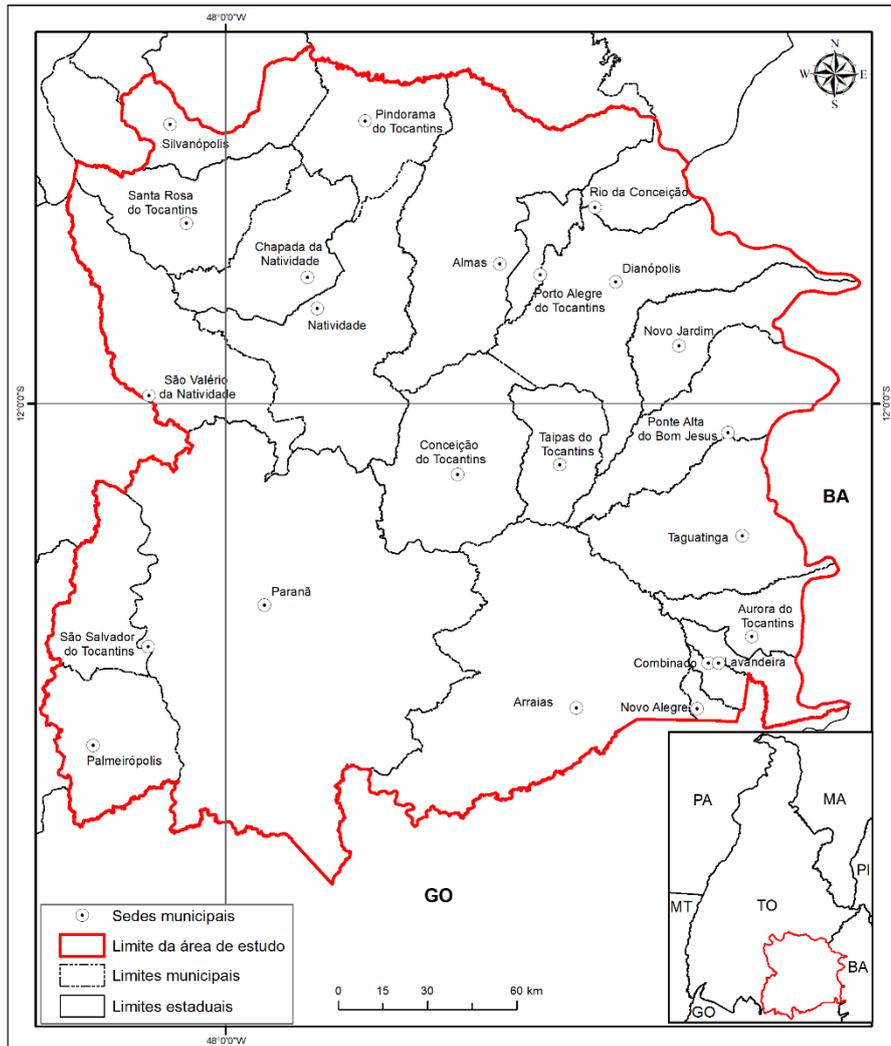
Os diagnósticos também culminaram em um grande banco de dados geográficos estruturado em sistema de informações geográficos obedecendo as recomendações e especificações do Sistema Cartográfico do Estado do Tocantins (SCE) e da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Todos os temas dos meios físico, biótico e socioeconômico (uso da terra) possuem células comuns de análise - as unidades de paisagem. Por meio da análise geográfica integrada dessas células com regras definidas e segundo operações booleanas (álgebra de mapas), é que foi produzido o zoneamento do potencial de escassez hídrica da Região Sudeste do Tocantins.

Com toda informação organizada e que pode ser acessada de forma rápida, o governo estadual pode agir para solucionar problemas em setores ou municípios da região direcionando a implementação de políticas públicas. Essas políticas devem permitir a mitigação dos efeitos da escassez hídrica nas áreas mais críticas ou servirem para a proteção das áreas produtoras de água, ou ainda, direcionar incentivos com efeitos positivos diretos para uma produção agropecuária sustentável em termos do uso de recursos naturais, manutenção/produção de água, conservação dos ambientes com maior fragilidade natural, e para a melhoria efetiva das condições de vida da população. Além das ações citadas, o governo estadual também pode utilizar o banco de dados para outras análises geográficas do território subsidiando o planejamento e desenvolvimento regional.



### 3 ÁREA ESTUDADA

A RSE-TO está localizada na Mesorregião Oriental do estado (Figura 1). Sua população foi estimada, em 2018 pelo IBGE em 140.083 habitantes e está dividida em vinte e três municípios, cobrindo uma área total de 51.775 km<sup>2</sup> (SEPLAN, 2012a).



**Figura 1.** Localização da área estudada: Região da RSE-TO.

Fonte: Elaboração do Autor.

A região tem como principais cidades, Dianópolis - seu principal centro urbano, Taguatinga e Arraias. Ela é bastante conhecida em todo o estado pelas suas serras e pelo seu clima relativamente ameno (se comparado ao restante do Tocantins), sendo também chamada de região serrana do Tocantins. Suas principais serras são a Serra Geral e a Serra das Traíras (ou das Palmas), a qual está localizada no município de Paranã e abriga o ponto culminante do estado. Devido à sua altitude relativamente elevada para os padrões do Tocantins, boa parte das cidades da região está entre as mais altas cotas altimétricas do estado.

A RSE-TO engloba cinco bacias hidrográficas do Sistema Hidrográfico Tocantins: Paranã, Palmas, São Valério, Manuel Alves da Natividade e das Balsas. O clima da região é classificado como úmido subúmido, conforme o método Thornthwaite, com precipitação média anual variando de 1.300 a 1.600 mm (SEPLAN, 2009). A precipitação ocorre concentrada entre novembro e abril (estação chuvosa), enquanto, que a estação de seca é marcada por elevado déficit hídrico (SEPLAN, 2009).

Em termos geológicos, a RSE-TO possui elevada heterogeneidade com predomínio de embasamentos em estilos complexos associadas ao compartimento das depressões e morrarias de Conceição do Tocantins e ao subdomínio hidrogeológico do Cristalino (SEPLAN, 2009). Os ambientes de faixas orogênicas e depósitos sedimentares inconsolidados estão presentes no compartimento geoambiental dos patamares de Taipas do Tocantins e Combinado e, no domínio hidrogeológico dos carbonatos/metacarbonatos (SEPLAN, 2009). O ambiente geológico das Bacias Sedimentares, na borda leste da região, sobrepõe-se ao compartimento geoambiental das Chapadas do Jalapão e ao domínio hidrogeológico da Bacia do Urucuia (SEPLAN, 2009). Devido a complexa variação da geologia regional, a região apresenta variados tipos de solos, com transições e contatos abruptos em pequenas distâncias. O predomínio é de plintossolos pétricos, Neossolos quaternários e argissolos, embora estejam presentes, os cambissolos e chernossolos, em áreas mais restritas (SEPLAN, 2009). As variações edáficas regionais são, geralmente, acompanhadas por mudanças na cobertura vegetal (SEPLAN, 2009).

A cobertura vegetal está entre as mais preservadas do estado do Tocantins e por isso a região engloba quatro áreas prioritárias e quatro áreas potenciais para conservação (SEPLAN, 2012a). A fitofisionomia predominante é o cerrado *sensu stricto*. Além dos quatro subtipos mais comuns do Cerrado *sensu stricto* (rupestre, ralo, típico e denso), a região exibe vastas áreas cobertas por um subtipo diferenciado: o Cerrado Decíduo (SEPLAN, 2013). Esse subtipo de cerrado concentra-se nos municípios de Paranã, Arraias e Conceição do Tocantins e é resultado da combinação entre a marcante sazonalidade da precipitação e as condições edáficas de alta disponibilidade de nutrientes e baixa drenagem natural. Esse nicho ambiental diferenciado favorece o desenvolvimento de indivíduos de poucas espécies arbóreas (monodominância), entre elas: *Callisthene fasciculata* (capitão-do-campo), *Jacaranda brasiliana* (caroba ou boca-de-sapo), *Astronium fraxinifolium* (gonçalo-alves), *Magonia pubescens* (tingui). Essas espécies são consideradas indicadoras de solos de elevada fertilidade dentro do bioma Cerrado (RATTER *et al.*, 2003, BRIDGEWATER *et al.*, 2004).

Apesar do predomínio de formações savânicas, a RSE-TO exibe inúmeras e extensas áreas cobertas por formações florestais, seja: (i) na forma de cerradão em áreas de transição savana e floresta; (ii) nas margens dos corpos hídricos (mata de galeria e ciliar); (iii) também, sobre afloramentos e solos derivados de rochas carbonáticas, interflúvios e encostas secas (MEDEIROS *et al.*, 2014, HAIDAR *et al.*, 2009, HAIDAR *et al.*, 2013a). Nessas últimas situações ambientais, as áreas são cobertas por florestas estacionais decíduais e semidecíduais. Essas formações florestais do Cerrado são consideradas relictos disjuntos de uma ampla e contínua floresta (PRADO; GIBBS, 1993) que, a cerca de 20.000 anos atrás, cobriu desde o maior núcleo Neotropical de florestas secas, localizado no Nordeste do Brasil



(bioma Caatinga), se estendeu por todo o Brasil Central (Cerrado) e a borda sul da Amazônia (PENNINGTON *et al.*, 2000), atingindo o sul do Paraguai e a periferia do Chaco (Florestas Pré-Chaúenhas) e do Pantanal, e potencialmente ocupou os vales secos Interandinos.

Apesar de reduzidas em área, as florestas estacionais comportam espécies de plantas endêmicas (MENDONÇA *et al.*, 2008, BANDA-R *et al.*, 2016) que contribuem para o status de *hotspot* de biodiversidade atribuída ao Cerrado (MYERS *et al.*, 2000), além de servir como reservatórios de produtos madeireiros e não madeireiros para comunidades rurais e tradicionais da região (FELFILI, 2003; SCARIOT; SEVILHA, 2005; PEREIRA *et al.*, 2011).





## 4 MATERIAL E METODOLOGIA

Organizou-se o trabalho de Delimitação e Caracterização Cartográfica das Áreas Vulneráveis a Escassez Hídrica na Região Sudeste do Estado do Tocantins observando a disponibilidade de recursos técnicos e operacionais para trabalhos em gabinete e campo, e de acordo com a sequência de atividades e tarefas constantes na Estrutura Analítica do Projeto. A seguir são apresentados o material e a metodologia, com a descrição dos principais passos para a realização do trabalho.

### 4.1 Material

Apesar de o trabalho ter um caráter multidisciplinar, diversos materiais foram utilizados em mais de um tema abordado no trabalho, sendo eles de uso comum, tais como as bases cartográficas, sistemas de informações geográficas e imagens de satélites, entre outros.

Os principais materiais usados para a realização dos trabalhos foram:

- sistemas de informações geográficas ArcGIS;
- base de dados montada para o mapeamento das regiões fitoecológicas e inventário florestal do estado do Tocantins, contendo: (i) imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5, com a resolução espacial de 30 m - bandas TM3, TM4 e TM5 ortorretificadas; (ii) planos de informação de hidrografia, vegetação, relevo, limites municipais, estradas e sedes municipais; (iii) planos de informação de cobertura e uso da terra dos anos 1990, 2000, 2005 e 2007, pertencentes ao Projeto Estudo da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra no Estado do Tocantins; (iv) plano de informação de áreas prioritárias para conservação ambiental (SEPLAN, 2008); (v) imagens Landsat 8, bandas 4, 5 e 6, e imagens Plêiades fornecidas pela Sefaz-TO;
- folhas topográficas na escala 1:100.000 do Projeto GeoTocantins (Base digital);
- hidrografia 1:25.000 elaborados para fins do Cadastro Ambiental Rural (CAR) da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Semarh);
- dados preexistentes nas instituições do Governo do Estado do Tocantins (Sefaz, Seagro, Semarh e Naturatins) e do Governo Federal, tais como: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA);
- imagens *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM);
- imagens disponíveis e recursos do Google Earth;
- cartas-imagem Landsat (2007) com locais planejados para amostragem;

- registros de Vazão - para cálculo das variáveis hidrológicas - registros de vazão média diária das estações fluviométricas de interesse, disponibilizados por meio do site [snirh.gov.br](http://snirh.gov.br);
- climatologia do Brasil (NIMER, 1989) - referência bibliográfica utilizada para auxílio na definição dos períodos de escassez hídrica;
- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Tocantins;
- Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios das Balsas e São Valério;
- dados climáticos obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), uma malha de dados mais apropriada para o mapeamento das variáveis com base em dados diários, no período de janeiro/1979 a julho/2014, do Sistema de Reanálises para Previsão do Clima (CFSR) do Centro Nacional de Previsão Ambiental (NCEP);
- fichas de campo para registro dos dados de mapeamento;
- computadores tipo *desktop*, para organização, preparação e tratamento dos dados;
- programa *Trackmaker* para navegação por GPS;
- *notebooks*, máquinas fotográficas digitais, GPS de navegação;
- mochila 30 litros, bolsa térmica, gelo em gel, trena, suta, fita métrica, facão, lima, tesoura de poda, haste do podão, cabeça do podão (corta galhos), garrafa d'água de cinco litros, binóculo, kit primeiros socorros, prancheta e fita crepe;
- Equipamento de Proteção Individual (EPI) - perneira, capa de chuva, luva, botina, boné, camisa manga longa e meião;
- material de herborização botânica - prensa de madeira, chapa de alumínio, jornal e saco plástico;
- impressoras e *scanner* A3;
- veículos *off road* 4x4, entre outros.

## 4.2 Metodologia

O trabalho envolveu diversas etapas concomitantes ou não, em que todos os seus resultados foram previstos para subsidiar a formação de uma base de dados geográficos contemplando planos de informação com atributos capazes de permitir o zoneamento do potencial de escassez hídrica da RSE-TO.

O arcabouço metodológico para o zoneamento do potencial de escassez hídrica da RSE-TO, envolve oito etapas, cujos procedimentos e métodos de trabalho são peculiares a cada uma delas, e são procedimentos clássicos descritos em diversos manuais técnicos de mapeamento de temas das geociências.

A Figura 2 ilustra o arranjo desse arcabouço do trabalho com suas etapas, as quais são descritas nas seções subsequentes.

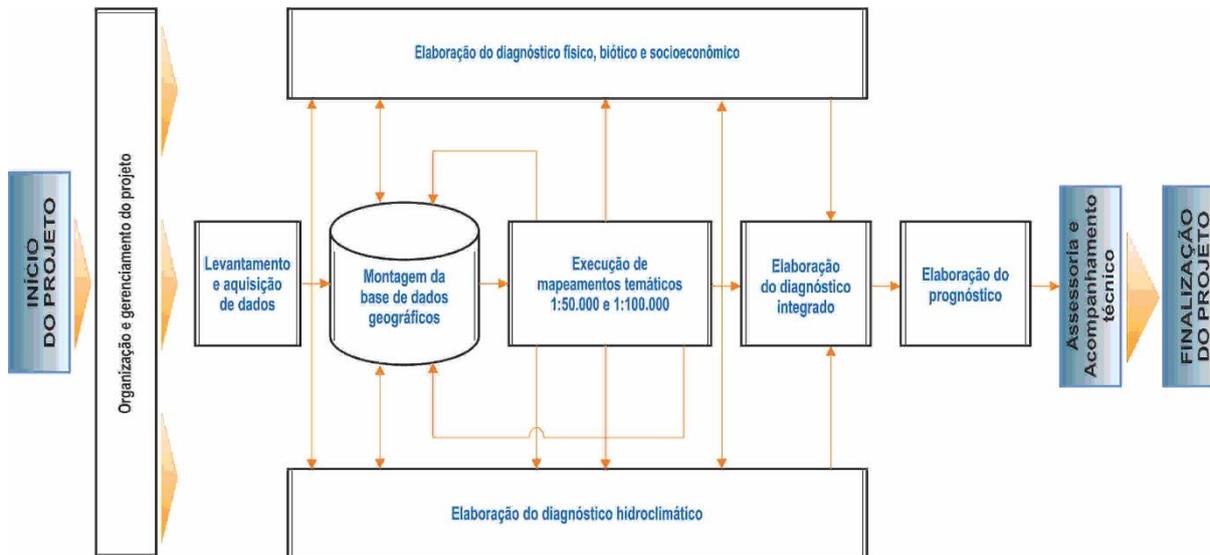


Figura 2. Organograma das macroatividades do projeto.

#### 4.2.1 Organização e gerenciamento do projeto

A organização e gerenciamento do projeto compreende as atividades de relacionamento com a SEFAZ-TO e o conjunto de atividades dos serviços, incluindo também o controle da qualidade dos produtos.

A organização e gerenciamento do projeto contou com as seguintes atividades:

- i. coordenação dos serviços e mobilização das equipes;
- ii. definição e revisão das atividades do plano de trabalho;
- iii. realização de reuniões técnicas;
- iv. administração do projeto;
- v. emissão de mapas;
- vi. emissão de relatórios;
- vii. validação de produtos cartográficos e relatórios (controle de qualidade); e
- viii. consolidação dos produtos cartográficos e relatórios.

#### 4.2.2 Levantamento e aquisição de dados

##### 4.2.2.1 Aquisição de imagens de sensores remotos

Foram pesquisadas e adquiridas imagens dos satélites Landsat 8, no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ou do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). As imagens foram adquiridas com a data mais recente em relação ao início dos trabalhos e desprovidas de cobertura de nuvens (Quadro 1). Também foram obtidas as imagens Landsat

5, para o ano 2007 que estão disponíveis na Secretaria da Fazenda e Planejamento do Estado do Tocantins (Sefaz-TO), e que já se encontram ortorretificadas.

Nesta atividade adquiriu-se as imagens Plêiades com resolução espacial de 0,5 m junto à Sefaz-TO para servir de base para os mapeamentos, definição de unidades de paisagem, entre outros.

Os dois conjuntos de imagens (Landsat 8 e Plêiades) foram recortados conforme a Carta Internacional ao Milionésimo (CIM) equivalente às cartas em escala 1:100.000.

**Quadro 1.** Lista de cenas Landsat 8 e data de imageamento.

Órbita-Ponto	Data imageamento	Órbita-Ponto	Data imageamento
222-68	28/07/2016	221-68	22/08/2016
220-69	15/08/2016	222-69	14/09/2016
222-69	28/07/2016	221-69	22/08/2016
222-67	28/07/2016		

Fonte: Elaboração do Autor.

#### 4.2.2.2 Aquisição de dados cartográficos, temáticos, altimétricos, hídricos e climatológicos

A aquisição de dados cartográficos para a montagem da base de dados do projeto envolve a coleta dos dados já disponíveis na Sefaz-TO, referentes às folhas topográficas do mapeamento sistemático brasileiro referente à cobertura do estado do Tocantins, na escala de 1:100.000 (Projeto GeoTocantins).

Nesses dados realizou-se uma análise para verificação da consistência e qualidade (confiabilidade, precisão, projeção cartográfica, etc.) para a validação de seus usos na montagem do banco de dados. Após a análise, os arquivos foram inseridos no banco de dados geográficos do projeto.

Ainda em termos de dados cartográficos básicos, obteve-se junto à Sefaz a hidrografia do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Essas cartas foram fundamentais para a melhoria da extração de informações associadas às áreas de preservação permanente associadas com cursos d'água, para a atualização da cartografia básica em escala de 1:100.000 e para a geração da cartografia de escala 1:50.000.

Os dados temáticos correspondem àqueles disponíveis na Sefaz-TO, IBGE, Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Embrapa e outras instituições de interesse ao projeto.

Na Sefaz foram adquiridos todos os dados citados na Seção 11. ELEMENTOS DISPONÍVEIS, do termo de referência (pág. 78). No sítio do IBGE realizou-se a busca dos mapas de geologia, geomorfologia e solos do Tocantins. No Serviço Geológico do Brasil obtiveram-se os dados geológicos em sistema de informações geográficas ArcGIS e publicados em formato PDF (relatório e mapas), e no Departamento da Produção Mineral (DNPM), as informações sobre mineração (arquivos digitais em formato *shapefile*).

Os dados altimétricos são aqueles provenientes do modelo digital de elevação (MDE) obtido pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Os dados usados vêm do site do INPE, com



resolução espacial de 30 m originados a partir do refinamento do MDE original de 90 m (Projeto TOPODATA)<sup>[3]</sup>.

Os dados hídricos utilizados para desenvolvimento dos estudos referem: (a) registros de Vazão - para cálculo das variáveis hidrológicas, foram utilizados os registros de vazão média diária das estações fluviométricas de interesse, os quais são disponibilizados por meio do site snirh.gov.br.; (b) relatório Mapeamento das Áreas Susceptíveis à Escassez Hídrica na RSE-TO: uma Visão Climatológica - este relatório é parte integrante do estudo e foi integrado aos estudos na avaliação da disponibilidade hídrica dos períodos mais críticos quanto à escassez hídrica, tendo em vista a ocorrência de fenômenos climatológicos e as séries de vazões regionalizadas; (c) climatologia do Brasil (NIMER, 1989) - referência bibliográfica utilizada para auxílio na definição dos períodos de escassez hídrica; (d) Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Tocantins (TOCANTINS, 2011a); (e) Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios das Balsas e São Valério (TOCANTINS, 2011b) - referência utilizada para avaliação da regra de regionalização da bacia do rio das Balsas.

Os dados climáticos foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); entretanto, eles estão disponíveis em poucos municípios da RSE-TO. Neste sentido, foi estabelecida uma malha de dados mais apropriada para o mapeamento das variáveis com base em dados diários, no período de janeiro de 1979 até julho de 2014, do Sistema de *Reanalysis* para Previsão do Clima (CFSR) do Centro Nacional de Previsão Ambiental (NCEP).

#### **4.2.2.3 Levantamento de publicações técnico-científicas**

Foram realizados diversos levantamentos de publicações técnico-científicas das áreas física, biótica e socioeconômica em bases de dados disponíveis na internet, mantidas por universidades, centros de pesquisas e, instituições nacionais e internacionais, e organizações governamentais e não governamentais.

Os documentos serviram de base para análises, revisões e compilações de textos e dados estatísticos, a fim de se obter um nível de entendimento que facilitasse o desenvolvimento das atividades de mapeamentos diversos, dos diagnósticos e prognóstico descritos para os serviços.

### **4.3 Montagem do banco de dados geográficos**

#### **4.3.1 Concepção dos bancos de dados espaciais**

Nesta atividade, foi definida a modelagem do projeto usando ambiente ArcGIS, criando *geodatabases* que contém *datasets*, que armazenaram as informações temáticas secundárias e geradas nestes serviços, em escalas 1:100.000 e 1:50.000, conforme os recortes da Carta Internacional ao Milionésimo (CIM) e bases contínuas para toda a área de trabalho.

---

<sup>[3]</sup> O projeto TOPODATA oferece o MDE e suas derivações locais básicas em cobertura nacional (VALERIANO, 2005) a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS.

Nos *datasets* das bases cartográficas e temáticas, as informações geográficas foram organizadas segundo o Sistema Geodésico Brasileiro (SIRGAS 2000) na projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), enquanto, que os *datasets* de bases contínuas abrigam as informações em sistema de coordenadas geográficas com SIRGAS 2000.

A Figura 3 exemplifica os fluxogramas para a concepção das *geodatabases* em ambiente ArcGIS.

Os planos de informações inseridos nas *geodatabases* passaram pela validação topológica obedecendo as regras para cada tipo de representação vetorial, sendo:

- Polígonos: não devem se sobrepor; não devem conter fendas; não devem conter geometrias inválidas; não devem conter duplicatas.
- Linhas: não devem interceptar-se sem um nó; não devem conter duplicatas; não devem conter geometrias inválidas, não devem conter pseudonós, não devem conter oscilações;
- Pontos: devem estar dentro da área estudo, não deve ser duplicado, não devem ter geometria inválidas.

Todos os arquivos vetoriais que compõem as *geodatabases* possuem o seu conjunto de especificações (metadados) de acordo com o padrão ISO 19115:2003, oficialmente utilizado pelo Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais (CEMG) da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR).

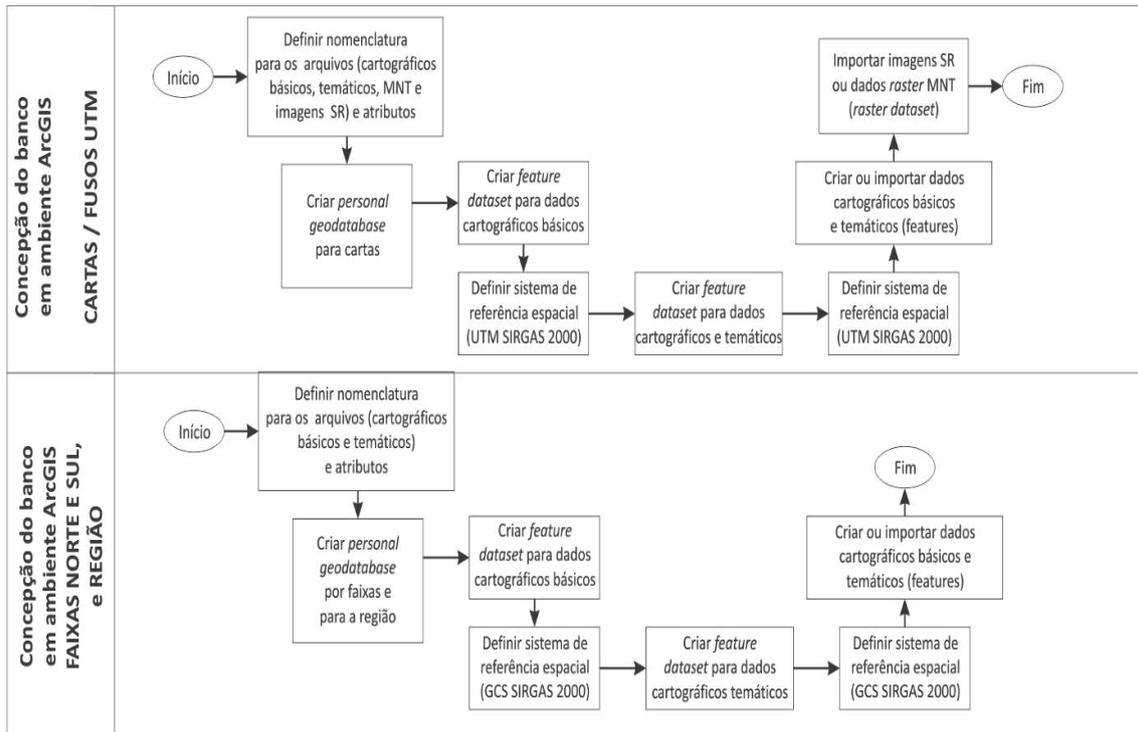


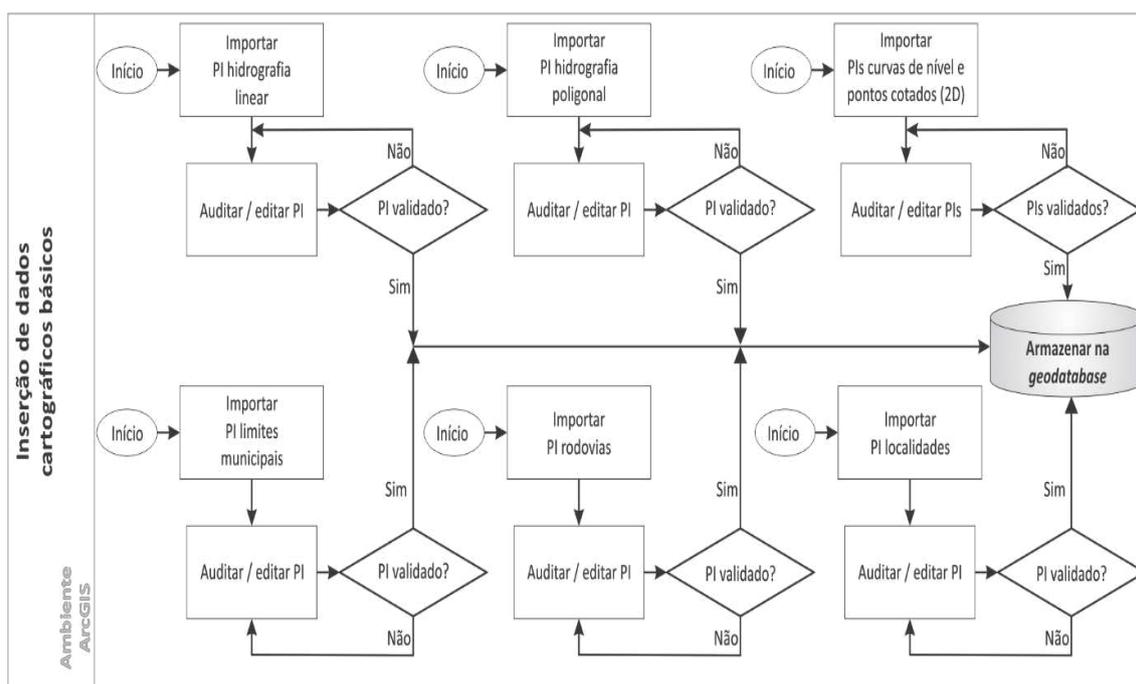
Figura 3. Fluxogramas de concepção das *geodatabases* para cartas segundo fusos UTM, faixas e RSE-TO.

Fonte: Modificado a partir de Dias (2008).

#### 4.3.2 Inserção de dados cartográficos, temáticos, altimétricos hídricos e climatológicos

As *geodatabases* receberam planos de informações de dados cartográficos (hidrografia, estradas, limites e sedes municipais), temáticos (geologia, relevo, solos, aptidão agrícola, climatológicos, vegetação, cobertura e uso da terra, unidades de paisagens, unidades básicas de compartimentação (UBCs), áreas de preservação permanente, áreas suscetíveis à escassez hídrica, mineração, vulnerabilidade natural à perda de solo por erosão, adequação do uso da terra à aptidão agrícola, disponibilidade hídrica superficial, zonas de exploração de águas subterrâneas) e de altimetria (SRTM).

A Figura 4 ilustra o processo de inserção de dados cartográficos básico na *geodatabase*. As informações geográficas geradas durante os serviços alimentaram as *geodatabases* à medida que iam sendo confeccionadas e validadas em termos de qualidade.



**Figura 4.** Exemplo de um fluxo do processo de montagem dos dados cartográficos básicos em ambiente ArcGIS (*geodatabase*).

Fonte: Modificado de Dias (2008).

#### 4.3.3 Inserção/processamento das imagens de sensoriamento remoto

As imagens Landsat 8 foram importadas em *software* de processamento de imagens (Spring e ou ArcGIS) onde aconteceu as operações de correção dos efeitos atmosféricos, registro de imagens, realces espectrais e mosaicagem.

A correção dos efeitos atmosféricos foi pelo método de subtração do pixel escuro de Chaves Jr. (1975). O georreferenciamento das imagens de satélite Landsat 8 ocorreu usando o método de registro imagem *versus* imagem, com a imagem de referência sendo o mosaico Landsat 5 do ano de 2007 da Sefaz ou de imagens Plêiades.

As imagens foram registradas na projeção cartográfica UTM com datum SIRGAS2000, respeitando os fusos UTM. Após o processo de georreferenciamento, foi realizado o tratamento digital de imagens, que envolve a manipulação das imagens por meio de técnicas de realce e a mosaicagem das imagens.

O mosaico foi projetado em coordenadas geográficas, exportados para o formato geotiff. O processo tratamento e mosaicagem, e exportação, foi repetido para as imagens SRTM.

Para incorporar as imagens na *geodatabase*, foi criado um *raster dataset*, equivalentes aos mosaicos Landsat e SRTM (importação dos dados), e também a todos os arquivos raster resultantes da interpolação dos dados climáticos.

As imagens Plêiades cedidas pela Sefaz, receberam um tratamento digital de realce, de modo a melhorar a visualização das feições a serem mapeadas. Para o processo de realce foram utilizadas as ferramentas disponíveis no *software* Global Mapper e ArGIS. Devido ao espaço



físico ocupado pelo conjunto de imagens Plêiades, optou-se por não as incorporar a *geodatabase*. Elas foram entregues num diretório separados para avaliação da Sefaz-TO.

#### 4.3.4 Nomenclatura dos arquivos e dos campos de atributo

Os planos de informação vetoriais e *rasters* (*feature class*), foram organizados em nove grandes grupos (*feature dataset*), conforme descrito a seguir:

- Base\_Cartografico\_Integrado\_GCS\_SIRGAS\_2000 - Arquivos vetoriais, referentes a divisão municipal, estadual e federal, hidrografia, sedes municipais, sistema de transporte (ferrovias e rodovias), áreas institucionais e especiais.
- Base\_Cartografico\_100mil\_UTM\_F22S\_SIRGAS\_2000 – Arquivos vetoriais da hidrografia revisados na escala 1:100.000 do fuso 22, articulados conforme o CIM na mesma escala.
- Base\_Cartografico\_100mil\_UTM\_F23S\_SIRGAS\_2000 – Arquivos vetoriais da hidrografia revisados na escala 1:100.000 do fuso 23, articulados conforme o CIM na mesma escala.
- Base\_Cartografico\_50mil\_UTM\_F22S\_SIRGAS\_2000 – Arquivos vetoriais da hidrografia revisados na escala 1:100.000 do fuso 22, articulados conforme o CIM na escala 1:100.000.
- Base\_Cartografico\_50mil\_UTM\_F23S\_SIRGAS\_2000 – Arquivos vetoriais da hidrografia revisados na escala 1:100.000 do fuso 23, articulados conforme o CIM na escala 1:100.000.
- Base\_Tematica\_Integrado\_GCS\_SIRGAS\_2000 - Arquivos vetoriais de unidades básicas de geologia, geomorfologia, solos, regiões fitoecológica e cobertura uso dos solos revisados, área de preservação permanente (APP), áreas úmidas, veredas, escassez hídrica, unidade básica de compartimentação (UBC) e unidade de paisagem (UP) na escala 1:50.000.
- Base\_Tematico\_50Mil\_UTM\_F22S\_SIRGAS\_2000 - arquivos vetoriais de áreas de preservação permanente (APP), áreas úmidas, veredas, escassez hídrica, unidade básica de compartimentação (UBC) e unidade de paisagem (UP) na escala 1:50.000 do Fuso 22, articulados conforme a CIM na escala 1:100.000.
- Base\_Tematico\_50Mil\_UTM\_F23S\_SIRGAS\_2000 - arquivos vetoriais de áreas de preservação permanente (APP), áreas úmidas, veredas, escassez hídrica, unidade básica de compartimentação (UBC) e unidade de paisagem (UP) na escala 1:50.000 do Fuso 23, articulados conforme a CIM na escala 1:100.000.
- Base\_Raster - mosaico de imagens Landsat 8 e SRTM, e arquivos *raster* produtos da interpolação de dos dados climáticos com: deficiência hídrica, evapotranspiração potencial e de referência, unidade, temperatura, precipitação, aridez, excedente hídrico, risco de desertificação.

Para nominar os planos de informações, optou-se por seguir o padrão já utilizado na Base de Dados Geográficos do Estado do Tocantins, informando o título dos dados, o modelo de vetor, a escala de apresentação, e a articulação e/ou projeção geométrica dos dados.

Quanto à nomenclatura dos campos de atributos dos arquivos vetoriais, foram observadas as seguintes condições:

- atributos são colunas em tabelas e devem descrever ou qualificar características de um tema (objeto/tabela).
- os nomes dos atributos (campos) serão ordenados levando em consideração sua importância.
- foram utilizados nomes no singular;
- nomes foram iniciados com letras;
- não foram utilizadas acentuação ou cedilha;
- não foram utilizados caracteres especiais, tais como: <, >, /, \, “, :, ?, \*, |, ,, =, `;
- não foram utilizadas preposições, artigos, conectivos, etc.;
- números foram utilizados quando necessário;
- atributos (campos) de um mesmo tema (objeto/tabela) não possuirão nomes iguais, entretanto, atributos de temas (objetos/tabelas) diferentes poderão possuir o mesmo nome;

A Figura 5 mostra a estrutura organizacional do banco de dados e exemplos de nomenclatura dos planos de informações. Ainda sobre os planos de informações do banco de dados geográficos, em todos foram preenchidas as informações de descrição do conteúdo, elaboração, origem e localização espacial dos dados, contidas na descrição de conteúdo, conforme na Figura 6.

Foram organizados dois apêndices para a base de dados: (a) Apêndice A - listadas as informações do conteúdo das colunas de atributos de cada plano de informação do banco de dados; e (b) Apêndice B - resume os metadados, com informações estabelecidos no Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (BRASIL, 2011).

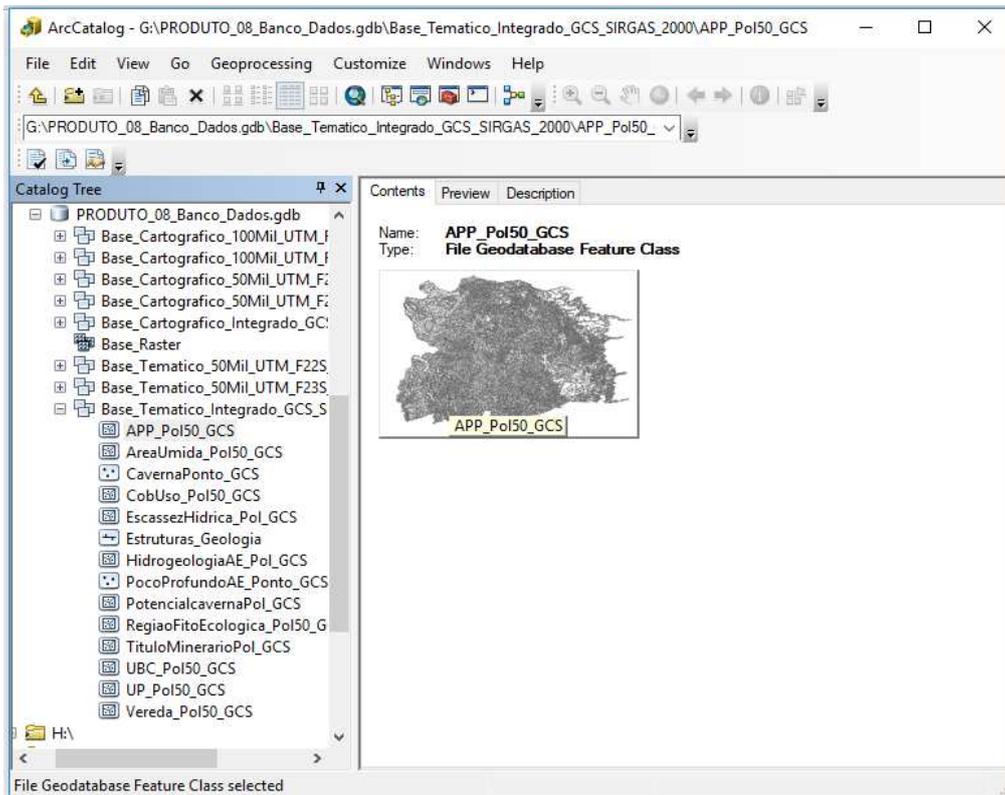


Figura 5. Organização da geodatabase.

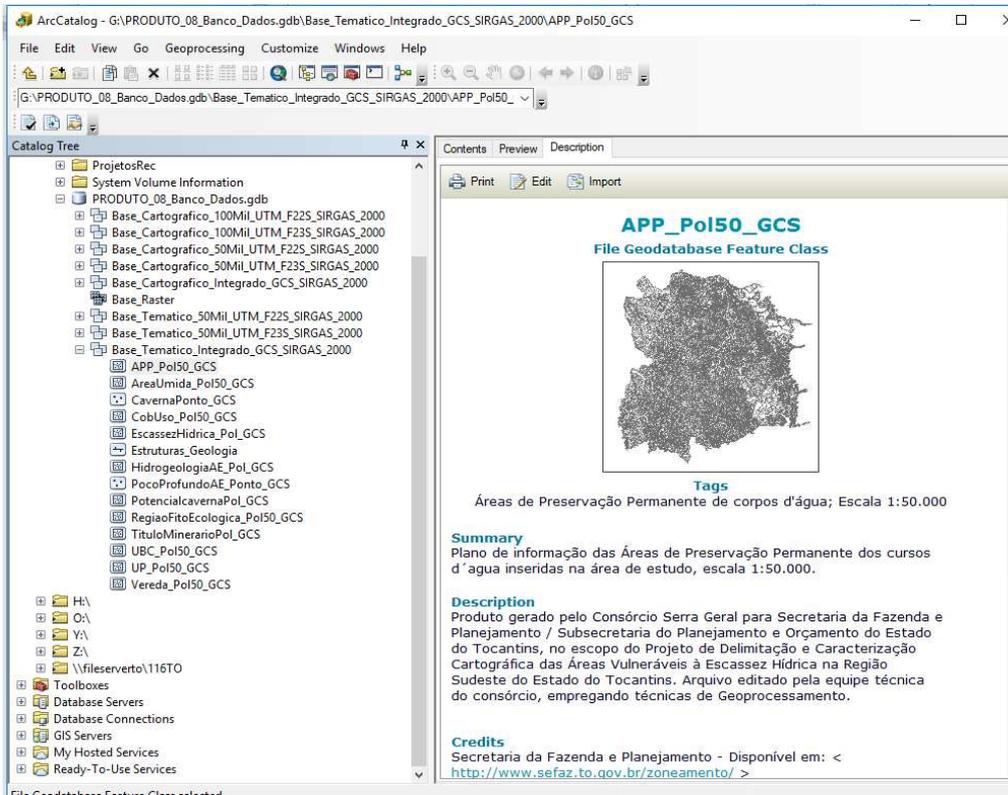


Figura 6. Exemplo de descrição dos planos de informação na geodatabase.

## 4.4 Mapeamentos temáticos

Os mapeamentos temáticos envolvem trabalhos nas escalas, 1:100.000 e 1:50.000 e contempla os sistemas ambientais (geologia, geomorfologia e solos), recursos naturais (cobertura vegetal, recursos hídricos, áreas de preservação permanente), cobertura e uso da terra e as áreas suscetíveis à escassez hídrica.

### 4.4.1 Sistemas ambientais

Para a cartografia dos sistemas ambientais nas escalas 1:100.000 e 1:50.000, utilizaram-se as unidades básicas de compartimentação (UBCs), envolvendo os processos de: (i) mapeamento e caracterização das unidades básicas de compartimentação (UBCs); (ii) identificação das unidades geologia-relevo-solo (sistemas ambientais); (iii) hierarquização das unidades geologia-relevo-solo; (iv) mapeamento das unidades de paisagem; (v) caracterização das unidades de paisagem; e (vi) geração da carta de potencialidade de escassez hídrica.

O mapeamento e caracterização das unidades básicas de compartimentação compreende, inicialmente, a identificação e delimitação das unidades seguindo os procedimentos de Vedovello (2000). Este método prevê a compartimentação fisiográfica do terreno pela obtenção de UBCs, envolvendo: (a) seleção do produto de sensoriamento remoto; (b) compartimentação do terreno; (c) avaliação de homogeneidade e de similaridade das unidades de compartimentação; (d) realização dos trabalhos de campo; (e) elaboração do mapa final de UBCs.

Como produto de sensoriamento remoto, utiliza-se as imagens Plêiades cedidas pela Sefaz-TO. No restante do processo de compartimentação empregam-se técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto em ambiente ArcGIS, assim como o método de interpretação de imagens de Veneziani e Anjos (1982), baseando-se em elementos texturais de drenagem e relevo.

As avaliações de homogeneidade e de similaridade das unidades de compartimentação são realizadas com base na análise dos elementos de textura de drenagem e nas propriedades definidas por Soares e Fiori (1976), Veneziani e Anjos (1982), Howard (1967 apud LIMA, 1995).

Em trabalhos de campo, por meio de amostragem, algumas unidades são verificadas para validar ou retificar seus limites e propiciar a edição final do mapa de UBCs (ambiente ArcGIS).

Com o mapa de UBCs concluído, esta etapa é encerrada com as unidades sendo caracterizadas com as informações de geologia advindas das bases de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), de relevo (bases de dados da Sefaz, CPRM e IBGE), e de solos (informações geradas no diagnóstico físico deste projeto).

Na etapa seguinte promove-se a identificação das unidades geologia-relevo-solo, considerando a análise das UBCs. Na análise, unidades básicas de compartimentação com iguais conteúdos de geologia, relevo e solos são identificadas com um mesmo código (UNID). Na sequência, na etapa de hierarquização das unidades geologia-relevo-solo se estabelece



a vinculação dessas unidades com aquelas constantes no Zoneamento Agroecológico do Tocantins (ZAE-TO).

Com base no mapa de ZAE-TO, cada unidade é classificada com o mesmo código da unidade agroecológica (ZAE), o que permite identificar a hierarquia: domínio morfoestrutural, região, setor e unidade agroecológica. Isso define para cada unidade, uma relação com o arcabouço geológico-geomorfológico.

Posteriormente, a unidade geologia-relevo-solo recebe uma nova codificação, que compreende o código da unidade agroecológica (ZAE) mais o código definido na etapa anterior para a unidade geologia-relevo-solo (UNID). Efetua-se, então, a análise de similaridade das unidades, que consiste na comparação das unidades entre si, adotando-se como similares as unidades dentro do mesmo domínio morfoestrutural, região, setor e unidade agroecológica, e com iguais atributos (classes) de geologia, relevo e solos, e codificação (Figura 7).

As unidades similares e vizinhas são fundidas, e aquelas não-vizinhas (distantes) ficam mantidas sob a mesma denominação ou simbologia. Isso gera uma nova configuração espacial das unidades, o que leva a uma codificação final, que exhibe unidades hierarquizadas e estabelece unidades em sistemas ambientais que mantêm relações mútuas entre si e são continuamente submetidos aos fluxos de matéria e de energia. Isto encerra a geração do mapa de unidades geologia-relevo-solo (sistemas ambientais).



Figura 7. Código de classificação das unidades geologia-relevo-solo (sistemas ambientais).

#### 4.4.2 Recursos naturais

Envolve o mapeamento dos temas cobertura vegetal, recursos hídricos (hidrografia), áreas de preservação permanente que estão descritos a seguir.

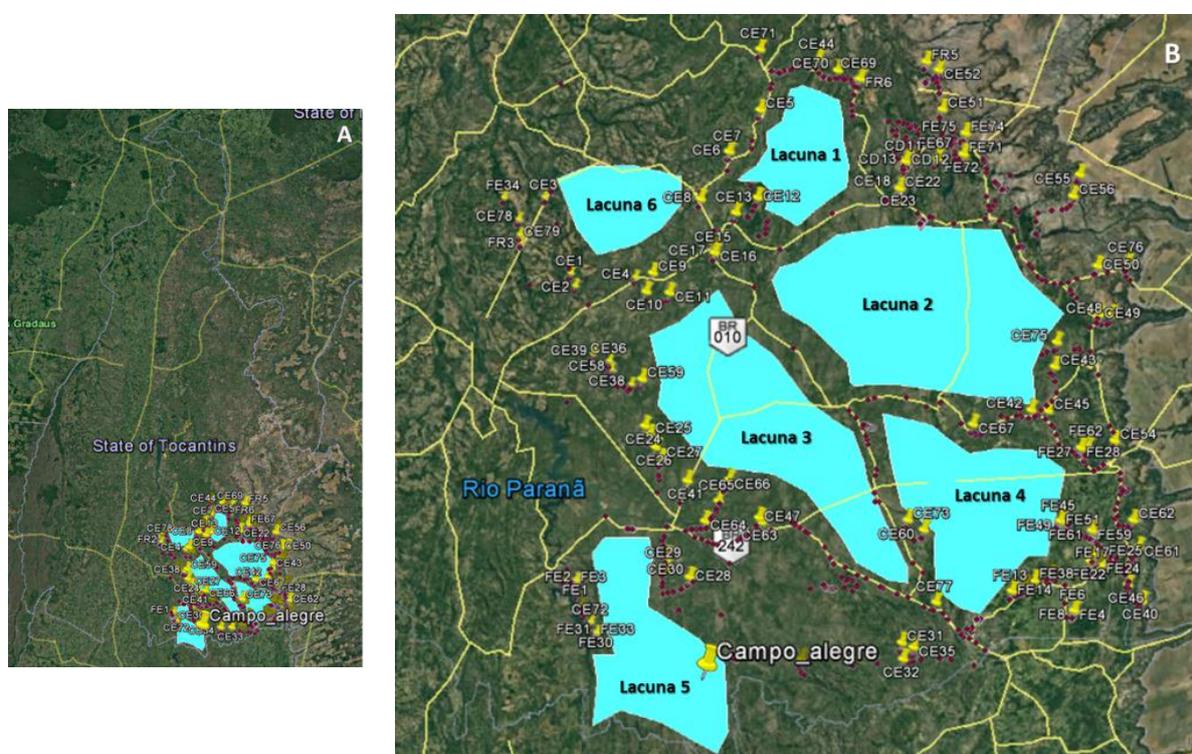
##### 4.4.2.1 Cobertura vegetal

Para realizar as atividades de inventário florestal, coleta botânica e caracterização da cobertura vegetal foram definidas seis áreas com lacunas de informações sobre a composição, estrutura (densidade, área basal, biomassa, carbono) e diversidade (alfa e beta) da flora da RSE-TO (Figura 8).

As lacunas são áreas não abrangidas por amostragens padronizadas de formações savânicas e florestais (FELFILI et al., 2005) da RSE-TO contidas no banco de dados do projeto Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins.

Outras informações relevantes como os Levantamentos Rápidos realizados em Áreas Prioritárias para Conservação do Estado do Tocantins (OIKOS, 2003) e o Licenciamento da Ferrovia Leste-Oeste (OIKOS, 2010), também foram consultados para definição das lacunas.

Dentro os registros das atividades realizadas anteriormente na RSE-TO (SEPLAN, 2013) existem 123 unidades amostrais (UA) em áreas de cerrado *sensu stricto* (cerca de 12 ha de vegetação amostrada), 125 UA em áreas cobertas por florestas estacionais decíduas e semidecíduas (5 ha amostrados), mais 18 UA em cerradão (1,4 ha amostrados) e 19 UA em formações ripárias (matas de galeria e ciliar – 0,76 ha amostrados). Além disso, quase duas centenas de coletas botânicas foram realizadas na região (SEPLAN, 2013), dentre espécies que não foram identificadas pelos especialistas, podendo ser novidades taxonômicas endêmicas do estado do Tocantins.



**Figura 8.** Lacunas de conhecimento sobre a composio, estrutura e diversidade da flora da RSE-TO (A, B). Pontos em amarelo - unidades amostrais da atividade de Inventário Florestal do Tocantins e os pontos em vermelho - registros do mapeamento da cobertura vegetal ou levantamentos rápidos.

As atividades de campo foram organizadas em três campanhas de dez dias cada (totalizando 30 dias de campo) com objetivo de ampliar a base de dados sobre a composio de espécies, estrutura (densidade, área basal, volume de material lenhoso, estoque de biomassa e carbono) e a biodiversidade (diversidade alfa e beta) das formaes vegetais savânicas e florestais mais integras das Lacunas de conhecimento. As fichas de campo de pontos relevantes estão detalhadas no Apêndice C.



Durante o planejamento da amostragem buscou-se abranger toda a variação de paisagens e ambientes, baseando-se nas informações sobre clima, geologia, solos e bacias hidrográficas disponíveis na base de dados da RSE-TO.

A integridade da cobertura vegetal das áreas de lacuna e as vias de acesso observadas por meio das imagens de satélite disponíveis no Google Earth e Plêiades. Onde surgiram dúvidas sobre a tipologia e/ou integridade da cobertura vegetal, usaram-se as imagens Plêiades (ano 2015) cedidas pela Sefaz-TO.

Durante o levantamento da vegetação, realizaram-se as etapas de mapeamento da cobertura vegetal, levantamento florístico das espécies vasculares, inventários fitossociológico e florestal, e coleta botânica e depósito de material botânico em herbário.

No mapeamento da cobertura vegetal para a escala 1:100.000 foram realizadas apenas edição dos mapas já disponíveis no Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2013) referente a região de trabalho. Estes mapas tiveram seus limites das unidades revisados com base nas imagens Plêiades.

O mapeamento da cobertura vegetal na escala 1:50.000 é fundamento no uso das imagens Landsat 8 e Plêiades fornecidas pela Sefaz-TO. Basicamente, as unidades de vegetação mapeadas em 1:100.000 foram revisadas, tendo seus limites redefinidos por meio de técnicas de interpretação de imagens. Isto permitiu a geração dos mapas de vegetação na escala 1:50.000 (mapa preliminar).

O trabalho de campo de mapeamento da cobertura vegetal foi realizado durante todos os trajetos percorridos dentro das áreas de lacuna e suas adjacências. Foram coletadas informações de fitofisionomias, adotando-se a classificação oficial do bioma Cerrado (RIBEIRO; WALTER, 2008).

A descrição foi feita em ficha específica, registrando-se o ponto associada à coordenada, com auxílio de GPS de navegação, e efetuado o registro fotográfico da fitofisionomia observada, quando necessário.

O objetivo dessa atividade foi obter a maior quantidade de pontos sobre a vegetação para permitir a interpretação e definição das unidades de vegetação. Gerou-se um arquivo de pontos de campo (coordenada UTM e a informação de campo - fitofisionomia), que sobreposto ao mapa de vegetação preliminar permitiu a edição final dos mapas de vegetação. Essas informações foram sistematizadas em planilha Excel relacionando coordenada UTM e a informação de campo (fitofisionomia).

O levantamento florístico foi conduzido ao longo de todos os trajetos e caminhamentos nas diferentes fitofisionomias de: campo, vereda, mata de galeria, cerrado *stricto sensu*, cerrado e floresta estacional. Foram tomadas coordenadas UTM dos locais de levantamento e conduzida identificação de todas as espécies arbóreas e as principais espécies herbáceas e arbustivas de ocorrência em cada trecho selecionado para o estudo. Essas informações foram sistematizadas em planilha Excel e utilizadas para elaborar a listagem florística final da RSE-TO.

Adicionalmente foi utilizado o banco de dados de informações florísticas do projeto Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2013).

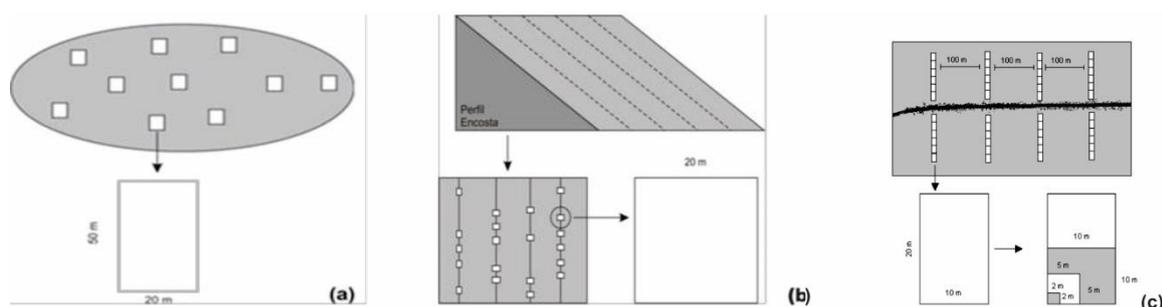
Para os inventários fitossociológico e florestal definiram-se com base nas imagens Plêiades, as áreas cobertas por vegetação nativa em melhores estado de conservação, dentro das lacunas e suas adjacências. Durante o planejamento da amostragem buscou-se abranger toda a variação de paisagens e ambientes fitoecológicos, baseando-se nas informações sobre clima, geologia, solos e bacias hidrográficas disponíveis na base de dados do projeto (SEPLAN, 2012a) para cada lacuna. Além disso, buscou-se distribuir parcelas por todo o perímetro das lacunas, levando-se em consideração as possibilidades de acesso terrestre.

A atividade de inventários fitossociológico e florestal foi realizado nas fitofisionomias de cerrado *sensu stricto*, cerradão, floresta estacional e mata de galeria e ciliar por serem as fitofisionomias arbóreas mais representativas na RSE-TO.

O tamanho e forma das parcelas adotadas para as fitofisionomias amostradas buscaram captar toda a variação, não só florística como também estrutural de cada formação, adotando-se as diretrizes do Manual de Parcelas Permanentes dos biomas Cerrado e Pantanal (FELFILI et al., 2005).

Foram utilizadas parcelas de 20 x 50 m para cerrado *stricto sensu* e cerradão (Figura 9a), devido à maior heterogeneidade na distribuição das árvores, que hora ocorrem em moitas e outras vezes isoladas, diferente de ambientes florestais, cujo espaçamento entre as árvores, em geral, é mais homogêneo.

Para inventariar a diversidade e estrutura da vegetação arbórea das áreas de floresta estabeleceram-se linhas de amostragem de 20 m de largura, perpendiculares ao gradiente ambiental (e.g., declividade do terreno nas áreas de floresta estacional e os gradientes de umidade das matas de galeria e ciliar - borda úmida nas margens do curso de água até a borda seca no contato da floresta com o cerrado). Nessas faixas, foram estabelecidas parcelas de 20 x 20 m (figuras 9b e 9c).

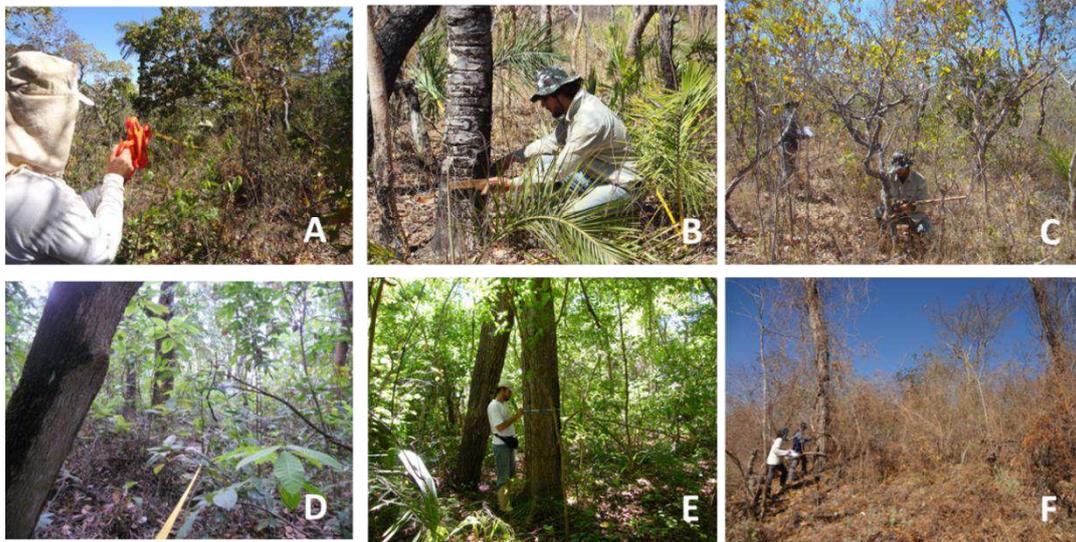


**Figura 9.** Método de amostragem do estrato arbóreo (parcela de 20 x 50 m) em área de cerrado *stricto sensu* e cerradão (a) e linhas de amostragem em floresta estacional (b) e matas de galeria (c) com parcelas de 20 x 20 m.

Os diâmetros dos indivíduos arbóreos das parcelas foram mensurados com suta, a 30 cm da altura do solo em áreas de cerrado *sensu stricto*, e fita métrica, a 1,30 m do solo nas áreas de floresta estacional, mata de galeria e cerradão (Figura 10). Os indivíduos com diâmetro acima



do limite de inclusão (5 cm) foram identificados através de seus nomes científicos ou populares, quando possível, e em seguida foi estimada a altura total, tendo por base a projeção do tronco na base do solo até a última gema foliar, e também a altura comercial (do nível do solo até a primeira bifurcação considerável) de todos os indivíduos, em ambas as fitofisionomias.



**Figura 10.** Métodos de amostragem do estrato arbóreo em áreas de cerrado stricto sensu (A, B e C) e áreas de cerradão (D), mata de galeria (E) e floresta estacional (F).

A atividade de coleta botânica foi realizada durante as etapas de mapeamento e inventários fitossociológico e florestal descritas anteriormente. Das espécies com material fértil (frutos e flores) procurou-se coletar ao menos três ramos, quando possível. Das espécies não identificadas, durante as atividades de inventário florestal e levantamento florístico, e fora do período reprodutivo foi coletado apenas um ramo vegetativo. Todo material coletado foi prensado na forma de exsicata (Figura 11).

O material botânico coletado será comparado nas coleções científicas dos herbários da Universidade Estadual do Tocantins (Unitins), Embrapa (Cenargem) e da Universidade de Brasília (UnB). O material fértil foi depositado, tombado e incorporado aos acervos científicos desses herbários.

Para a validação da amostragem durante os inventários, observou-se que a área deve abranger uma porção significativa de sua composição florística e apresentar uma variação pequena para os parâmetros estruturais de interesse, como densidade, área basal e volume



**Figura 11.** Método de coleta de espécies vasculares (A, B, C) e herborização do material botânico (D, E, F).

A abrangência florística de cada fitofisionomia amostrada foi avaliada por meio da interpretação de curvas de acumulação de espécies com 1.000 aleatorizações (KINDT; COE, 2005). As curvas foram traçadas a partir das médias e intervalos de confiança a 95% do número cumulativo de espécies (MCCUNE; MEFFORD, 2011), utilizando o total de parcelas amostradas para cada fitofisionomia.

A suficiência da amostragem foi avaliada por meio do cálculo do erro padrão e do intervalo de confiança dos parâmetros fitossociológicos de densidade e área basal (dominância), com um limite de erro de 20% com 95% de probabilidade (NETTO; BRENDA, 1997).

#### 4.4.2.2 Hidrografia

Foram elaborados planos de informação (PIs) de hidrografia na escala 1:100.000 e 1:50.000 da área estudada, por meio da edição da base de dados de hidrografia 1:25.000 elaborados para fins do Cadastro Ambiental Rural (CAR) da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Semarh).

Usaram-se operações de edição disponíveis no ArcGIS para a produção de mapas, tais como: union, merge, atribuição, classificação e reclassificação de feições lineares ou poligonais, etc. A edição desses dados consistiu na aplicação das Especificações Técnicas da Diretoria de Serviço Geográfico do (DSG) do Exército Brasileiro para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) e, a aquisição e a representação dos dados obedecem aos critérios de relevância das informações conforme estabelecidos em Brasil (2016).

Os quadros 2 e 3 indicam os parâmetros de aquisição para cada primitiva geométrica.

**Quadro 2.** Critérios de aquisição de feições de hidrografia para a escala 1:100.000.

Classe Código	Área		Linha	
	Larg >=	Comp >=	Larg >=	Comp >=
Barragem	0,8mm (80m)	0,8mm (80m)	0,8mm (80m)	0,8mm (80m)
Confluência	-	-	-	-
Corredeira	2,5mm (250m)	5mm (500m)	2,5mm (250m)	5mm (500m)
Fonte_Dagua	-	-	-	-
Ilha <sup>(1)</sup>	2mm (200m)	2mm (200m)	2mm (200m)	2mm (200m)

<sup>(1)</sup> Apenas se a ilha possuir nome.

Fonte: BRASIL (2016).

**Quadro 3.** Critérios de aquisição de feições de hidrografia para a escala 1:50.000

Classe Código	Área		Linha	
	Larg >=	Comp >=	Larg >=	Comp >=
Barragem	0,8mm (40m)	0,8mm (40m)	0,8mm (40m)	0,8mm (40m)
Confluência	-	-	-	-
Corredeira	2,5mm (125m)	5mm (250m)	2,5mm (125m)	5mm (250m)
Dique	2,5mm (125m)	5mm (250m)	2,5mm (125m)	5mm (250m)
Fonte_Dagua	-	-	-	-
Foz_Maritima	200mm (10.000m)	200mm (10.000m)	200mm (10.000m)	200mm (10.000m)
Ilha <sup>(1)</sup>	2mm (100m)	2mm (100m)	2mm (100m)	2mm (100m)

<sup>(1)</sup> Apenas se a ilha possuir nome.

Fonte: BRASIL (2016).

#### 4.4.2.3 Áreas de preservação permanente

As áreas de preservação permanente (APPs) associadas a cursos d'água foram obtidas por meio de operações de medida de distância em algoritmos disponíveis no ArcGIS (*buffer*).

Foi aplicado o Novo Código Florestal para a determinação das APPs de cursos d'água e nascentes, e lagos artificiais constantes nas cartas de hidrografia do CAR Tocantins.

O Quadro 4 descreve de cada APP de acordo com dimensão do corpo d'água.

Foram geradas as APPs por declividade usando algoritmos disponíveis no ArcGIS e os dados de altimetria do SRTM (TOPODATA) disponíveis no sítio do INPE.

**Quadro 4.** Dimensões das APPs conforme tipo e largura dos cursos d'água.

TIPO DE APP	Largura do Curso d'água	Largura APP <sup>(1)</sup>
Margem de Rio	< 10m	30m
	10 a 50m	50m
	50 a 200m	100m
	200 a 500m	200m
	> 600m	500m
Nascente	Todos	50m
Lagoa Natural	Espelho < 20ha Área Rural	50m
	Espelho > 20ha Área Rural	100m
Reservatório Artificial	Até 1ha	sem APP
	30m a 100m Área Rural	Definido na Licença Ambiental
	15 a 30m Área Urbana	

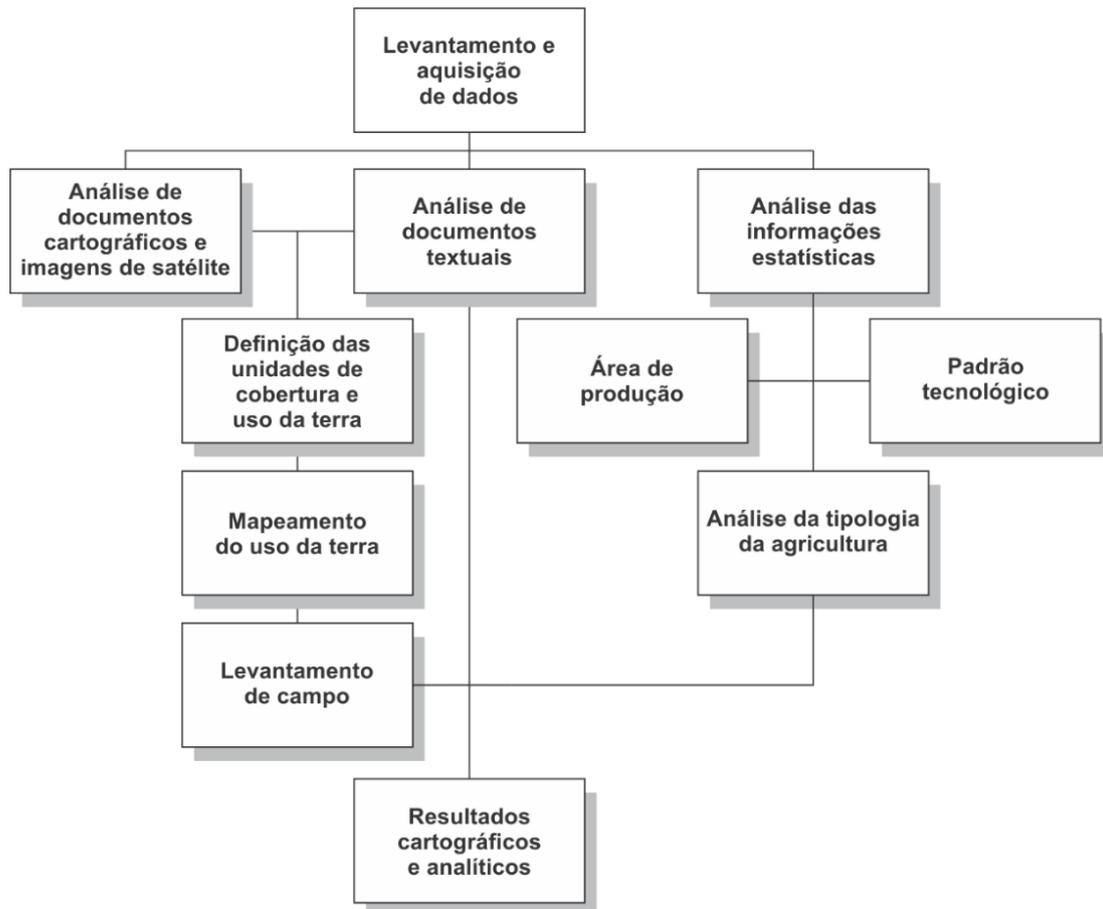
<sup>(1)</sup> Desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima.

Fonte: Brasil (2012).

Geraram-se planos de informação de APPs por cartas, por faixas e para a região como um todo, nas escalas 1:50.000 e 1:100.000. Os mapas exibiram como classes as APPs associadas com cursos d'água e de declividade.

#### 4.4.2.4 Cobertura e uso da terra

A cobertura e uso da terra da RSE-TO foi mapeada na escala 1:50.000 segundo um sistema de classificação de uso da terra hierarquizado, que atende às recomendações do Manual Técnico de Uso da Terra publicado pelo IBGE (IBGE, 2013). O mapeamento foi executado conforme o organograma da Figura 12.



**Figura 12.** Organograma de execução do mapeamento de cobertura e uso da terra.

O mapa de cobertura e uso da terra é resultado da combinação dos mapas gerados neste Projeto de Mapeamento da Escassez Hídrica da RSE-TO (mapa de regiões fitoecológicas) e mapa de uso da terra. A definição das classes de cobertura e uso da terra foi apoiada no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra (SEPLAN, 2012b), e Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2013), com adaptações de MMA (2015).

No Quadro 5 apresenta-se a legenda estabelecida para o projeto considerando a escala de 1:50.000.

**Quadro 5.** Classes de Cobertura e uso da terra adotadas no projeto.

Nível I	Nível II	Nível III
Áreas Antrópicas Agrícolas	Cultura Permanente	Frutíferas
	Culturas Temporárias	Cultivos temporários diversificados Graníferas e cerealíferas
	Agropecuária	Pecuária com cultivos temporários diversificados
	Pastagem	Pecuária de animais de grande porte Pastagens indiferenciadas
	Aquicultura	Piscicultura
	Silvicultura	Reflorestamentos diversos
Áreas Antrópicas Não Agrícolas	Áreas urbanizadas	Cidades; vilas
	Industriais	Industrial/comercial/serviço
	Mineração	Extração mineral
	Vegetação Secundária	Capoeira
	Áreas degradadas	Áreas Degradadas

Nível I	Nível II	Nível III
Savana (Cerrado)	Arborizada	Cerrado denso com mata de galeria inundável e não inundável Cerrado denso sem mata de galeria inundável e não inundável Cerrado rupestre com mata de galeria inundável e não inundável Cerrado rupestre sem mata de galeria inundável e não inundável Cerrado típico com mata de galeria inundável e não inundável Cerrado típico sem mata de galeria inundável e não inundável
	Florestada	Cerradão
	Gramíneo-lenhosa	Campo limpo seco
	Parque	Cerrado ralo com mata de galeria inundável e não inundável Cerrado ralo sem mata de galeria inundável e não inundável Campo sujo seco
Floresta Estacional Decidual	Floresta Estacional Decidual Submontana	Mata seca decídua
Floresta Estacional Semidecidual	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	Mata ciliar inundável e não inundável Mata de galeria inundável e não inundável
	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Mata ciliar inundável e não inundável Mata de galeria inundável e não inundável Mata seca semidecídua
Savana / Floresta Estacional Decidual (Enclave)	Arborizada / Submontana	Cerrado denso com mata de galeria inundável e não inundável / Mata seca decídua
Savana / Floresta Estacional Semidecidual (Enclave)	Arborizada / Montana	Cerrado rupestre com mata de galeria inundável e não inundável / Mata Seca semidecídua Cerrado rupestre sem mata de galeria inundável e não inundável / Mata Seca Semidecídua Cerrado típico sem mata de galeria / Mata Seca Semidecídua
	Arborizada / Submontana	Cerrado denso sem mata de galeria inundável e não inundável / Mata Seca Semidecídua Cerrado denso com mata de galeria inundável e não inundável / Mata Seca Semidecídua Cerrado típico sem mata de galeria inundável e não inundável / Mata Seca Semidecídua Cerrado típico com mata de galeria inundável e não inundável / Mata Seca Semidecídua
	Parque / Submontana	Cerrado ralo com mata de galeria inundável e não inundável, Cerrado rupestre / Mata Seca Semidecídua Cerrado ralo sem mata de galeria inundável e não inundável, Cerrado rupestre / Mata Seca Semidecídua
	Florestada / Submontana	Cerradão / Mata Seca Semidecídua
Formações Pioneiras	Fluvial/Lacustre	Brejo Veredas
Outras Áreas	Áreas descobertas	Praias e dunas
Água	Corpos d'água continentais	Lagos / Lagoas / Represas

Fonte: Elaboração do Autor.

O mapeamento foi baseado na utilização de imagens de satélites Plêiades (resolução espacial de 0,5 m, ano 2015) e atualizadas pelas imagens Landsat 8 (bandas OLI 4, 5 e 6 – 30 m com fusão a banda OLI 8 de 15 m, ano 2016). As imagens Plêiades foram disponibilizadas pela Sefaz-TO, e as imagens Landsat 8 foram adquiridas no *site* do INPE.

Realizaram-se duas etapas de trabalho de campo, com itinerários planejados para a verificação do padrão de respostas das unidades mapeadas nas imagens de satélite Plêiades/Landsat. Nesse reconhecimento foram usados recursos tecnológicos como navegação em tempo real com GPS acoplado à *notebook* com o sistema ArcGIS exibindo os planos de cobertura e uso da terra, e as imagens de satélite para a caracterização das unidades. As fichas de campo encontram-se organizadas no Apêndice D.

Ao todo foram realizados 298 pontos de campo, onde por meio de ficha de campo cadastrou-se informações não só relativas a cobertura e uso da terra como também de relevo (formas das



vertentes, dinâmica das vertentes - erosão, feições especiais e movimentos de massa), material inconsolidados (tipo e pedregosidade) e geologia (substrato rochoso, grau de coerência e grau de alteração). Essas informações auxiliares já estavam vinculadas às observações de análise da dinâmica das paisagens.

Após o trabalho de campo, executou-se a etapa de geração do mapa final de cobertura e uso da terra. Os pontos de campo (em arquivo digital) foram sobrepostos às cartas preliminares de cobertura e uso da terra (versão 2) para checagem da interpretação (confirmação/reclassificação da unidade) ou, até mesmo, redefinição da forma do polígono.

A legenda foi alterada em função dos trabalhos de campo e os polígonos classificados/reclassificados. Essa revisão resultou na versão final cartas de cobertura e uso da terra com a quantificação das áreas para cada unidade mapeada.

#### **4.4.2.5 Áreas vulneráveis à escassez hídrica**

O mapeamento das áreas suscetíveis à escassez hídrica na RSE-TO foi estabelecido por meio de uma escala de valores (21 classes de 1.0 a 3.0), usando a metodologia de Crepani et al. (2001). Foi realizada uma classificação do grau de estabilidade/vulnerabilidade de cada variável ambiental climatológica, segundo as relações entre os processos térmicos e hídricos.

A versão do mapeamento das áreas suscetíveis à escassez hídrica foi realizada por meio da análise integrada dos mapas das variáveis climáticas, em ambiente ArcGIS.

As variáveis climáticas temperatura média do ar, precipitação pluvial, umidade relativa e evapotranspiração de referência foram submetidas à análise por álgebra de mapas (operações zonais e/ou pontuais) para elaborar o mapa de vulnerabilidade natural ao processo de escassez hídrica na RSE-TO.

### **4.5 Elaboração dos diagnósticos físico, biótico e socioeconômico**

#### **4.5.1 Meio físico**

O diagnóstico físico foi realizado para: (a) identificar e caracterizar os sistemas físicos, com base em proposta metodológica geossistêmica e considerando as principais variáveis ambientais relativas ao suporte físico (condições geológicas e de relevo) e à cobertura superficial (solos e vegetal); (b) avaliar as condições ecodinâmicas com base no balanço entre os processos morfogênicos e pedogênicos, tendo em vista o grau e estabilidade do ambiente e sua vulnerabilidade aos impactos da antropização (fragilidade natural / vulnerabilidade natural à perda de solos por erosão), usando o método Crepani et al. (2001) que é baseado em Tricart (1977); (c) considerar a compartimentação da paisagem em 1:50.000 como reflexo fundamental da herança de evolução integrada da natureza, refletindo condições de estabilidade / instabilidade, conforme uma escala tempo-espacial.

#### **A. Geologia**

Os planos de informação de geologia utilizados para no diagnóstico são aqueles elaborados pela CPRM e IBGE, em escala 1:250.000 e 1:1.000.000, contendo as unidades geológicas e

estruturas. A geologia da RSE-TO foi revisada e compatibilizada (articulação entre mapas publicados) com base nas unidades básica de compartimentação (UBCs) definidas para os sistemas ambientais (Seção 4.4.1).

Ao definir os sistemas ambientais, as unidades geológicas passaram por readequação de seus limites, considerando para tanto os elementos de reconhecimento preconizados por Veneziani e Anjos (1982), que se baseiam em elementos texturais de drenagem e relevo (Método Lógico e Sistemático).

Em termos de recursos minerais, as principais fontes de dados consultadas para a caracterização mineral da RSE-TO foram a base denominada Cadastro Mineiro e o Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Deste cadastro oficial foram extraídas as informações atualizadas até a data de 31 de março de 2018, dos processos de Autorização de Pesquisa Mineral, Autorização/Concessão de Lavra Garimpeira, Registro de Extração, Concessão de Lavra, Licenciamento, Manifesto de Mina, Disponibilidade e Requerimento/Registro de Lavra, conforme descrito e discriminado no Apêndice G; todos escalonados por municípios constituintes da RSE-TO.

A partir das informações obtidas junto a esse órgão, foram identificadas as atividades, os números de processos, tipo, fase e substâncias solicitadas no DNPM referente às atividades minerárias, assim como, substâncias escalonadas por município e nome do interessado.

Em complemento aos dados oficiais obtidos junto ao DNPM, foram consultadas as ocorrências minerais disponibilizadas por estudos recentes da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), além da publicação de Avaliação e Diretrizes para o Setor Mineral do Estado do Tocantins da Companhia de Mineração do Tocantins (MINERATINS, 2008).

As substâncias minerais foram agrupadas em classes conforme os artigos 7 e o 8 do Decreto Federal nº 62.934/1968 que aprova o regulamento do Código de Mineração. No Artigo 7, as jazidas são classificadas, para efeito deste Regulamento, em oito classes:

<p>Classe I - jazidas de substâncias minerais metalíferas;</p> <p>Classe II - jazidas de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil;</p> <p>Classe III - jazidas de fertilizantes;</p> <p>Classe IV - jazidas de combustíveis fósseis sólidos;</p> <p>Classe V - jazidas de rochas betuminosas e pirobetuminosas;</p>	<p>Classe VI - jazidas de gemas e pedras ornamentais;</p> <p>Classe VII - jazidas de minerais industriais, não incluídas nas classes precedentes;</p> <p>Classe VIII - jazidas de águas minerais</p>
---	--

No Artigo 8, as substâncias minerais relacionadas em cada classe, têm a seguinte especificação:

<p>Classe I - minérios de: alumínio, antimônio, arsênio, berílio, bismuto, cádmio, cério, césio, cobalto, cromo, chumbo, cobre, escândio, estanho, ferro, germânio, gálio, háfnio, ítrio, irídio, índio, lítio, manganês, magnésio, mercúrio, molibdênio, nióbio, níquel, ouro, ósmio, prata, platina, paládio, rádio, rênio, ródio, rubídio, rutênio, selênio, tálio, tântalo, telúrio, titânio, tungstênio, vanádio, xenotíndio, zinco, zircônio;</p> <p>Classe II - ardósias, areias, cascalhos, gnaisses, granitos, quartzitos e saibros, quando utilizados "in natura" para o</p>	<p>Classe VI - gemas e pedras ornamentais;</p> <p>Classe VII - substâncias minerais industriais, não incluídas nas classes precedentes: anfíbios, areias de fundição, argilas, argilas refratárias, andalusita, agalmatolitos, asbestos, ardósias, anidrita, antofilita, bentonitas, barita, boratos, calcários, calcários coralíneos, calcita, caulim, celestita, cianita, conchas calcárias, coríndon, crisólita, diatomitos, dolomitos, diamantes industriais, dumortierita, enxofre,</p>
--	--



preparo de agregados, pedra de talhe ou argamassa, e não se destinem como matéria-prima, à indústria de transformação;	estroncianita, esteatitos, feldspatos, filitos, fluorita, gipso, grafita, granada, hidrargilita, sais de iodo, leucita, leucofilito, magnesita, mármore, micas, ocre, pinguita, pirita pirofilita, quartzo, quartzitos, silimanita, sais de bromo, sal-gema, saponito, sílex, talco, tremolita, tripolito, vermiculita, wollastonita;
Classe III - fosfatos, guano, sais de potássio e salitre;	
Classe IV - carvão, linhito, turfa e sapropelitos;	
Classe V - rochas betuminosas e piro betuminosas;	Classe VIII - águas minerais.

O Artigo 8 passa a vigorar, com base no Decreto Federal nº 95.002 de 05/10/1987, para as Classes II e VII; com a seguinte redação:

Classe II - ardósias, areias, cascalhos, quartzitos e saibros, quando utilizados " <i>in natura</i> " para o preparo de agregados, argamassa ou como pedra de talhe, e não se destinem como matéria-prima a indústria de transformação;	Classe VII - substâncias minerais industriais, não incluídas nas classes precedentes:  (i) anfibólios, areias de fundição, argilas, argilas refratárias, andalusita, agalmatolitos, asbestos, ardósias, anidrita, andofilita, bentonitas, barita, boratos, calcários, calcários coralíneos, calcita, caulim, celestita, cianita, conchas calcárias, coríndon, crisotila, diatomitos, dolomitos, diamantes industriais, dumortierita, enxofre, estroncianita, esteatitos, feldspatos, filitos, fluorita, gipso, grafita, granada, hidrargilita, leucita, leucofilito, magnesita, mármore, mica, ocre, pinguita, pirita, pirofilita, quartzo, quartzito, silimanita, sais de bromo, sais de iodo, sal-gema, saponito, sílex, talco, tremolita, tripolito, vermiculita, wollastonita;  (ii) basaltos, gnaisses, granitos, quaisquer outras substâncias minerais, quando utilizadas para produção de britas ou sujeitas a outros processos industriais de beneficiamento.
---	---

O artigo 8, apresenta parágrafo único que determina: “nos termos do disposto no artigo 1º da Lei Federal nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, permanece sob o regime de licenciamento o aproveitamento de argilas empregadas no fabrico de cerâmica vermelha, de calcário dolomítico empregado como corretivo do solo na agricultura e de basalto empregado como pedra de revestimento ou ornamental na construção civil. ”

Para o tema espeleologia, reporta-se no Brasil a existência de três bases de dados para o cadastro de cavidades naturais, sendo as mesmas gerenciadas pelas entidades: Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) e Redespeleo Brasil.

Por sua vez, o CECAV é o órgão oficial que mantém e disponibiliza esta base de dados no formato digital, com atualizações próprias e complementação através da compilação das outras duas bases de dados citadas. Desta forma, o inventário do Patrimônio Espeleológico da RSE-TO foi elaborado com base no cadastro CECAV. Este inventário toma como conceito de caverna (Patrimônio Espeleológico), aquele referido na Resolução Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 347 de 2004.

Para a análise espeleológica, também se utilizou como fonte de informação o Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas, na escala 1:2.500.000 (JANSEN et al., 2012). Esse mapa foi inserido na base de dados cartográficos do projeto, para correlações com os outros

dados disponíveis. Também foi realizada uma pesquisa comparativa (BEZERRA; MORAIS, 2015), utilizando as bases de dados sobre cavernas do ICMBio/CECAV e SBE/CNC. Em relação ao Tocantins, os dois bancos de dados disponíveis analisados apresentam diferenças nos aspectos quantitativos das cavidades. O CNC identifica, até março de 2015, um total de 313 cavidades, enquanto os dados do CECAV apontam 730 identificações no mesmo período.

## **B. Relevo**

Para o relevo foram adotados os procedimentos similares. As unidades tiveram seus limites revisados, adequando-os aos limites das UBCs definidas para os sistemas ambientais. Foi usada a textura como principal elemento de reconhecimento nas imagens, uma vez que ela se fundamenta nos aspectos da drenagem e do relevo, cujo arranjo geométrico leva ao padrão predominante de um modelado (IBGE, 2009). Também foram usadas as informações dos planos de relevo publicados pela CPRM e IBGE.

## **C. Solos**

Para os solos, no diagnóstico foi realizado um Levantamento de Reconhecimento com Alta Intensidade dos Solos da RSE-TO. Empregou-se metodologia preconizada e adotada pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da Embrapa (CNPS). Foram identificadas e caracterizadas com ocorrência significativa na área, 12 classes de solos ao nível de Subordem, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), que foram agrupadas juntamente com Tipos de Terreno em 78 unidades de mapeamento.

O trabalho foi realizado para conhecer mais pormenorizadamente o potencial natural dos solos, objetivando as suas identificações e delimitações cartográficas, com vistas a auxiliar a identificação de áreas vulneráveis à escassez hídrica na região.

Os métodos de trabalho, em geral, seguiram o preconizado e adotado pelo CNPS da EMBRAPA, que podem ser encontrados mais detalhadamente em publicações como Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015) e Procedimentos Normativos de Levantamentos de Solos (EMBRAPA, 1995); Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento - normas em uso pelo SNLCS (EMBRAPA, 1988a) e Definição de horizontes e camadas do solo (EMBRAPA, 1988b).

Preliminarmente, efetuou-se o levantamento de trabalhos anteriores buscando informações com relação às características dos solos e/ou de seus principais fatores de formação.

As unidades de solos também foram definidas com base nas unidades básicas de compartimentação (UBCs) definidas para os sistemas ambientais. As unidades foram mapeadas por interpretação visual digital das imagens, levando em consideração as respostas espectrais e texturais, separadas em zonas homólogas por meio de quebras positivas e negativas de relevo (imagens sombras). Estas unidades posteriormente foram convertidas nas unidades preliminares de solos.

Os dados de descrição de perfis e amostras extras de solos, bem como os resultados analíticos das amostras efetuadas, foram processados e auxiliaram a caracterização dos solos, visando o



seu enquadramento no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, para a elaboração da legenda do mapa de solos e de avaliação da aptidão agrícola das terras.

Em seguida, após realizados os trabalhos de campo os dados obtidos as unidades foram revisadas e classificadas em definitivo com de acordo com a legenda de solos, resultando em uma camada do *geodatabase* do projeto (ArcGIS).

Os trabalhos de campo para elaboração do mapa de solos foram efetuados percorrendo-se as vias de acesso existentes na área, quando se procurou alcançar todos os ambientes previamente separados por interpretação preliminar das imagens de satélite utilizadas e dados auxiliares.

Com base nos padrões de imagem, em observações de campo e disponibilidade de acesso, fez-se a escolha dos trajetos para alcance dos pontos de checagem e observações, de forma que todos os padrões de imagens distintos identificados na interpretação preliminar fossem contemplados ou visitados.

Foram abertas trincheiras (Figura 13), sendo que na maioria das vezes, houve aproveitamento de barrancos de estrada (Figura 14) para caracterização e amostragem dos solos para fins de classificação.

A descrição e caracterização de alguns solos foram procedidas por meio de tradagens (Figura 15), quando os mesmos não eram cascalhentos ou pedregosos. Foram também efetuadas várias sondagens complementares com uso de trado para observações/descrições, porém sem coleta de amostras.

Em todo o trabalho foram descritos e coletados 22 perfis completos, contemplando 74 amostras e 198 pontos de amostras extras, contemplando 367 amostras. O que perfaz um total de 441 amostras que foram submetidas a determinações analíticas. Foram ainda visitados, analisados e fotografados 12 pontos de amostras extras, onde não se fez coleta de amostras em razão de se tratar de locais sem solo desenvolvido. Os pontos de amostras extras são: AE-50, AE-60, AE-67, AE-73, AE-80, AE-116, AE-124, AE-135, AE-136, AE-145, AE-162 e AE-181. Os dados das análises encontram-se no Apêndice E.



**Figura 13.** Trincheira aberta para descrição e coleta de solo.



**Figura 14.** Utilização de barranco para exame de solo.



**Figura 15.** Sondagem com emprego de trado.

As amostras coletadas foram enviadas para o Laboratório SOLOCRIA (Goiânia-GO), onde se procederam determinações físicas e químicas, ou seja, granulometria, complexo sortivo, pH e matéria orgânica. A metodologia empregada nas referidas análises pode ser encontrada detalhadamente no Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 1997).

No Apêndice E também pode-se verificar os métodos de análise físicas e químicas para os solos, assim como os critérios adotados para separação e caracterização das classes de solos e de fases de unidades de mapeamento. Definições mais pormenorizadas podem ser encontradas nas publicações Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) e no Manual Técnico de Pedologia da Fundação IBGE (IBGE, 2015).

#### **D. Aptidão agrícola das terras**

O mapa de aptidão agrícola das terras foi elaborado com base na metodologia desenvolvida por Ramalho Filho e Beek (1995), que segue orientações contidas no “*Soil Survey Manual*” (ESTADOS UNIDOS, 1951) e na metodologia da FAO (1976), que recomendam seja a avaliação da aptidão agrícola das terras baseada em resultados de levantamentos sistemáticos, realizados com base nos vários atributos das terras - solo, clima, vegetação, geomorfologia, etc.

Como a classificação da aptidão agrícola das terras é um processo interpretativo, seu caráter é efêmero, podendo sofrer variações com a evolução tecnológica. Portanto, está em função da tecnologia vigente na época de sua realização.

A metodologia em questão procura atender, embora subjetivamente, a uma relação custo/benefício favorável. Deve atender a uma realidade que represente a média das possibilidades dos agricultores numa tendência econômica de longo prazo, sem perder de vista o nível tecnológico a ser adotado. Trata-se de uma metodologia apropriada para avaliar a aptidão agrícola de grandes extensões de terras, devendo sofrer reajustamento no caso de ser aplicada a pequenas glebas de agricultores individualmente.

As terras da RSE-TO (unidades básicas de compartimentação – UBC), em função dos graus de limitação atribuídos a cada uma das unidades são classificadas conforme o Quadro 6. As letras indicativas das classes de aptidão, de acordo com os níveis de manejo, podem aparecer nos subgrupos em maiúsculas, minúsculas ou minúsculas entre parênteses, com indicação de diferentes tipos de utilização.

A ausência de letras representativas das classes de aptidão agrícola na simbolização dos subgrupos indica não haver aptidão para uso mais intensivo. Essa situação não exclui, necessariamente, o uso da terra com um tipo de utilização menos intensivo.



**Quadro 6.** Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras.

CLASSE DE APTIDÃO AGRÍCOLA	TIPO DE UTILIZAÇÃO					
	LAVOURAS			PASTAGEM PLANTADA	SILVICULTURA	PASTAGEM NATURAL
	NÍVEL DE MANEJO			NÍVEL DE MANEJO B	NÍVEL DE MANEJO B	NÍVEL DE MANEJO A
	A	B	C	P	S	N
BOA	a	b	c	p	s	n
REGULAR	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)
RESTRITA	-	-	-	-	-	-
INAPTA	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado Ramalho Filho e Beek (1995).

O mapeamento se divide em grupos, subgrupos e classes de aptidão agrícola das terras.

Os grupos de aptidão agrícola tratam de mais um artifício cartográfico, que identifica no mapa o tipo de utilização mais intensivo das terras, ou seja, sua melhor aptidão. Os grupos 1, 2 e 3, além da identificação de lavouras como tipos de utilização, desempenham a função de representar, no subgrupo, as melhores classes de aptidão das terras indicadas para lavouras, conforme os níveis de manejo. Os grupos 4, 5 e 6 apenas identificam tipos de utilização (pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e da fauna, respectivamente), independentemente da classe de aptidão.

A representação dos grupos é feita com algarismos de 1 a 6, em escalas decrescentes, segundo as possibilidades de utilização das terras. As limitações que afetam os diversos tipos de utilização aumentam do grupo 1 para o grupo 6, diminuindo, conseqüentemente, as alternativas de uso e a intensidade com que as terras podem ser utilizadas, conforme demonstra o Quadro 7.

Os subgrupos de aptidão agrícola são o resultado conjunto da avaliação da classe de aptidão relacionada com o nível de manejo, indicando o tipo de utilização das terras. No exemplo 1(a)bC, o algarismo 1, indicativo do grupo, representa a melhor classe de aptidão das componentes do subgrupo, uma vez que as terras pertencem à classe de aptidão boa no nível de manejo C (Grupo 1); classe de aptidão regular, no nível de manejo B (Grupo 2); e classe de aptidão restrita, no nível de manejo A (Grupo 3). Em certos casos, o subgrupo refere-se somente a um nível de manejo relacionado a uma única classe de aptidão agrícola.

**Quadro 7.** Alternativas de utilização das terras de acordo com os grupos de aptidão agrícola.

GRUPOS DE APTIDÃO AGRÍCOLA	AUMENTO DA INTENSIDADE DE USO					
	PRESERVAÇÃO DA FLORA E DA FAUNA	SILVICULTURA E/OU PASTAGEM NATURAL	LAVOURAS			
			PASTAGEM PLANTADA	APTIDÃO RESTRITA	APTIDÃO REGULAR	APTIDÃO BOA
AUMENTO DA INTENSIDADE DA LIMITAÇÃO ↓ DIMINUIÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE USO	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995).

Uma última categoria constitui a tônica da avaliação da aptidão agrícola das terras nesta metodologia, sendo representada pelas classes de aptidão denominadas BOA, REGULAR, RESTRITA e INAPTA, para cada tipo de utilização indicado.

As classes expressam a aptidão agrícola das terras para um tipo de utilização determinado, com um nível de manejo definido dentro do subgrupo de aptidão. Elas refletem o grau de intensidade com que as limitações afetam as terras, sendo definidas em termos de graus, referentes aos fatores limitantes mais significativos. Esses fatores, que podem ser considerados subclasses, definem as condições agrícolas das terras. Os tipos de utilização em pauta são lavouras, pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural.

As classes são assim definidas:

Boa	Terras sem limitações significativas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado. Há um mínimo de restrições que não reduz a produtividade ou benefícios expressivamente e não aumenta os insumos acima de um nível aceitável.
Regular	Terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, elevando a necessidade de insumos de forma a aumentar as vantagens globais a serem obtidas do uso. Ainda que atrativas, essas vantagens são sensivelmente inferiores àquelas auferidas das terras da Classe Boa.
Restrita	Terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado. Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, ou então aumentam os insumos necessários de tal maneira que os custos só seriam justificados marginalmente.
Inapta	Terras apresentando condições que parecem excluir a produção sustentada do tipo de utilização em questão. Ao contrário das demais, essa classe não é representada por símbolos. Sua interpretação é feita pela ausência das letras do tipo de utilização considerado. As terras consideradas inaptas para lavouras têm suas possibilidades analisadas para usos menos intensivos (pastagem plantada, silvicultura ou pastagem natural). No entanto, as terras classificadas como inaptas para os diversos tipos de utilização considerados têm como alternativa serem indicadas para a preservação da flora e da fauna, recreação ou algum outro tipo de uso não agrícola. Tratam-se de terras ou paisagens pertencentes ao grupo 6, nas quais deve ser estabelecida uma cobertura vegetal, não só por razões ecológicas, como também para proteção de áreas contíguas agricultáveis.

O enquadramento das terras em classes de aptidão resulta da interação de suas condições agrícolas, do nível de manejo considerado e das exigências dos diversos tipos de utilização. As terras de uma classe de aptidão são similares quanto ao grau, mas não quanto ao tipo de limitação ao uso agrícola. Cada classe inclui diferentes tipos de solo, muitos requerendo tratamento distinto.

Em termos de representação cartográfica, os algarismos de 1 a 5 que aparecem na simbolização correspondem aos grupos de aptidão agrícola que identificam os tipos de utilização indicados para as terras - lavouras, pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural. As terras que não se prestam para nenhum desses usos constituem o grupo 6, o qual deve ser mais bem estudado por órgãos específicos, que poderão decidir pela sua melhor destinação. Esses mesmos algarismos dão uma visão, no mapa, da ocorrência das melhores classes de aptidão dentro do subgrupo. Portanto, identificam o tipo de utilização mais intensivo permitido pelas terras.

As letras A, B ou C, que acompanham os algarismos referentes aos três primeiros grupos, expressam a aptidão das terras para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo considerados. Conforme as classes de aptidão boa, regular ou restrita, essas letras podem estar maiúsculas, minúsculas ou entre parênteses. Para os grupos 4 e 5, que se referem aos outros tipos de utilização menos intensivos, a indicação da aptidão é feita de modo similar, em maiúsculas, minúsculas e minúsculas entre parênteses, utilizando-se as letras P, S e N.



Está evidente que o uso indicado para as terras é o mais adequado, do ponto de vista de suas qualidades. No entanto, em face de certas características especiais dessas mesmas terras ou do conjunto ambiental, podem existir outras possibilidades de utilização ou, ao contrário, impedimento a certos usos. Basicamente, terras aptas para culturas de ciclo curto o são também para culturas de ciclo longo, consideradas menos exigentes. Mas há fatores, como a ocorrência de solos muito rasos, de terras localizadas em áreas inundáveis ou sujeitas a frequentes inundações ou, ainda, de condições climáticas desfavoráveis, que constituem exceção. Essas áreas são indicadas no mapa de aptidão agrícola com convenções especiais.

No caso particular deste trabalho, algumas convenções foram utilizadas no mapa e estão contidas no Quadro 8.

**Quadro 8.** Convenções adicionais utilizadas.

2abc	Traço contínuo sob o símbolo indica haver na associação de terras componentes, em menor proporção, com aptidão inferior à representada no mapa
2abc	Traço interrompido sob o símbolo indica haver na associação de terras componentes, em menor proporção, com aptidão superior à representada no mapa
----	Limite entre grupos de aptidão agrícola
-----	Limite entre subgrupos de aptidão agrícola

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995).

Para a análise das condições agrícolas das terras toma-se hipoteticamente como referência, como tem sido feito, até então, pelo CNPS/Embrapa, um solo que não apresente problemas de fertilidade, deficiência de água e oxigênio, que não seja suscetível à erosão e nem ofereça impedimentos à mecanização. Como normalmente as condições das terras fogem a um ou a vários desses aspectos, estabeleceram-se diferentes graus de limitação em relação ao solo de referência para indicar a intensidade dessa variação. Os cinco fatores tomados tradicionalmente para avaliar as condições agrícolas das terras são aqui considerados: deficiência de fertilidade; deficiência de água; excesso de água ou deficiência de oxigênio; suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.

Além das características inerentes ao solo, implícitas nesses cinco fatores, tais como textura, estrutura, profundidade efetiva, capacidade de permuta de cátions, saturação de bases, teor de matéria orgânica, pH, etc., outros fatores ecológicos (temperatura, umidade, pluviosidade, luminosidade, topografia, cobertura vegetal, etc.) são considerados na avaliação da aptidão agrícola. Em fase posterior, quando numa análise de adequação do uso das terras, deverão ser considerados fatores socioeconômicos. De modo geral, a avaliação das condições agrícolas das terras é feita em relação a vários fatores, muito embora alguns deles atuem de forma mais determinante, como a declividade, pedregosidade ou profundidade, que por si já restringem certos tipos de utilização, mesmo com tecnologia avançada.

- Deficiência de fertilidade

A fertilidade está na dependência principalmente da disponibilidade de macro e micronutrientes, incluindo também a presença ou ausência de certas substâncias tóxicas, solúveis, como alumínio e manganês, que diminuem a disponibilidade de alguns minerais importantes para as plantas, bem como a presença ou ausência de sais solúveis, especialmente sódio. São os seguintes os graus de limitação:

Nulo (N)	Esse grau refere-se a terras que possuem elevadas reservas de nutrientes para as plantas, sem apresentar toxidez por sais solúveis, sódio trocável ou outros elementos prejudiciais ao desenvolvimento das plantas. Solos pertencentes a esse grau apresentam ao longo do perfil mais de 80% de saturação de bases; soma de bases acima de 6 cmolc/kg de solo e são livres de alumínio trocável (Al <sup>+++</sup> ) na camada arável. A condutividade elétrica é maior que 4 dS/m a 25°C.
Ligeiro (L)	Terras com boa reserva de nutrientes para as plantas, sem a presença de toxidez por excesso de sais solúveis ou sódio trocável, devendo apresentar saturação de bases (V%) maior que 50%, saturação de alumínio menor que 30% e soma de bases trocáveis (S) sempre acima de 3 cmolc/kg de T.F.S.A. (Terra Fina Seca ao Ar). A condutividade elétrica do extrato de saturação deve ser menor que 4 dS/m a 25°C e a saturação com sódio inferior a 6%.
Moderado (M)	Terras com limitada reserva de nutrientes para as plantas, referente a um ou mais elementos, podendo conter sais tóxicos capazes de afetar certas culturas. A condutividade elétrica no solo pode situar-se entre 4 e 8 dS/m a 25°C e a saturação com sódio entre 6 e 15%. Torna-se necessária a aplicação de fertilizantes e corretivos após as primeiras safras.
Forte (F)	Terras com reservas muito limitadas de um ou mais elementos nutrientes, podendo conter sais tóxicos em quantidades tais que permitam apenas o desenvolvimento de plantas com tolerância. Normalmente se caracterizam pela baixa soma de bases trocáveis (S), podendo estar a condutividade elétrica quase sempre entre 8 e 15 dS/m a 25°C e a saturação com sódio acima de 15%.
Muito Forte (MF)	Terras mal providas de nutrientes, com remotas possibilidades de ser exploradas com quaisquer tipos de utilização agrícola. Podem ocorrer, nessas terras, grandes quantidades de sais solúveis, chegando até a formar desertos salinos. Apenas plantas com muita tolerância conseguem adaptar-se a essas áreas. Podem incluir terras em que a condutividade elétrica seja maior que 15 dS/m a 25°C, compreendendo solos salinos, sódicos e tiomórficos.

#### - Deficiência da água

É definida pela quantidade de água armazenada no solo possível de ser aproveitada pelas plantas, a qual está na dependência de condições climáticas (especialmente precipitação e evapotranspiração) e edáficas (capacidade de retenção de água). A capacidade de armazenamento de água disponível por sua vez é decorrente de características inerentes ao solo, como textura, tipo de argila, teor de matéria orgânica, quantidade de sais e profundidade efetiva. Além dos fatores mencionados, a duração do período de estiagem, distribuição anual da precipitação, características da vegetação natural e comportamento das culturas são também utilizados para determinar os graus de limitação por deficiência de água. São os seguintes os graus de limitação:

Nulo (N)	Terras em que não há falta de água disponível para o desenvolvimento das culturas em nenhuma época do ano. A vegetação natural é normalmente de floresta perenifólia, campos hidrófilos e higrófilos e campos subtropicais sempre úmidos.
Nulo / Ligeiro (N/L)	Terras sujeitas à ocorrência de uma pequena falta de água disponível durante um período de um a dois meses, limitando o desenvolvimento de culturas mais sensíveis, principalmente as de ciclo vegetativo longo. A vegetação normalmente é constituída de floresta e cerrado subperenifólios e de alguns campos
Ligeiro (L)	Terras em que ocorre uma considerável deficiência de água disponível durante um período de três a cinco meses por ano, o que elimina as possibilidades de grande parte das culturas de ciclo longo e reduz significativamente as possibilidades de dois cultivos de ciclo curto, anualmente. As formações vegetais que normalmente se relacionam a esse grau de limitação são o cerrado e a floresta subcaducifólia, bem como a floresta caducifólia em solos com alta capacidade de retenção de água disponível.
Moderada (M)	Terras nas quais ocorre uma acentuada deficiência de água durante um longo período, normalmente quatro a seis meses. As precipitações oscilam de 700 a 1.000 mm por ano, com irregularidade em sua distribuição, e predominam altas temperaturas. A vegetação que ocupa as áreas dessas terras é constituída, normalmente, de floresta caducifólia, transição de floresta e cerrado para caatinga e caatinga hipoxerófila, ou seja, de caráter seco menos acentuado. Terras com estação seca menos marcante, porém com baixa disponibilidade de água, pertencem a esse grau. As possibilidades de desenvolvimento de culturas de ciclo longo não adaptadas à falta de água estão seriamente comprometidas e as de ciclo curto dependem muito da distribuição das chuvas na sua estação de ocorrência.
Forte (F)	Terras com uma severa deficiência de água durante um período seco que oscila de 7 a 9 meses. A precipitação está compreendida entre 500 e 700 mm por ano, com muita irregularidade em sua distribuição e com altas temperaturas. A vegetação é tipicamente de caatinga hipoxerófila ou outras espécies de caráter seco muito acentuado, equivalente à do sertão do Rio São Francisco. Terras com estação seca menos pronunciada, porém com baixa disponibilidade de água para as culturas, estão incluídas nesse grau, bem como aquelas que apresentem alta concentração de sais solúveis, capaz de elevar o ponto de murchamento. Está implícita a eliminação de quaisquer possibilidades de desenvolvimento de culturas de ciclo longo não adaptadas à falta de água
Muito Forte (MF)	Corresponde a uma severa deficiência de água, que pode durar mais de 9 meses, com uma precipitação normalmente abaixo de 500 mm, baixo índice hídrico ( $I_m = > -30$ ) e alta temperatura. A vegetação relacionada a este grau é a caatinga hiperxerófila.



- Excesso de água ou deficiência de oxigênio

Normalmente relaciona-se com a classe de drenagem natural do solo, que por sua vez é resultante da interação de vários fatores (precipitação, evotranspiração, relevo local e propriedades do solo). Estão incluídos na análise desse aspecto os riscos, frequência e duração das inundações a que pode estar sujeita a área. São os seguintes os graus de limitação:

Nulo (N)	Terras que não apresentam problemas de aeração ao sistema radicular da maioria das culturas durante todo o ano. São classificadas como excessivamente e bem drenadas.
Nulo/Ligeiro (N/L)	Terras sujeitas à ocorrência de uma pequena falta de água disponível durante um período de um a dois meses, limitando o desenvolvimento de culturas mais sensíveis, principalmente as de ciclo vegetativo longo. A vegetação normalmente é constituída de floresta e cerrado subperenifólios e de alguns campos.
Ligeiro (L)	Terras que apresentam certa deficiência de aeração às culturas sensíveis ao excesso de água, durante a estação chuvosa, sendo em geral moderadamente drenadas.
Moderada (M)	Terras nas quais a maioria das culturas sensíveis não se desenvolve satisfatoriamente, em decorrência da deficiência da aeração durante a estação chuvosa. São consideradas imperfeitamente drenadas, estando sujeitas a riscos ocasionais de inundação.
Forte (F)	Terras que apresentam sérias deficiências de aeração, só permitindo o desenvolvimento de culturas não adaptadas, mediante trabalho de drenagem artificial, envolvendo obras ainda viáveis ao nível do agricultor. São consideradas, normalmente, mal drenadas e muito mal drenadas, estando sujeitas a inundações frequentes, prejudiciais à maioria das culturas.
Muito Forte (MF)	Terras que apresentam praticamente as mesmas condições de drenagem do grau anterior, porém os trabalhos de melhoramento compreendem grandes obras de engenharia em nível de projetos fora do alcance do agricultor, individualmente.

- Suscetibilidade à erosão

Diz respeito ao desgaste que a superfície do solo poderá sofrer, quando submetida a qualquer uso, sem medidas conservacionistas. Está na dependência das condições climáticas (especialmente do regime pluviométrico), das condições do solo, das condições do relevo (declividade, extensão da pendente e microrrelevo) e da cobertura vegetal. São os seguintes os graus de limitação:

Nulo (N)	terras não suscetíveis à erosão. Geralmente ocorrem em solos de relevo plano ou quase plano (0 a 3% de declive), e com boa permeabilidade.
Ligeiro (L)	terras que apresentam pouca suscetibilidade à erosão. Geralmente, possuem boas propriedades físicas, variando os declives de 3 a 8%.
Moderada (M)	terras que apresentam moderada suscetibilidade à erosão. Seu relevo é normalmente ondulado, com declive de 8 a 13%. Esses níveis de declive podem variar para mais de 13%, quando as condições físicas forem muito favoráveis, ou para menos de 8%, quando muito desfavoráveis, como é o caso de solos com horizonte B, com mudança textural abrupta.
Forte (F)	terras que apresentam forte suscetibilidade à erosão. Ocorrem em relevo ondulado a forte ondulado, com declive normalmente de 13 a 20%, os quais podem ser maiores ou menores, dependendo de suas condições físicas. Na maioria dos casos a prevenção à erosão depende de práticas intensivas de controle.
Muito Forte (MF)	terras com suscetibilidade maior que a do grau forte, tendo o seu uso agrícola muito restrito. Ocorrem em relevo forte ondulado, com declives entre 20 a 45%. Na maioria dos casos o controle à erosão é dispendioso, podendo ser antieconômico.
Extremamente Forte (EF)	terras que apresentam severa suscetibilidade à erosão. Tratam-se de terras com declives superiores a 45%, nas quais deve ser estabelecida uma cobertura vegetal de preservação ambiental.

## - Impedimentos à mecanização

Esse fator é relevante no nível de manejo C, ou seja, o mais avançado, no qual está previsto o uso de máquinas e implementos agrícolas nas diversas fases da operação agrícola. São os seguintes os graus de limitação:

Nulo (N)	Terras que permitem, em qualquer época do ano, o emprego de todos os tipos de máquinas e implementos agrícolas ordinariamente utilizados. São geralmente de topografia plana e praticamente plana, com declividade inferior a 3%, não oferecendo impedimentos relevantes à mecanização. O rendimento do trator (número de horas de trabalho usadas efetivamente) é superior a 90%.
Ligeiro (L)	Terras que permitem, durante quase todo o ano, o emprego da maioria das máquinas agrícolas. São quase sempre de relevo suave ondulado, com declives de 3 a 8%, profundas a moderadamente profundas, podendo ocorrer em áreas de relevo mais suaves, apresentando, no entanto, outras limitações, como textura muito arenosa ou muito argilosa, restrição de drenagem, pequena profundidade, pedregosidade, sulcos de erosão, etc. O rendimento do trator deve estar entre 75 a 90%.
Moderada (M)	Terras que não permitem o emprego de máquinas ordinariamente utilizadas durante todo o ano. Essas terras apresentam relevo ondulado com declividade de 8 a 20% ou topografia mais suave, no caso de ocorrência de outros impedimentos à mecanização (pedregosidade, rochiosidade, profundidade exígua, textura muito arenosa ou muito argilosa do tipo 2:1, grandes sulcos de erosão, drenagem imperfeita, etc.). O rendimento do trator deve estar entre 50 e 75%.
Forte (F)	Terras que permitem apenas, o uso de implementos de tração animal ou máquinas especiais. Caracterizam-se pelos declives acentuados (20 a 45%) em relevo forte ondulado. O rendimento do trator é inferior a 50%.
Muito Forte (MF)	Terras que não permitem o uso de maquinaria, sendo difícil até mesmo o uso de implementos de tração animal. Normalmente são de topografia montanhosa, com declives superiores a 45%, com impedimentos muito fortes devido à pedregosidade, rochiosidade, profundidade ou problemas de drenagem.

Então, a avaliação das classes de aptidão agrícola das terras e, por conseguinte dos grupos e subgrupos é feita por meio do estudo comparativo entre os graus de limitação atribuídos às terras e os estipulados no Quadro Guia (Quadro 9), elaborado para atender regiões de clima tropical úmido.

O Quadro Guia de Avaliação da Aptidão Agrícola, também conhecido como tabela de conversão, constitui uma orientação geral para a classificação da aptidão agrícola das terras em função de seus graus de limitação, relacionados com os níveis de manejo A, B e C. Na referida tabela constam os graus de limitação máximos que as terras podem apresentar com relação a cinco fatores, para pertencer a cada uma das categorias de classificação definidas. Assim, a classe de aptidão agrícola das terras, de acordo com os diferentes níveis de manejo, é obtida em função do grau limitativo mais forte, referente a qualquer um dos fatores que influenciam a sua utilização agrícola; deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água (deficiência de oxigênio), suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.

Nesta avaliação, procura-se diagnosticar o comportamento das terras para lavouras, nos níveis de manejo A, B e C; para pastagem plantada e silvicultura, no nível de manejo B; e para pastagem natural, no nível de manejo A. A adoção dos cinco fatores limitantes mencionados tem por finalidade representar as condições agrícolas das terras no que concerne a suas propriedades físicas e químicas e suas relações com o ambiente. O Quadro Guia deve ser utilizado para uma orientação geral, em face do caráter subjetivo da interpretação, sujeito ao critério pessoal do usuário.



**Quadro 9.** Quadro-guia de avaliação da aptidão agrícola das terras – Região Tropical Úmida.

APTIDÃO AGRÍCOLA			GRAUS DE LIMITAÇÃO DAS CONDIÇÕES AGRÍCOLAS DAS TERRAS PARA OS NÍVEIS DE MANEJO A, B e C															TIPO DE UTILIZAÇÃO INDICADO
GRUPO	SUBGRUPO	CLASSE	DEFICIÊNCIA DE FERTILIDADE			DEFICIÊNCIA DE ÁGUA			EXCESSO DE ÁGUA			SUSCETIBILIDADE À EROSÃO			IMPEDIMENTOS À MECANIZAÇÃO			
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
1	1ABC	BOA	N/L	N/L <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	L/M	L/M	L/M	L	L <sub>1</sub>	N/L1	L/M	N/L <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	M	L	N	LAVOURAS
2	2abc	REGULAR	L/M	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	M	M	M	M	L/M <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	M	L/M <sub>1</sub>	N <sub>2</sub> /L <sub>2</sub>	M/F	M	L	
3	3(abc)	RESTRITA	M/F	M <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> /M <sub>2</sub>	M/F	M/F	M/F	M/F	M <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> /M <sub>2</sub>	F*	M <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	F	M/F	M	PASTAGEM
4	4P	BOA		M <sub>1</sub>			M			F <sub>1</sub>			M/F <sub>1</sub>		M/F			
4	4p	REGULAR		M <sub>1</sub> /F <sub>1</sub>			M/F			F <sub>1</sub>			F <sub>1</sub>		F		PLANTADA	
	4(p)	RESTRITA		F <sub>1</sub>			F			F <sub>1</sub>			MF		F			
5	5S	BOA															SILVICULTURA	
	5s	REGULAR																
	5(s)	RESTRITA		M/F <sub>1</sub>			M			L <sub>1</sub>			F <sub>1</sub>		M/F			
	5	5N	BOA		F <sub>1</sub>			M/F			L <sub>1</sub>			F <sub>1</sub>		F	E/OU PASTAGEM	
		5n	REGULAR	M/F			M/F			M/F	L/M <sub>1</sub>		F	MF		F		
5(n)		RESTRITA	F			F			F			F	MF		MF			
6	6	SEM APTIDÃO AGRÍCOLA		-			-			-			-			-	PRESERVAÇÃO DA FLORA E DA FAUNA	

**NOTAS:**  
 Os algarismos sublinhados correspondem aos níveis de viabilidade de melhoramento das condições agrícolas das terras, os demais representam os grupos de aptidão.  
  
 Terras sem aptidão para lavouras em geral, devido ao excesso de água, podem ser indicadas para arroz de inundação.  
  
 \* No caso de grau forte por suscetibilidade à erosão, o grau de limitação por deficiência de fertilidade não dever ser maior do que ligeiro a moderado para a classe restrita - 3(a).

- Graus de Limitação: N - Nulo  
 L - Ligeiro  
 M - Moderado  
 F - Forte  
 MF - Muito Forte  
 / - Intermediário

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995).

Por conseguinte, a viabilidade de melhoramento das condições agrícolas das terras em suas condições naturais, mediante a adoção dos níveis de manejo B e C, é expressa por algarismos sublinhados que acompanham as letras representativas dos graus de limitação estipulados no quadro guia. Os graus de limitação são atribuídos às terras em condições naturais e também após o emprego de práticas de melhoramento compatíveis com os níveis de manejo B e C. Da mesma forma, no quadro guia estão as classes de aptidão de acordo com a viabilidade ou não de melhoramento da limitação. A irrigação não está incluída entre as práticas de melhoramento previstas para os níveis de manejo B e C.

Consideram-se três classes de melhoramento, conforme as condições especificadas para os níveis de manejo B e C:

Classe 1	Melhoramento viável com práticas simples e pequeno emprego de capital. Essas práticas são suficientes para atingir o grau indicado no quadro guia.
Classe 2	Melhoramento viável com práticas intensivas e mais sofisticadas e considerável aplicação de capital. Essa classe ainda é considerada economicamente compensadora.
Classe 3	Melhoramento viável somente com práticas de grande vulto, aplicadas a projetos de larga escala, que estão normalmente além das possibilidades individuais dos agricultores.
Classe 4	Sem viabilidade técnica ou econômica de melhoramento. A ausência de algarismo sublinhado acompanhando a letra representativa do grau de limitação indica não haver possibilidades de melhoramento daquele fator limitativo.

### E. Adequação do uso da terra à aptidão agrícola

A adequação do uso da terra à aptidão agrícola contempla a análise se determinada unidade de paisagem com base no seu potencial de uso agrícola e na sua capacidade de suporte, apresenta limitações ou possibilidades de uso sustentado. O plano de informação foi gerado como mapa de serviços, e por meio da álgebra de mapas (BARBOSA, 1997) envolvendo operações dos atributos de cobertura e uso da terra *versus* aptidão agrícola.

Optou-se pela definição das classes conforme Sarmento et al. (2005) apresentadas no Quadro 10.

**Quadro 10.** Características das classes de adequação de uso da terra à aptidão agrícola.

CLASSES DE ADEQUAÇÃO DE USO	CARACTERÍSTICAS
Uso adequado	Áreas de usos agrossilvopastoris compatíveis com indicação de aptidão agrícola das terras; áreas urbanas, industriais/serviços e mineração.
Uso adequado para cobertura vegetal	Áreas de coberturas naturais protegidas (mata ciliar / galeria e florestas, veredas); áreas com indicação de inaptas para o uso agrícola não antropizadas.
Uso adequado com restrição moderada	Áreas de uso agrossilvopastoris compatíveis com a indicação de aptidão agrícola das terras; áreas urbanas, áreas industriais/serviços e mineração classificadas com grau moderadamente vulnerável e vulnerável perda do solo.
Áreas com sobreutilização	Áreas agrossilvopastoris com uso acima da indicação da aptidão agrícola das terras (inaptas com uso agrossilvopastoril; áreas de silvicultura com uso agropastoril; áreas de pastagem com uso agrícola).
Áreas subutilizado	Áreas agrossilvopastoris com uso abaixo da indicação de aptidão agrícola das terras. Soma-se a essa classe as áreas cobertas por vegetação secundária ou áreas degradadas
Áreas subutilizado com expansão restrito	Áreas de vegetação natural com indicação de uso agrícola, capoeiras e área degradadas classificadas com grau moderadamente vulnerável e vulnerável perda do solo.
Áreas de uso conflitivo	Áreas de preservação permanente, áreas protegidas e área com indicação de inaptas quanto a aptidão agrícola, ocupadas por usos agrossilvopastoris.

Fonte: Adaptado Sarmento et al. (2005).

Para o caso das áreas com aptidão para culturas (grupos 1, 2 e 3) a adequação considerou apenas a classificação do nível de manejo mais apto que comanda cada classe de aptidão. Para os demais grupos de aptidão - 4, 5 e 6, a adequação considerou apenas as classes de



aptidão agrícola (boa, regular e restrita) uma vez que não existem níveis de manejo estipulados para esses grupos.

#### F. Vulnerabilidade natural à perda de solos por erosão

Para a vulnerabilidade natural à perda de solos por erosão adotou-se a metodologia de Crepani et al. (2001). Destaca-se que essa metodologia foi desenvolvida a partir do conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), baseado na relação morfogênese/pedogênese, e da potencialidade para estudos integrados que permitem uma visão sinóptica e holística da paisagem por meio das variáveis geologia, geomorfologia, solos, cobertura e uso da terra e pluviosidade.

Utiliza-se com base para a elaboração da Carta de Vulnerabilidade à Perda de Solo da RSE-TO, as unidades básicas de compartimentação (UBCs) definidas para os sistemas ambientais (Seção 4.4.1) em que a integração das variáveis ambientais acontece por meio da álgebra de mapas (BARBOSA, 1997) em ambiente ArcGIS, para que seja gerada a Carta de Vulnerabilidade à Perda de Solo da RSE-TO.

Cada unidade recebe um valor estabilidade inicial por variável (tema), que pode variar de 1,0 a 3,0 (21 notas possíveis considerando uma casa decimal – Quadro 11). Chega-se ao valor final de vulnerabilidade por unidade pela média aritmética desses valores individuais. Isto busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo.

**Quadro 11.** Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.

Categoria morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Dentro desta escala de vulnerabilidade as unidades que apresentam maior estabilidade são representadas por valores mais próximos de 1,0, as unidades de estabilidade intermediária são representadas por valores ao redor de 2,0, enquanto, que as unidades territoriais básicas mais vulneráveis apresentam valores mais próximos de 3,0. São definidas as classes com valores e cores conforme a Figura 16.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			CORES
				VERM.	VERDE	AZUL	
U1		3,0		255	0	0	[Red]
U2		2,9	VULNERÁVEL	255	51	0	
U3		2,8		255	102	0	
U4	V	2,7		255	153	0	
U5	U	2,6	MODERADAM VULNERÁVEL	255	204	0	[Yellow]
U6	L	2,5		255	255	0	
U7	N	2,4		204	255	0	
U8	E	2,3	MEDIANAM ESTÁVEL/VULNERÁVEL	153	255	0	[Green]
U9	R	2,2		102	255	0	
U10	A	2,1		51	255	0	
U11	B	2,0	MODERADAM ESTÁVEL	0	255	0	[Cyan]
U12	I	1,9		0	255	51	
U13	L	1,8		0	255	102	
U14	I	1,7	MODERADAM ESTÁVEL	0	255	153	[Blue-Cyan]
U15	D	1,6		0	255	204	
U16	A	1,5		0	255	255	
U17	D	1,4	ESTÁVEL	0	204	255	[Blue]
U18	E	1,3		0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1	ESTÁVEL	0	51	255	[Dark Blue]
U21		1,0		0	0	255	

Figura 16. Escala de estabilidade/vulnerabilidade de unidades.

Fonte: Crepani et al. (2001).

#### 4.5.2 Meio biótico

Compreende a caracterização e análise da cobertura vegetal (regiões fitoecológicas e suas fitofisionomias). A análise das variáveis bióticas subsidia a proposição de estratégias para a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos (inclusive para a produção de água – suporte ambiental), que são considerados componentes ambientais essenciais para a sustentabilidade das atividades econômicas regionais.

O diagnóstico inicia-se após as atividades de campo, com as informações do levantamento da vegetação. Procedeu-se à definição da classificação da vegetação, mantendo a hierarquia do Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2013), que é baseado nas classificações nacional (IBGE, 2012) e regional do Cerrado (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Em seguida, efetuam-se as análises de status de conservação das espécies, diversidades beta e alfa, espécies indicadoras e parâmetros fitossociológicos.

Na sequência trata-se da classificação botânica das espécies que seguiu o sistema *Angiosperm Phylogeny Group* (APG IV) e a nomenclatura e sinonímias botânicas foram revisadas com base na Lista de Espécies da Flora do Brasil (Flora do Brasil em construção 2020) utilizando o pacote flora (CARVALHO, 2016) no ambiente estatístico R (DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015). Foram utilizadas as listas de espécies ameaçadas da flora no Brasil (MMA, 2014) e de Tocantins (TOCANTINS, 1999) para apresentar o *status* de conservação das espécies.



Para a diversidade, utilizou-se o método de Magurran (1988) em que a biodiversidade das comunidades está organizada em dois componentes: diversidade alfa e diversidade beta. A diversidade alfa refere-se ao número (riqueza) e à abundância de espécies dentro de uma comunidade (equabilidade), enquanto a diversidade beta se relaciona com as diferenças na composição de espécies e suas abundâncias entre ou dentro de comunidades, ou seja, reflete a dissimilaridade florística e na estrutura das populações (MAGURRAN, 1988).

Para determinar a diversidade alfa dos grupos fitofisionômicos (GF) de cada formação vegetal (cerrado *sensu stricto*, cerradão, floresta estacional e mata de galeria e ciliar) calculou-se a diversidade de Shannon. Obteve-se a riqueza real e estimou-se a riqueza de espécies por meio do estimador de espécies Chao1 - pacote 'iNEXT' - versão 2.0 - (HSIEH; CHAO, 2014) do R (DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

Determinou-se a diversidade beta dentro das fitofisionomias por meio da análise de agrupamento usando o método hierárquico aglomerativo por média (UPGMA - *unweighted pair group method with arithmetic mean*) (DAPPORTO et al., 2013).

A similaridade utilizada no agrupamento das comunidades foi calculada pelo índice de Bray-Curtis (que considera a densidade das espécies) no pacote recluster (DAPPORTO et al, 2013) e agruparemos a matriz de distância usando o pacote cluster (ROUSSEEUW et al., 2014), ambos no programa R (DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

Verificou-se a significância do agrupamento com base no nível de significância ( $p < 0,05$ ) e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da análise de variância não-paramétrica (ANOSIM) da matriz de dissimilaridade explicada pelos grupos no pacote vegan (OKSANEN et al., 2013), com 999 permutações. Por meio desse procedimento determinou-se grupos fitofisionômicos dentro dos quatro tipos de formação vegetal avaliada (cerrado *sensu stricto*, cerradão, floresta estacional e mata de galeria e ciliar),

Para reduzir a dimensionalidade dos dados e determinar os gradientes na composição e estrutura das fitofisionomias realizamos o escalonamento multidimensional não métrico (NMDS - *non-metric multidimensional scaling*), com o pacote vegan (usando o índice de Bray-Curtis). NMDS é considerado um dos mais poderosos métodos indiretos de ordenação de dados comunitários (MCCUNE; GRACE, 2002) e permite capturar padrões na composição e estrutura da vegetação sem restringir-se a um conjunto de preditores.

Confirmou-se a estabilidade dos resíduos nas fases finais do processo de iteração da NMDS para verificar a distorção na representação dos dados por meio do valor de stress (MCCUNE; GRACE, 2002).

Em termos de espécies indicadoras, para elucidar as interpretações das análises de agrupamento e ordenação (análise da diversidade beta) determinaram-se as espécies mais importantes (baseadas na densidade e frequência) dentro de cada grupo fitofisionômico por meio da análise de espécies indicadoras (ISA - *Indicator Species Analysis*, DUFRÊNE; LEGENDRE, 1997).

O ISA utiliza a combinação de informações sobre a concentração de abundância de uma espécie em determinado grupo e a fidelidade da ocorrência dessa espécie em outros grupos.

Valores Indicativos (IndVal) foram calculados para as espécies dentro de cada grupo e testados estatisticamente pelo teste de Monte Carlo, de forma a diferenciá-lo do acaso.

Por fim, o método testa o significado ecológico de cada espécie, com um nível de significância  $\alpha = 0,05$  (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998). Esse método foi muito importante para determinar espécies indicadoras dos distintos nichos ecológicos em condições diversas de resistência ou fragilidade a escassez hídrica da RSE-TO.

Para a fitossociologia, as análises foram efetuadas sobre os parâmetros densidade, frequência e dominância (absoluta e relativa), além do Índice de Valor de Importância (IVI), que consiste na soma dos três parâmetros relativos para as amostragens das formações savânicas e florestais. Foram utilizadas as fórmulas descritas em Felfili e Rezende (2003) - Quadro 12:

**Quadro 12.** Equações para o cálculo dos parâmetros fitossociológicos.

Densidade Absoluta (DA) = $n/\text{área}$	Onde:
Densidade Relativa (DR) = $(n/N).100$	n = número de indivíduos da espécie i
Dominância Absoluta (DoA) = $g_i/\text{área}$	N = número total de indivíduos
Dominância Relativa (DoR) = $(g_i/G).100$	$g_i = \pi/4d^2$ - área basal total da espécie i
Frequência Absoluta (FA) = $(P_i/P).100$	d = diâmetro à altura do peito (DAP) de cada indivíduo, em centímetros
Frequência Relativa (FR) = $(FA_i/FA).100$	G = somatório das áreas basais individuais ( $g_i$ )
Índice de Valor de Importância (IVI) = DR + FR + DoR	$P_i$ = número de parcelas com ocorrência da espécie i
	P = número total de parcelas amostradas
	$FA_i$ = frequência absoluta da espécie i
	FA = somatória das frequências absolutas de todas as espécies amostradas

Fonte: Felfili e Rezende (2003).

A densidade expressa o número de indivíduos de uma determinada espécie por unidade de área (em geral, por hectare).

A dominância representa a taxa de ocupação do ambiente pelos indivíduos de uma espécie e pode ser definida como a projeção da área basal à superfície do solo. Portanto, fornece uma medida mais eficaz da cobertura do que simplesmente o número de indivíduos capitado pela densidade (FELFILI; REZENDE, 2003).

A frequência considera o número de parcelas em que determinada espécie ocorre. Indica a dispersão média de cada espécie e é expressa em porcentagem. É dada pela probabilidade de se encontrar uma espécie numa unidade de amostragem e o seu valor estimado indica o número de vezes que uma espécie ocorre num dado número de amostras (FELFILI; REZENDE, 2003).

O Índice de Valor de Importância (IVI) reflete o grau de importância ecológica da espécie em determinado local, revelando a posição sociológica de uma espécie na comunidade analisada. É dado pelo somatório dos parâmetros Densidade Relativa (DR), Frequência Relativa (FR) e Dominância Relativa (DoR) de uma determinada espécie (FELFILI; REZENDE, 2003).

Para a vegetação, inclui-se a determinação do efeito das variáveis ambientais sobre a diversidade beta das fitofisionomias. Verificou-se a relação de variáveis geológicas, climáticas, edáficas e topográficas com o gradiente na composição e estrutura entre os grupos



fitofisionômicos das formações savânicas (*cerrado sensu stricto*) e florestais (*cerradão*, floresta estacional, mata de galeria e ciliar) por meio de Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA).

Utiliza-se o pacote 'vegan' (OKSANEN et al., 2013) do R (DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015). Dessa foram determinadas a significância e relação individual das variáveis ambientais em relação aos gradientes de similaridade na composição florística-estrutural das comunidades - detectado pelo UPGMA - (OKSANEN et al., 2013) para facilitar a interpretação dos efeitos do ambiente sobre os grupos fitofisionômicos de cada formação vegetal.

Também foram avaliados o volume de material lenhoso, biomassa e estoque de carbono. Determinaram-se os parâmetros estruturais de volume de material lenhoso e de biomassa, e estoque de carbono de todos os indivíduos amostrados para cada fitofisionomia e, em seguida, para cada grupo fitofisionômico.

Usou-se o método não-destrutivo de geração das estimativas estruturais aplicando as equações desenvolvidas em localidades próximas da RSE-TO para formações savânicas (REZENDE et al., 2006; DELITTI et al., 2006, FELFILI, 2008) e florestais (COLPINI et al., 2009; HIGUCHI et al., 1998) para a base de dados dendrométricos (diâmetro e altura) - Quadro 13.

**Quadro 13.** Equações usadas para estimar de forma não-destrutiva o volume de material lenhoso, biomassa e estoque de carbono do componente arbóreas das formações savânicas e florestais.

Parâmetro Estrutural	Formações Savânicas ( <i>cerrado sensu stricto</i> )	Formações florestais ( <i>cerradão</i> , floresta estacional e mata de galeria)
Volume de material lenhoso	$VT = 0,000109.Db^2 + 0,0000145.Db^2.Ht$ Fonte: Rezende et al. (2006) VT = Volume total (m <sup>3</sup> ); Db = Diâmetro a 30 cm do solo em centímetros; Ht = Altura total em metros.	$Ln(VT) = -9,1892 + 1,9693 Ln(DAP) + 0,837 Ln(Ht)$ Fonte: Colpini et al. (2009) Ln = logaritmo neperiano ou natural; VT = volume total (m <sup>3</sup> ); DAP = diâmetro em cm tomado a 1,30 m do solo em centímetros; Ht = altura total em metros.
Biomassa lenhosa aérea	$BA = 28,77.Db^2.Ht$ Fonte: Delitti et al. (2006) Onde: BA = biomassa lenhosa da parte aérea (ton.ha-1); Db = diâmetro a 30 cm do solo; Ht = altura total.	$BA = [0,077 + 0,492.DAP^2.Ht].0,6$ Fonte: Higuchi et al. (1998) Em que: BA = biomassa lenhosa da parte aérea (ton.ha-1); DAP = diâmetro a 1,30 m do solo; Ht = altura total.
Biomassa lenhosa subterrânea	$BS = BA * 2,75$ Fonte: Felfili (2008) Em que: BS = biomassa lenhosa da parte subterrânea (ton.ha-1); BA = biomassa lenhosa da parte aérea.	
Carbono aéreo	$CA = 0,24564 + (0,01456.Db^2.Ht / 1000)$ Fonte: Rezende et al. (2006) Em que: CA = estoque de carbono do componente arbóreo aéreo (ton), Db = diâmetro a 30 cm do solo; Ht = altura total em metros.	$CA = [0,077 + 0,492.DAP^2.Ht].0,6.0,5$ Fonte: Higuchi et al. (1998) Em que: CA = estoque de carbono do componente arbóreo aéreo (ton); DAP = diâmetro em um 1,30 m do solo em metros; Ht = altura total em metros.
Carbono total	$CT = BA + BS.0,5$ Fonte: Rezende et al. (2006) Em que: CT = carbono total; BA = biomassa aérea do componente arbóreo; BS = biomassa subterrânea do componente arbóreo.	

Fonte: Elaboração do Autor.

Fechando os procedimentos para o diagnóstico da vegetação, realiza-se caracterização do potencial de aproveitamento não madeireiro da vegetação nativa. Ele ocorre por meio da congregação de informações advindas de literatura específica, de entrevistas informais com moradores da zona rural e originárias de observações de campo. Foram levantados dados de usos madeireiros e não madeireiros da maioria das espécies registradas na RSE-TO. As principais fontes da literatura foram: LORENZI (1992; 2002; 2009); PAULA e ALVES (1997); IBGE (2002); MAIA (2002); CARAUTA e DIAZ (2002); CARVALHO (2003); BACKES; IRGANG (2004); SILVA JÚNIOR (2005); SILVA JÚNIOR e PEREIRA (2009).

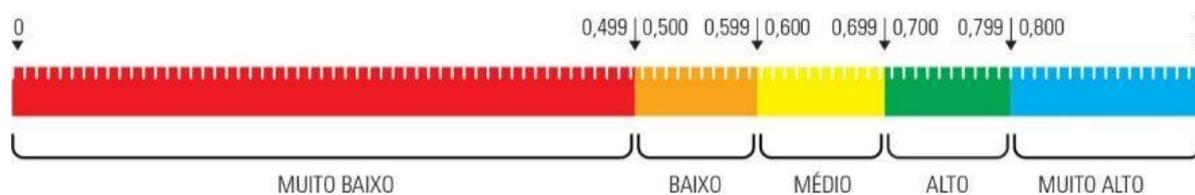
#### 4.5.3 Meio socioeconômico

A análise do meio socioeconômico teve como ênfase aspectos relacionados à demografia, uso da terra e atividades econômicas relacionadas ao uso da água. Nesse sentido, a primeira etapa do estudo visou caracterizar a população da região quanto aos seus aspectos políticos, históricos, culturais e socioeconômicos. Para isso, o estudo iniciou com uma avaliação de documentos históricos sobre a condição da região voltada à população que povoou a região, a partir da chegada dos primeiros migrantes no século XVIII, a procura de ouro e diamantes.

Em seguida, foi realizada análise do IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal da população, utilizando-se a adaptação brasileira do IDH – Índice de Desenvolvimento Humano Global adotado pela Organização das Nações Unidas (ONU). Esse índice é de grande relevância para a avaliação das transformações e do desenvolvimento da população local, utilizando-se de três dimensões básicas que são agregadas para formar o índice:

- IDHM-L – Longevidade;
- IDHM-E – Educação;
- IDHM-R – Renda.

O IDHM é calculado como a média geométrica dos índices parciais relacionados a cada dimensão, varia de 0 a 1, e pode ser classificado em cinco categorias, que são ilustradas na Figura 17.



**Figura 17.** Faixas de Desenvolvimento Humano Municipal.

Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil (PNUD.2013).

Ainda para a caracterização demográfica regional, foi avaliado outro índice de grande relevância, o índice de Gini, que mede a concentração de renda da população. Trata-se de índice que também utiliza a escala de 0 a 1. No entanto, nesse caso o 0 corresponde à total igualdade de renda da população (renda dividida igualmente entre toda a população) e o 1 corresponde à situação de extrema desigualdade (apenas uma pessoa detém toda a renda da região).



A caracterização da população da região também foi feita por meio de avaliação das faixas etárias dos habitantes dos municípios estudados. A população da região foi obtida para os 23 municípios estudados segundo informações dos censos demográficos de 2000 e 2010 do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e foi distribuída por faixa etária segundo o modelo de pirâmide etária. Com isso, é possível verificar e avaliar a distribuição da população por diferentes faixas, tanto para a população masculina quanto a feminina. Com a avaliação para os anos de 2000 e 2010, é possível verificar tendências que poderão levar a alterações econômicas na região e, com isso, no uso e demanda hídrica. A pirâmide etária da região foi comparada com o mesmo modelo para o estado de Tocantins e para o Brasil para os anos de 2000 e 2010 de forma a verificar diferentes e características regionais.

Outro aspecto relevante para a avaliação da população de uma região e que tem influência na demanda hídrica trata da relação entre população urbana e rural e suas tendências. A tendência de urbanização verificada no Brasil também foi identificada na região, o que leva a mudanças no uso da água e nas atividades econômicas. Também a análise de densidade demográfica ajuda nessa análise mostrando serem municípios com baixa concentração populacional, o que é importante para avaliar a condição de pressão por demanda hídrica para que possa levar a um maior incremento da população.

A análise de emprego e renda da região foi avaliada por meio de índice de PEA – População Economicamente Ativa, que trata daquela inserida no mercado de trabalho e em idade de trabalhar. Nesse caso, a metodologia adotada para a obtenção desse índice é que a população ocupada se refere às pessoas que estão trabalhando ou vinculadas a algum trabalho. Por outro lado, a consideração como população desocupada trata daquelas pessoas que não estão trabalhando, mas que buscaram de alguma forma trabalho nos 30 dias que antecederam a pesquisa. A população ocupada foi distribuída, ainda, por tipologia de serviço entre os trabalhadores agrícolas, do comércio, serviços ou outros.

A distribuição da população foi também realizada com a verificação da existência de comunidades quilombolas, com base nas informações da Fundação Cultural Palmares. Tratam-se de comunidades características da região, com presença importante em função da chegada de escravos para o ciclo do ouro ocorrido na região e no norte do estado de Goiás ao longo do século XVIII. O mesmo ocorreu em função da Rota do Gado que trouxe para a região um grande número de negros, o que interferiu na composição da população.

Seguindo a análise, foi avaliada a economia da região, por meio da ocupação do solo e dinâmica relacionada aos principais empreendimentos existentes. Iniciou-se a análise por meio da busca de informações do PIB – Produto Interno Bruto dos municípios, comparando com a condição do restante do estado e índices de crescimento do país ao longo dos últimos anos. A verificação dos municípios com maior índice relacionado ao PIB foi realizada com a finalidade de verificar os principais polos da região, como pode ser verificado no capítulo que apresenta os resultados dessa análise.

A análise da economia regional segue pela avaliação do Valor Adicionado Bruto e a metodologia adotada foi por meio de sua divisão por setor da economia e a comparação dos índices locais com a condição do estado de Tocantins e do país. Trata-se de mais uma análise

importante para identificação das principais características da região e a comparação com outras áreas permite identificar condições específicas locais.

A partir daí, foram avaliados os principais aspectos relacionados a cada setor econômico da região. Para essa avaliação foram buscadas informações de Produção Agropecuária Municipal do IBGE, envolvendo número de cabeças de cada tipologia animal e tipologias de empreendimentos existentes na região, baseando-se nas informações de outorgas da região e da FIETO – Federação de Indústrias de Tocantins. A produção agrícola foi avaliada com base nos índices apresentados por município pela Secretaria de Agricultura e Pecuária – SEAGRO. Nesse sentido, de acordo com as informações disponíveis foi feita avaliação da produção, culturas plantadas, área de plantio e produtividade em toneladas por hectare. Outros setores econômicos foram também avaliados com base em informações de IBGE, FIETO, SEAGRO e CPRM – Serviço Geológico do Brasil, notadamente o setor mineral e piscicultura, que apresenta característica importante na região, pelo fato de abrigar dois importantes empreendimentos e com grande consumo de água por meio de evaporação em função da grande superfície de espelho d'água.

Finalmente, especial destaque no que se refere à análise da economia regional foi dada ao Distrito de Irrigação Manuel Alves – DIMA, que se refere ao principal empreendimento instalado na região em termos de consumo de água. Dada a importância desse empreendimento, foi realizada visita ao local, tendo sido obtidas informações específicas de seu uso da água e sua condição atual em termos de áreas já plantadas e culturas. Essa análise é de grande relevância dado o porte do DIMA para a região, seu consumo de água e as potencialidades de crescimento e sua relação com a escassez hídrica, uma vez que para que possa desenvolver, será necessário verificar a disponibilidade hídrica. Assim, sua análise é realizada quanto aos aspectos socioeconômicos, mas também no diagnóstico dos recursos hídricos, como será comentado mais adiante.

## **4.6 Diagnóstico hidroclimático**

### **A. Clima**

Para o diagnóstico climático da RSE-TO usaram-se as variáveis climáticas, precipitação pluvial, temperatura do ar, umidade relativa do ar, evapotranspiração de referência, deficiência hídrica, índice de aridez da UNEP, índice hídrico e índice de umidade. Para elas foram elaborados, em ambiente ArcGIS, mapas mensais, anuais, semestrais (estações seca e chuvosa), bem como para os anos de ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña<sup>[4]</sup>, classificados como fortes.

---

<sup>[4]</sup> Eventos climáticos do Pacífico, correspondem ao aquecimento e resfriamento das águas do Oceano Pacífico, ocasionando efeitos em várias partes do mundo. El Niño é o fenômeno resultante do aquecimento anormal das águas do Pacífico na costa litorânea do Peru, onde geralmente as águas são frias. Tal fenômeno produz algumas massas de ar quentes e úmidas, que geram algumas chuvas na região de entorno com a diminuição do regime de chuvas em outras localidades. No Brasil, o fenômeno também contribui para o aumento de chuvas nas regiões Sul e em partes do Sudeste e do Centro-Oeste. O La Niña é um fenômeno exatamente inverso. Ela representa um esfriamento anormal das águas do oceano Pacífico em virtude do aumento da força dos ventos alísios. No Brasil, o La Niña provoca os efeitos opostos, com a intensificação das chuvas na Amazônia, no Nordeste e em partes do Sudeste.



O diagnóstico do clima se deu sobre a manipulação, tratamento e análise dos dados climáticos obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Como eles estão disponíveis em poucos municípios da RSE-TO, estabeleceu-se uma malha de dados mais apropriada para o mapeamento das variáveis com base em dados diários, no período de janeiro/1979 a julho/2014, do Sistema de Reanálises para Previsão do Clima (CFSR) do Centro Nacional de Previsão Ambiental (NCEP).

O CFSR foi projetado e executado como um modelo global acoplado ao sistema oceano-atmosfera-terra. O modelo disponibiliza dados diários de precipitação pluvial, temperatura média do ar, umidade relativa, velocidade média do vento e radiação global com resolução de 30 x 30 km para o planeta todo.

Com os dados disponíveis para trabalho procedeu-se com a avaliação da tendência das séries temporais por meio do teste estatístico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975). Este teste é recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para avaliar a tendência em séries temporais climatológicas, com no mínimo 30 anos de dados (SILVA, 2004). Esse teste foi aplicado às séries temporais das variáveis climáticas de precipitação pluvial e temperatura do ar.

O teste de Mann-Kendall é não-paramétrico que consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial. É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado. A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, dada como segue:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sinal}(x_i - x_j), \quad (2)$$

em que, o sinal  $(x_i - x_j)$  é obtido da seguinte forma:

$$\text{Sinal} = \begin{cases} 1 & \text{se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

A estatística S tende para a normalidade quando n for grande, com média E(S) e variância Var(S) definidas como segue:

$$E(S) = 0, \quad (4)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n+1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (5)$$

em que:  $(t_p)$  é número de dados com valores iguais num certo grupo (pth) e q o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p. O segundo termo

equação (5) representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado ( $Z_{MK}$ ) é dado por:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

A presença de tendência estatisticamente significativa na série temporal é avaliada usando-se o valor de  $Z$ . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula que nenhuma tendência existe.

O valor positivo de  $Z_{MK}$  indica uma tendência crescente. Para testar qualquer tendência constante, crescente ou decrescente para um nível significativo de  $p$ , é rejeitada a hipótese nula se o valor absoluto de  $Z$  é maior que  $Z_{1-p/2}$ , o qual é obtido na tabela da distribuição normal. Neste trabalho foram aplicados os níveis de significância de  $p = 0,05$  e  $0,1$ .

Calculou-se a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelo método de Penman-Monteith, com base nos dados de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento a dois metros de altura e radiação solar. Esse método, que é recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação (FAO), é utilizado em todo o mundo, em face de sua robustez e precisão.

O índice de aridez (IA) utilizado, foi aquele definido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP). O cálculo deste índice utiliza a evapotranspiração potencial e precipitação pluvial (UNEP, 1992). Esse índice foi utilizado inicialmente para verificação dos efeitos antropogênicos nas condições climáticas e hoje é, também, utilizado no zoneamento agrícola e na avaliação das mudanças climáticas.

Quando há uma redução no valor IA, têm-se uma elevada tendência à desertificação. Este termo foi definido pela Organização das Nações Unidas (ONU), desde a década de 1980, como sendo "a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas". Nesse sentido, foram apresentados mapas de classificação climática de acordo com o IA para a região de estudo.

Os valores de IA são agrupados pelas classes sugeridas pela UNEP, como segue no Quadro 14.

**Quadro 14.** Classificação climática da UNEP em função do índice de aridez (IA).

CLASSE	ÍNDICE DE ARIDEZ (IA)
Úmido	$IA \geq 100$
Subúmido úmido	$65 < IA < 100$
Subúmido seco	$50 < IA \leq 65$
Semiárido	$20 < IA \leq 50$
Árido	$5 < IA \leq 20$
Hiperárido	$IA \leq 5$

Fonte: UNEP (1992).



De acordo com a UNEP, IA é definido pela relação entre a precipitação média anual (Prec) e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), ou seja:

$$IA = \frac{Prec}{ET_o} \quad (1)$$

A evapotranspiração de referência foi determinada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), cujo valor expressa a demanda atmosférica.

Em seguida, tratou-se da susceptibilidade à desertificação. A tendência à desertificação possui várias metodologias e classificações, algumas sendo mais completas, que abrangem aspectos sociais e econômicos, e outras mais simples, que são oriundas de estudos climatológicos (LOPES; LEAL, 2015).

Uma das metodologias mais simples e aplicada é o nível de susceptibilidade à desertificação com base em faixas dos IA proposta por Matallo Júnior e Schenkel (2003). Esta classificação é utilizada como padrão no Plano Nacional de Combate à Desertificação e possui cinco categorias de susceptibilidade e variam conforme cada faixa de escala do IA.

O Núcleo de Desertificação do Ibama elaborou o primeiro mapa de susceptibilidade à desertificação (RODRIGUES et al., 1992), quando da realização Conferência Internacional sobre o Impacto das Variações Climáticas no Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (ICID). Com base neste trabalho, o Plano Nacional de Combate à Desertificação (MMA, 2005) estabeleceu três categorias de desertificação com base no índice de aridez (IA), conforme Quadro 15.

**Quadro 15.** Classificação do nível de susceptibilidade à desertificação em função do IA.

NÍVEL DE SUSCEPTIBILIDADE	IA
Moderada	51 < IA < 65
Alta	21 < IA < 50
Muito alta	5 < IA < 20

Fonte: Adaptado MMA (2005).

Seguindo com a obtenção das variáveis climáticas, determinou-se a evapotranspiração de referência diária ( $ET_o$ ) pelo modelo Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), a qual descreve a evapotranspiração como a combinação da perda de água devido a energia de radiação e o termo aerodinâmico de uma superfície com grama hipotética, com 0,12 m de altura, resistência de superfície de 70 s.m<sup>-1</sup> e albedo de 0,23 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (7)$$

em que:

$ET_o$  é a evapotranspiração de referência [mm d<sup>-1</sup>],

$R_n$  é o saldo de radiação à superfície da cultura [MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>],

$G$  é a densidade do fluxo de calor do solo [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ],

$T$  é a temperatura média do ar a 2 m de altura [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$u_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura [ $\text{m s}^{-1}$ ],

$(e_s - e_a)$  é o déficit da pressão de vapor medido a 2 m de altura [ $\text{kPa}$ ],

$\Delta$  é a declinação da curva de pressão de vapor [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ],

$\gamma$  constante psicrométrica [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ],

$C_n$  é o coeficiente para a cultura de referência [ $\text{kJ}^{-1} \text{kg } ^{\circ}\text{K}$ ] resultante da conversão de segundos para dias ou horas,

$C_d$  é o coeficiente do vento para a cultura de referência [ $\text{kJ}^{-1} \text{kg } ^{\circ}\text{K}$ ], resultante da razão das resistências aerodinâmica e estomática,

0,408 é o valor para  $1/L$  com  $L=2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ ,

$C_n = 900$  para cálculos diários e

$C_n = 37$  ( $= 900/24$ ) para cálculos horários, assumindo  $r_s = 70 \text{ s.m}^{-1}$ , tem-se  $C_d = 0,34$  para cálculos diários.

Para cálculos horários é preferível distinguir as horas de noite e de dia, fazendo  $r_s = 50 \text{ s m}^{-1}$  durante as horas do dia e  $r_s = 200 \text{ s.m}^{-1}$  durante as horas de noite (ALLEN et al., 1998). Nessas condições, tem-se  $C_d = 0,24$  para as horas de dia ( $R_n > 0$ ) e  $C_d = 0,96$  para as horas de noite ( $R_n \leq 0$ ). O fluxo de calor sensível para o solo ( $G$ ) assume-se como nulo para cálculos diários; para cálculos horários,  $G = 0,1R_n$  durante as horas de dia e  $G = 0,5 R_n$  durante as horas de noite.

À medida que as variáveis climáticas iam sendo obtidas, elas eram manipuladas em ambiente ArcGIS, onde foi criado uma *geodatabase* para espacialização de cada variável como planos de informação.

As grades de dados climáticos foram manipuladas no módulo *Spatial Analyst*, que oferece ferramentas para analisar e modelar fenômenos, com base em grades. O emprego desta extensão permite gerar novas informações a partir de dados existentes, analisar relações espaciais, construir modelos espaciais e realizar operações complexas.

Ainda em ambiente ArcGIS efetuou-se o mapeamento da escassez hídrica da RSE-TO definida por meio de uma escala de valores (21 classes de 1.0 a 3.0), de acordo com a metodologia adaptada por Crepani et al. (2001). Foi realizada uma classificação do grau de estabilidade/vulnerabilidade de cada variável climática, segundo as relações entre os processos térmicos e hídricos. Esta versão do plano de informação das áreas suscetíveis à escassez hídrica foi realizada por meio da análise integrada dos mapas das variáveis climáticas, temperatura média do ar, precipitação pluvial, umidade relativa e evapotranspiração de referência. Usou-se a análise por álgebra de mapas para elaborar o mapa de escassez hídrica na RSE-TO.

## B. Recursos hídricos

O diagnóstico de recursos hídricos contempla cinco segmentos: caracterização das bacias hidrográficas, disponibilidade hídrica superficial, disponibilidade hídrica subterrânea,



estimativas de demandas hídricas e balanço hídrico.

- **Caracterização das bacias hidrográficas**

A caracterização envolveu a descrição das bacias e sub-bacias hidrográficas com base em dados e informações compiladas de trabalhos anteriores realizados na região e no estado do Tocantins.

- **Disponibilidade hídrica superficial**

Foram seguidos cinco passos metodológicos para cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas sub-bacias de interesse: análise de consistência dos dados fluviométricos; preenchimento das séries de vazões em período comum; cálculo das variáveis hidrológicas; avaliação da sazonalidade hidrológica; e regionalização das variáveis hidrológicas.

Na análise de consistência dos dados fluviométricos, inicialmente foram avaliadas as séries de vazões de todas as estações fluviométricas previamente selecionadas. Esta avaliação decorreu com base nas seguintes premissas:

- série histórica com mais de 20 anos de registros de dados;
- inexistência ou eliminação de leituras incoerentes com ou mesmo conversões de leituras em vazões incoerentes com o restante da série de dados diários;
- aderência dos resumos de descarga com a curva-chave;
- cálculo da vazão média mensal para definição de período homogêneo de análise.

Para o preenchimento da série de vazões foram geradas vazões médias mensais de cada uma das estações fluviométricas selecionadas, a partir das quais se observou os meses de falhas. Para preenchimento das falhas, selecionou-se a estação com melhor correlação entre as séries mensais de período coincidente em termos de  $R^2$ , buscando sempre superar o valor de 0,8. Ressalta-se que esse período foi definido em razão da disponibilidade de dados mensais para se realizar o preenchimento de todas as estações. O preenchimento foi realizado por meio da construção de equação de regressão linear ou por potência, conforme equações 1 e 2, associando em  $y$  a estação a ser preenchida e em  $x$  a estação de referência.

$$y = ax + b \quad (1)$$

$$y = ax^b \quad (2)$$

O cálculo das variáveis hidrológicas deu-se a partir das séries de vazões calculadas. Foram calculadas as vazões médias de longo termo por meio da média aritmética das vazões médias mensais das séries preenchidas, conforme equação 3, onde  $Q_{MLT}$  é a vazão média de longo termo,  $Q_i$  é a vazão média mensal e  $n$  o número de meses da série de vazões.

$$Q_{MLT} = \frac{\sum Q_i}{n} \quad (3)$$

As vazões mínimas de referências,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , representam probabilidade de 90% e 95%, respectivamente, de as vazões serem igualadas ou superadas no tempo. Para cálculo dessas vazões gerou-se a curva de permanência das séries de vazões homogêneas e

preenchidas. Esta curva foi construída por meio da ordenação da série de vazões e cálculo da permanência da vazão média de cada mês conforme equação 4, onde  $i$  é a ordem da vazão média mensal e  $n$  o número de meses da série de vazões.

$$Permanência = \frac{i}{n+1} \quad (4)$$

Na avaliação da sazonalidade hidrológica, para uma análise mais ampla, verificou-se quais seriam os meses que melhor caracterizariam os períodos de cheia e estiagem. Para isso, foram utilizados como base inicial o estudo de climatologia e seus dados básicos realizados para este projeto. Além disso, foram verificadas informações da publicação Climatologia do Brasil (NIMER, 1989).

Em seguida, buscou-se avaliar o comportamento da  $Q_{MLT}$  – vazão média de longo termo do período de estiagem e do período de cheia em relação à  $Q_{MLT}$  do período completo, de modo a compreender em quais meses encontra-se maior discrepância das vazões médias entre cheia e estiagem, de modo também a conhecer quais os meses melhor representam esses períodos.

Definidos esses meses, buscou-se avaliar as vazões mínimas de referência para cada um dos períodos, de modo a possibilitar a proposição de medidas de vazões de referência distintas alguns meses do ano ou mesmo indicação de políticas específicas para as regiões onde esta discrepância é maior.

Além disso, verificou-se também a variação das vazões médias em relação aos anos de ocorrência crítica dos fenômenos climatológicos La Niña e El Niño, os quais estão associados aos seguintes anos, conforme avaliado no estudo de climatologia.

- La Niña: 1988–1989; 1998-2001; 2007–2008;
- El Niño: 1982-1983; 1990-1993; 2015-2016.

Fechando a disponibilidade hídrica superficial, trabalhou-se na regionalização das variáveis hidrológicas estudadas. A definição da regra para regionalização das vazões  $Q_{MLT}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  foi realizada por meio da regressão linear destas vazões em razão da área de drenagem das estações fluviométricas selecionadas. A partir da regra de regionalização dos dados hidrológicos, calculou-se os valores para as variáveis em questão e para as sub-bacias de interesse (Tabela 1). Assim, a partir da  $Q_{90}$  das bacias de interesse, foi avaliada a disponibilidade hídrica para as mesmas, as quais correspondem a 75% do valor da  $Q_{90}$ . Esse valor de 75% foi considerado em função de se tratar do valor outorgável, considerando o Decreto Estadual de Tocantins nº 2.432/2005.

**Tabela 1.** Sub-bacias de interesse para cálculo da disponibilidade hídricas.

BACIA	SUB-BACIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Bacia do Rio das Balsas	Bacia do Rio das Balsas1	799
	Bacia do Rio das Balsas2	1.227
	Sub-bacia Rio Gameleira	703
Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade	Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade	7.651
	Sub-bacia Ribeirão Itaboca	1.820
	Sub-bacia Rio Bagagem	2.077
	Sub-bacia Rio do Peixe	2.760
	Sub-bacia Rio Gameleira	609



BACIA	SUB-BACIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Bacia do Rio Palma	Bacia do Rio Palma1	929
	Bacia do Rio Palma2	4.503
	Sub-bacia Córrego Inhumas	286
	Sub-bacia Córrego Pau D Arco	181
	Sub-bacia Córrego Recantilado	262
	Sub-bacia do Rio Sobrado	1.113
	Sub-bacia Ribeirão Cachoeira	480
	Sub-bacia Ribeirão Gameleira	585
	Sub-bacia Ribeirão Gameleirinha	250
	Sub-bacia Ribeirão Inferno	1.542
	Sub-bacia Rio Arraias	1.444
	Sub-bacia Rio Conceição	2.338
	Sub-bacia Rio Palmeiras	3.142
Bacia do Rio Paranã	Bacia do Rio Paranã	4.326
	Sub-bacia Riacho Fundo	1.012
	Sub-bacia Rio Bezerra	1.069
	Sub-bacia Rio São Domingos	1.768
Bacia do Rio São Valério	Bacia do Rio São Valério	1.566
Bacia do Rio Tocantins	Bacia do Rio Tocantins	5.585
	Sub-bacia Rio das Almas	663
	Sub-bacia Rio Formiga	1.588
<b>Total</b>		<b>52.277</b>

Fonte: Elaboração do Autor a partir de dados SEPLAN (2008).

Ressalta-se que as regras de regionalização foram definidas em razão da disponibilidade de postos fluviométricos em cada uma das bacias hidrográficas analisadas, de modo que em algumas bacias, utilizou-se três estações fluviométricas, enquanto para outras bacias, utilizou-se uma ou nenhuma, em razão da disponibilidade de informações.

#### • Disponibilidade hídrica subterrânea

O método utilizado no desenvolvimento deste estudo envolveu a realização de várias etapas. Inicialmente realizou-se o levantamento de dados existentes de pontos de água subterrânea nas instituições públicas com informações disponíveis. Em seguida foi realizado o levantamento cartográfico, onde foram analisados mapas geológicos, de geodiversidade, geomorfológicos, pedológicos, topográfico, uso e ocupação do solo. Concomitantemente foi realizada a análise de dados de vazão das estações fluviométricas e dos dados pluviométricos do banco de dados da ANA (sistema Hidroweb), representativos de bacias hidrográficas presentes na área, com dados com no mínimo dez anos de monitoramento diários de vazão.

O método para o cálculo da disponibilidade hídrica utilizado por Costa (2010) foi a base deste trabalho, em que aquele autor calculou para cada sistema aquífero as Reservas Reguladoras, as Reservas Permanentes, as Reservas Totais, as Reservas Explotáveis, utilizando uma área total de estudo de 92.262,77 km<sup>2</sup>, representando 33,22% da área do estado. Costa (2010) trabalhou numa região, onde boa parte da sua área era coincidente geograficamente com a área dos estudos atuais de escassez hídrica.

Neste trabalho utilizou-se o volume de água infiltrado estimado por Costa (2010) para cada unidade aquífera, onde a partir dos cálculos realizados identificou que pouco mais de 20% do total precipitado nas cabeceiras da bacia infiltram nos reservatórios subterrâneos. Outro método utilizado de Costa (2010) neste trabalho, foi o cálculo das reservas (permanentes e reguladoras) e das disponibilidades. Para isto foi realizado o levantamento das áreas

aflorantes das unidades aquíferas em m<sup>2</sup>, além da pluviometria média anual para o local de afloramento.

A reserva permanente refere-se ao volume de água acumulado em um aquífero e não varia devido a variação sazonal. Por outro lado, a reserva reguladora trata do volume acumulado no meio aquífero e varia sazonalmente devido à recarga de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exutórios, correspondendo, portanto à recarga anual do aquífero. O somatório da reserva permanente com a reserva renovável constitui a reserva total de um aquífero (COSTA, 2010).

A potencialidade representa o volume de água que pode ser utilizado anualmente, durante um determinado período de tempo utilizando uma parcela da reserva permanente (Equação 5).

$$P = (R_p \times 0,002) + R_r \text{ (m}^3\text{/ano)} \quad (5)$$

sendo:

P – potencialidade em m<sup>3</sup>/ano

R<sub>p</sub> – reserva permanente em m<sup>3</sup>/ano

R<sub>r</sub> – reserva reguladora em m<sup>3</sup>/ano

A disponibilidade é o volume anual passível de exploração por meio de obras de captação existentes, com base na vazão de exploração em regime de bombeamento de 24h/dia, em todos os dias do ano.

A disponibilidade pode ser dividida em disponibilidade instalada (Equação 6), Efetiva (Equação 7) e Sustentável (Equação 8).

A disponibilidade instalada é o volume anual máximo que se pode obter das obras de captação, já existentes, com base na vazão máxima de exploração – ou vazão ótima – num regime de bombeamento de 24/24 horas, desde que não venha a comprometer as reservas permanentes.

$$D_i = n \times Q_m \times 8.760 \text{ (m}^3\text{/ano)} \quad (6)$$

sendo:

n - número de poços ou outras captações existentes no aquífero (adimensional)

Q<sub>m</sub> - vazão média horária (m<sup>3</sup>/h)

8760 – total do número de horas no ano

No que se refere a disponibilidade efetiva, que corresponde ao volume anual atualmente explorado nas obras de captação existentes, os cálculos foram feitos pela expressão seguinte:

$$D_e = n \times Q_m \times Y \text{ (m}^3\text{/ano)} \quad (7)$$

sendo:

n – número de poços

Q<sub>m</sub> – vazão média horária (em m<sup>3</sup>/h)

A disponibilidade sustentável representa os volumes que ainda podem vir a ser explorados do



aquífero, além daqueles atualmente existentes e levando em conta a preservação das reservas ecológicas (restituição do aquífero para a drenagem superficial).

$$D_s = D_e + D_{ex} \quad (8)$$

sendo:

$D_s$  – disponibilidade sustentável em  $m^3/ano$ ;

$D_e$  – disponibilidade efetiva em  $m^3/ano$ ;

$D_{ex}$  – disponibilidade explorável em  $m^3/ano$ .

Após este levantamento e posterior análise de integração dos dados, foi possível realizar a estimativa de disponibilidade hídrica subterrânea, levando-se em consideração a interação dinâmica entre água superficial e água subterrânea.

#### 4.7 Elaboração do diagnóstico integrado – potencialidade de escassez hídrica

O diagnóstico integrado consiste na análise das informações dos mapeamentos e dos diagnósticos físico, biótico, hidroclimático e socioeconômico, reunidos na denominação de diagnóstico socioambiental. A análise foi realizada por meio da integração das variáveis ambientais (geologia, hidrogeologia, relevo, solos, recursos hídricos, cobertura e uso da terra, vegetação e climatológicas) por unidades de paisagens - células de análise.

Assim, o diagnóstico resulta da geração e análise da carta de potencialidade de escassez hídrica da RSE-TO.

A geração da carta de potencialidade de escassez hídrica da RSE-TO se dá por meio de um processo com seis etapas:

- (i) mapeamento e caracterização das unidades básicas de compartimentação (UBCs);
- (ii) identificação das unidades geologia-relevo-solo (sistemas ambientais);
- (iii) hierarquização das unidades geologia-relevo-solo;
- (iv) mapeamento das unidades de paisagem;
- (v) caracterização das unidades de paisagem; e
- (vi) geração da carta de potencialidade de escassez hídrica.

As etapas de (i) a (iii) foram realizadas previamente segundo os procedimentos técnicos descritos na seção 4.4.1 Sistemas ambientais, sendo assim, não serão descritos novamente.

Após estas três etapas iniciais concluídas, executa-se a etapa de mapeamento das unidades de paisagem, que envolve a união dos planos de informação de unidade geologia-relevo-solo (sistemas ambientais) e de cobertura e uso da terra (mapeamento realizado dentro deste projeto). Os polígonos resultantes desta união representam unidades de paisagens atuais que são codificadas, segundo a hierarquia das unidades geologia-relevo-solo-cobertura da terra, conforme exibido na Figura 18. Isso permite a manutenção da relação das unidades de paisagem com o arcabouço geológico-geomorfológico. Esta etapa termina com a geração do mapa de unidades de paisagem.



**Figura 18.** Código de classificação das unidades de paisagem.

Com as unidades de paisagens mapeadas, parte-se para a caracterização de cada uma delas pelas variáveis/temas constantes no Quadro 16 (variáveis obtidas nos diagnósticos físico, biótico, hidroclimático e socioeconômico).

Na tabela de atributos do plano de unidades (ambiente ArcGIS) criam-se seis campos correspondentes as variáveis/temas destacadas em amarelo no Quadro 16. Em cada um dos campos, as unidades são classificadas com os mesmos atributos dos temas destacados em amarelo, usando a sobreposição dos planos de informação (unidades de paisagem / tema). Os quatro temas destacados em verde foram sendo inseridos na tabela de atributos do plano de unidades durante as etapas anteriores.

Por fim, busca-se a geração da carta de potencialidade à escassez hídrica (PEH) por meio de uma análise geográfica, usando os princípios da álgebra de mapas. Em um primeiro momento, cada tema é analisado em termos de potencial de favorecimento a escassez hídrica, e em seguida para cada classe do tema atribui-se uma nota conforme a decisão tomada. A nota varia de 1 a 5 (números inteiros) para cada classe, conforme: 1 = Muito baixo; 2 = Baixo, 3 = Moderado, 4 = Alto e 5 = Muito alto.

**Quadro 16.** Dados usados para a caracterização das unidades de paisagem para fins de elaboração da carta de potencialidade de escassez hídrica (PEH).

Geologia (Unidades geológicas)	Relevo (Modelados)	Declividade (Classes)	Solos (Classes)	Hidrogeologia (Domínios hidrogeológicos)	Cobertura e Uso da Terra <sup>(1)</sup> (Classes)
Clima (Vulnerabilidade à Escassez Hídrica)	Hidrologia <sup>(2)</sup>				

(1) Representa a informação socioeconômica (2) Representa a média das variáveis rendimento específico q90 (L/s.km<sup>2</sup>), balanço hídrico (%) (demanda/Q90) e disponibilidade para novos usos (m<sup>3</sup>/s) (75% da Q90 - Demanda) por bacia e sub-bacia hidrográfica, e considerando o cenário atual.

Fonte: Elaboração do Autor.

No caso da hidrologia, trabalhou-se com a média das notas das variáveis rendimento específico q90 (L/s.km<sup>2</sup>), balanço hídrico (%) (demanda/Q90) e disponibilidade para novos usos (m<sup>3</sup>/s) (75% da Q90 - Demanda). As notas de cada variável foram estratificadas em cinco classes de potencialidade à escassez hídrica conforme os quadros 17, 18 e 19.

**Quadro 17.** Rendimento Específico q90 (L/s.km<sup>2</sup>).

Rendimento q90 (L/s.km <sup>2</sup> )	Potencial de Escassez Hídrica	Nota
0 a 2,00	Muito alto	5
2,01 a 6,00	Alto	4
6,01 a 10,00	Médio	3
10,01 a 15,00	Baixo	2
Acima de 15,00	Muito Baixo	1

Fonte: Elaboração do Autor.

**Quadro 18.** Balanço Hídrico (%) (demanda/Q90).

Demanda/Q90 (%)	Potencial de Escassez Hídrica	Nota
Acima de 70%	Muito alto	5
De 40,1 a 70,0%	Alto	4
De 20,1 a 40,0%	Médio	3
De 5,1% a 20,0%	Baixo	2
Até 5%	Muito Baixo	1

Fonte: Elaboração do Autor.

**Quadro 19.** Disponibilidade para novos usos (m<sup>3</sup>/s) (75% da Q90 - Demanda).

Disponibilidade (m <sup>3</sup> /s)	Potencial de Escassez Hídrica	Nota
0 a 5,00	Muito alto	5
5,01 a 10,00	Alto	4
10,01 a 20,00	Médio	3
20,01 a 50,00	Baixo	2
Acima de 50,00	Muito Baixo	1

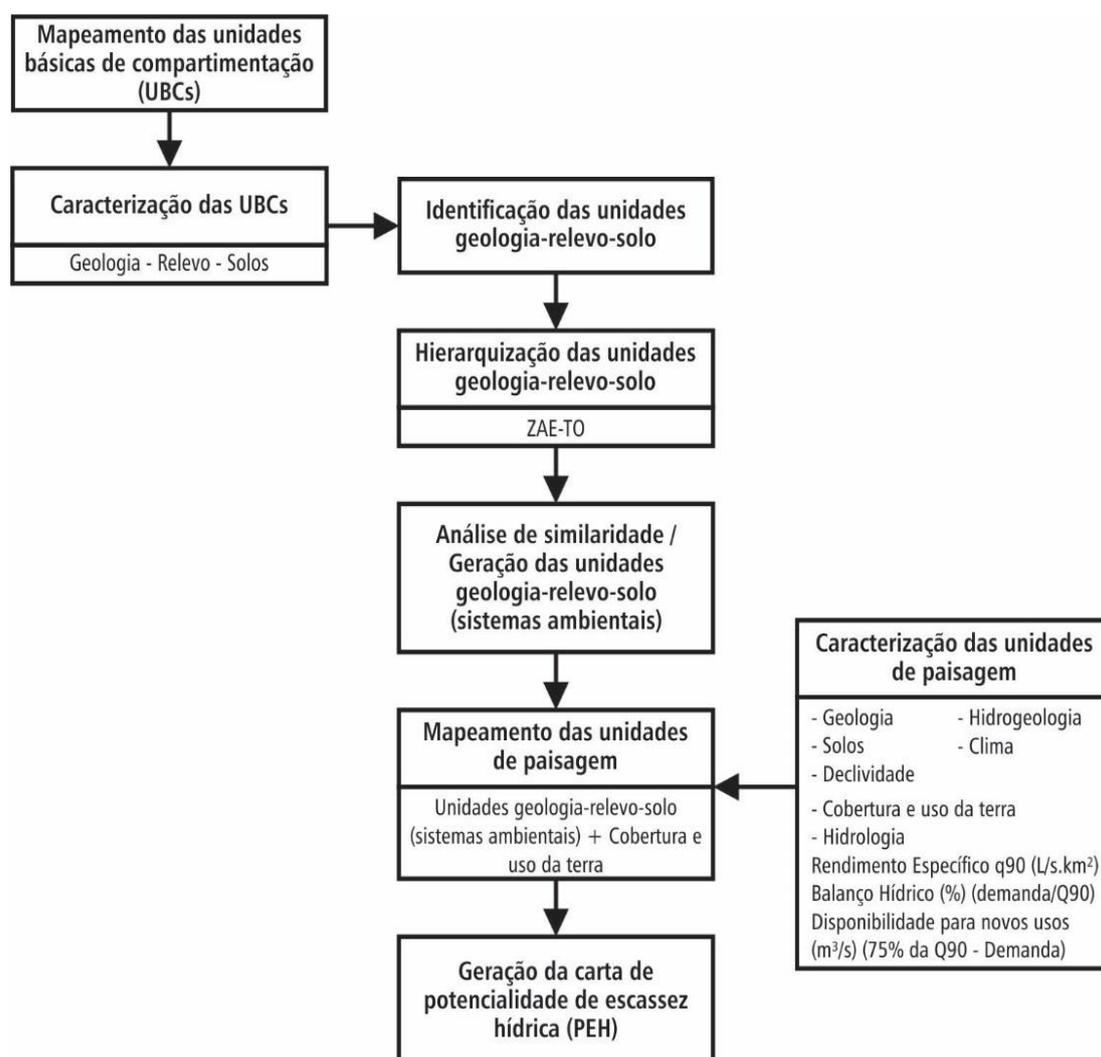
Fonte: Elaboração do Autor.

Após a atribuição de notas para cada tema, na tabela de atributos do plano de unidades de paisagem realiza-se uma operação booleana, ou seja, o somatório das notas de PEH dos oito campos (variáveis/temas) em cada unidade de paisagem. Os valores das somas das notas, que podem variar de 8 a 40, são fatiados em cinco classes de potencialidade de escassez hídrica: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. Após a reclassificação de polígonos pelas classes de PEH, conclui-se a etapa de geração da carta de potencialidade de escassez hídrica.

O modelo simplificado de relações para a geração da carta de potencialidade à escassez hídrica está apresentado na Figura 19.

Com a carta de potencialidade à escassez hídrica concluída parte-se para a análise geográfica em termos de distribuição das classes por bacias hidrográficas e municípios da RSE-TO.

Na análise destacam-se as variáveis mais impactantes na determinação da classe de escassez hídrica para as unidades de paisagens, recomendam-se ações para melhoria da disponibilidade de águas superficiais, assim como de preservação/conservação das paisagens mais importantes para a manutenção do sistema hídrico regional. Além disso, indicam-se direções para a ampliação ou criação de programas de combate à seca ou proteção de nascentes.



**Figura 19.** Modelo de relações para obtenção da carta de potencialidade de escassez hídrica.  
Fonte: Elaboração do Autor.

#### 4.8 Elaboração do prognóstico

O prognóstico ambiental com ênfase em escassez hídrica, tem como metodologia desenvolvida por meio de cenários prospectivos. Contempla a elaboração estruturada de futuros alternativos – verossímeis, embora não necessariamente prováveis – que articulam as diversas variáveis que influenciam a escassez hídrica, porém que não são de controle direto do tomador de decisões.

Dessa forma, os resultados dos cenários qualificam estados de mundo futuro onde a escassez hídrica pode se tornar mais ou menos expressiva – denotando, assim, os pontos-chave para ação, por parte do tomador de decisões, para que um determinado estado de mundo seja evitado – ou, ainda, almejado. Ao fim e ao cabo, o prognóstico objetiva embasar as estratégias de intervenção rumo ao desenvolvimento sustentável da RSE-TO.



Nesse mister, torna-se fundamental prospectar os possíveis desenrolares de desenvolvimento da região de estudo com vistas a compreender como as áreas identificadas poderão ser modificadas no futuro próximo. Afinal, o futuro é uma construção social que resulta de relações sociais e econômicas multifacetadas. O constante entrelaçar de dinâmicas econômicas, territoriais, de movimento de pessoas, atendimento de presentes e futuras necessidades, prioridades de transporte e tantos outros desdobramentos certamente criarão expressões locais, implicando em diferentes demandas hídricas, diferentes usos do solo, diferentes cidades-polo, diferentes fluxos de produção e de pessoas. Nesse sentido, configurar as perspectivas de futuro para a região em questão se torna crucial para melhor planejar o aporte de ações de desenvolvimento almejadas.

Uma vez que o ambiente futuro é incerto, complexo e em grande medida imprevisível, uma abordagem por cenários propõe trabalhar perspectivas futuras de maneira ativa, passando da tradicional interpretação de um futuro provável para composições de futuros possíveis que explicitam incertezas e faixas de variação. Almeja-se antever acontecimentos críticos em tempo hábil para intervenções, tornando assim os cenários em ferramenta para embasar o planejamento estratégico e torná-lo robusto.

Os cenários, nesse contexto, são tidos como insumos fundamentais ao planejamento estratégico, como bem definido por Buarque (2003):

*“Estudos prospectivos constituem parte importante do processo de planejamento, na medida em que oferecem uma orientação para as tomadas de decisões sobre iniciativas e ações para a construção do futuro almejado pela sociedade e pelas empresas. A própria atividade planejadora tem como pressuposto central o fato de o futuro não estar predeterminado e ser uma construção social, resultante, portanto, das ações e das decisões da sociedade.”*

A forma mais usual de se interpretar o futuro é projetá-lo com base nos comportamentos dominantes do passado, replicando as tendências apenas ocorridas. A essa visão retrospectiva devem se incorporar, minimamente: as modificações mais esperadas; as maiores incertezas presentes; os investimentos estruturantes já anunciados ou muito prováveis; enfim, todas as condicionantes e hipóteses que estão amadurecendo na realidade atual e que afetam o desenrolar da região. A construção de cenários que replicam tendências é uma importante âncora no pensar o desconhecido.

Uma vez que o futuro poderá não necessariamente repetir o passado de forma tendencial, deve-se também elaborar outros cenários - alternativos - que demonstrem situações limites do vasto espectro de possibilidades de desenrolares futuros. Dessa forma não se compreendem os cenários como representações de “onde queremos chegar”. Ao contrário, almeja-se justamente explicitar e articular a imprevisibilidade para a identificação de onde é possível chegar.

O que emerge como resultado da análise dos cenários não são desejos de um ou de outro estado de mundo futuro, mas sim estratégias de planejamento para se lidar com quaisquer estados de mundo que venham de fato a ocorrer. Ao fim e ao cabo, portanto, os cenários deverão embasar a tomada de decisões, pois estas serão mais robustas quanto melhor

anteverem as diversas facetas dos marcos portadores de futuro e seus impactos sobre a ambiência em questão.

Para tanto, os cenários precisam ser plausíveis - mesmo que improváveis sob as cortinas do presente. Pode-se pensar nos cenários exploratórios como limites de uma banda de variação possível, em que os movimentos passados são uma referência para potenciais modificações - embora haja sempre alguma possibilidade de se estar em quaisquer pontos deste espectro no futuro. Tal linha de conduta compreende que são diversas as dinâmicas que se equilibram em um dado território, que, por sua vez, é composto de suas próprias dinâmicas naturais que dificultam ou exacerbam o resultado dessa constante inter-relação.

Ao comentar a importância das dinâmicas para a sociedade em rede, Castells (1999) afirma que “*a nossa sociedade está construída em torno de fluxos: fluxos de capital, fluxos de informação, fluxos de tecnologia, fluxos de interação organizacional, fluxos de imagens, sons e símbolos*”. Mais do que apenas um elemento da organização social, os fluxos seriam a expressão dos processos que dominam a vida política, econômica e simbólica. Algumas destas dinâmicas são globais e se caracterizam por seus ritmos e programações específicas, que atendem a objetivos exógenos à região em questão – atendem a demanda chinesa por soja, por exemplo. Tais movimentos criam expressões locais, mas são coordenadas em escalas muito mais abrangentes que a regional. Tendências demográficas, que resultam em profundas modificações territoriais, por exemplo, não detêm sua programação no recorte da RSE-TO; ao contrário, trata-se de uma força exógena que se sobrepõe ao território.

Outras dinâmicas - estas sim regionais e específicas do local onde se encontram - mantêm suas próprias programações e também respondem e interagem com as globais. Tem-se a centralidade urbana dos municípios de Dianópolis e de Taguatinga em relação à RSE-TO, por exemplo; as características produtivas do solo e outros aspectos-chave que se originam dentro da região. As dinâmicas locais levam indústrias novas a se instalarem, aportam malhas logísticas e modificam topografias naturais. Trata-se das dinâmicas locais, ou forças endógenas, e espelham características ímpares de desenvolvimento, grande parte delas em resposta às forças exógenas – porém condicionadas à ambiência local.

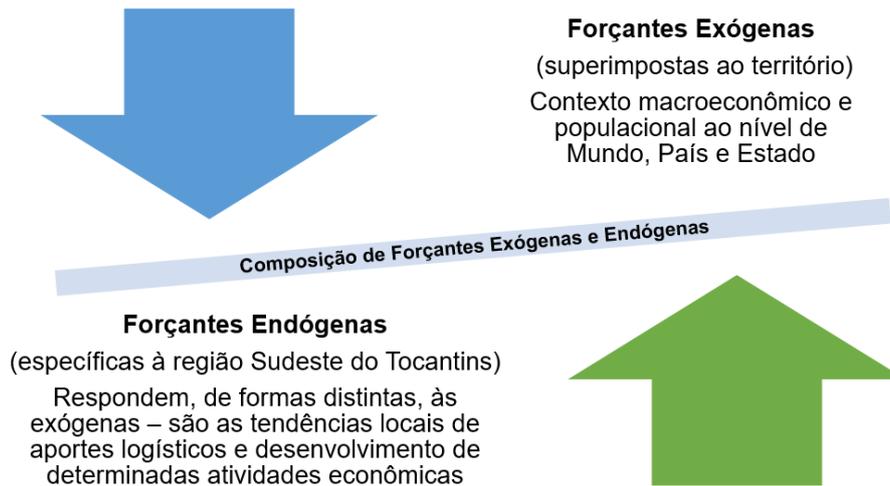
A concepção dos cenários, portanto, parte da abordagem conceitual aqui descrita e se mecaniza na identificação e quantificação, articulação futura, e tradução dos seguintes elementos:

- Forças exógenas – são as dinâmicas externas que interagem sobre a RSE-TO, advindas de âmbito Estadual, Nacional e até internacional. Essas forças perfazem o “pano de fundo” dos cenários, pois é sobre elas que as endógenas se rebatem. Seus elementos fulcrais são os desenrolares da economia (mediante a especificidade dos três grandes setores econômicos) e da demografia (mediante a consideração da população urbana e rural);
- Forças endógenas – são as dinâmicas internas que interagem sobre o território dado suas particularidades locais, pois perpassam o uso do solo, o perfil das atividades econômicas e os ritmos de uso dos recursos típicos do local. Enquanto as forças exógenas trabalham com os setores econômicos, as endógenas trazem



atividades econômicas. Notadamente no contexto de uso dos recursos hídricos, especificam-se atividades que detêm as maiores relações com o recurso. As tendências dos desdobramentos passados são identificadas em função das forçantes endógenas e exógenas, compreendendo os ritmos de modificação futuros.

É na interface entre as forçantes exógenas e endógenas que os cenários se desenvolvem, como ilustra a Figura 20.



**Figura 20.** Composição conceitual dos cenários.

Fonte: Elaboração do Autor.

Na sequência, cada uma das forçantes considerada é detalhada, compondo-se o perfil de cada um dos cenários. Quanto ao horizonte temporal de planejamento, adotam-se 20 anos – longo o suficiente para se ter ingerência de planejamento, ao mesmo tempo que se mantém coerência de fatos e antevisões com a realidade. Este horizonte temporal permite realizar três recortes distintos de subsídio ao planejamento – o primeiro sendo de curto prazo (correspondentes aos cinco primeiros anos); o segundo de médio prazo (horizonte de 10 anos); e por fim outro recorte de longo prazo (horizonte de 20 anos), qualificando as trajetórias antevistas e delas extraindo os pontos principais de atenção para o planejamento do Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável da Região sob o enfoque dos recursos hídricos.

Fechando o prognóstico confrontou-se o balanço hídrico e análise de escassez hídrica. O desenvolvimento do balanço hídrico foi realizado seguindo a mesma metodologia adotada na etapa de diagnóstico, cotejando as demandas estimadas para cada sub-bacia com a oferta hídrica considerada por meio da vazão de referência com 90% de permanência no tempo ( $Q_{90}$ ), considerando ser esta a vazão utilizada para a análise de outorgas no estado de Tocantins.

Para isso, foi necessária a espacialização das demandas por bacia e por sub-bacia hidrográfica, tendo sido utilizada a mesma metodologia adotada na etapa de Diagnóstico, a saber:

- Abastecimento público urbano: as demandas foram localizadas na bacia em que se encontra a sede do município;
- Abastecimento rural e pecuária: as demandas foram espacializadas pela área do município e seu percentual em cada sub-bacia;
- Irrigação: para o DIMA, as demandas foram localizadas na bacia de captação, no caso do rio Manuel Alves de Natividade. As outras demandas foram distribuídas pela área do município e seu percentual em cada sub-bacia;
- Piscicultura: Para os dois empreendimentos de maior porte, foram localizados na mesma bacia em que se situam atualmente. Para outros potenciais empreendimentos futuros, foram espacializados em função das áreas dos municípios em cada sub-bacia;
- Indústria e Mineração: considerando que os principais usos foram para mineradoras identificadas nas análises realizadas, suas demandas foram distribuídas pela respectiva bacia em que cada mineradora se encontra localizada.

Em seguida, foi realizado o cotejo entre as demandas e a disponibilidade hídrica e foram comparados entre as diferentes bacias hidrográficas e com resultados de outros estudos de forma a estabelecer uma classificação em termos de escassez hídrica, sendo apresentada a seguir:

- Demandas inferiores a 5% da  $Q_{90}$ : excelente;
- Demandas entre 5,1% e 10% da  $Q_{90}$ : confortável, com baixo risco de escassez hídrica;
- Demandas entre 10,1% e 25% da  $Q_{90}$ : boa condição de disponibilidade mas com risco potencial de escassez hídrica;
- Demandas entre 25,1% e 50% da  $Q_{90}$ : situação preocupante, com risco iminente de escassez hídrica, com necessidade de adoção de medidas para a solução de problemas localizados em trechos específicos da bacia;
- Demandas superiores a 50% da  $Q_{90}$ : situação de escassez hídrica existente, exigindo atividade imediata de gerenciamento de recursos hídricos além do estudo e adoção de medidas estruturais para a melhoria da condição de balanço hídrico da bacia.

Dessa forma, no próximo item apresenta-se para cada cenário e horizonte temporal o valor das demandas por bacia e por sub-bacia, bem como os resultados do balanço hídrico. As ofertas hídricas por bacia hidrográfica foram as mesmas calculadas e utilizadas na etapa de Diagnóstico, ajustando oferta para a sub-bacia do rio Manuel Alves para o valor de 34,2 m<sup>3</sup>/s, valor informado pelo representante do DIMA durante a visita realizada ao local, como vazão regularizada pelo reservatório formado pelo barramento em que a captação é e será também utilizada para as ampliações do empreendimento.



# **Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável**

SÉRIE TOCANTINS - SUDESTE - RECURSOS NATURAIS

**Tomo I - Capítulos 1 ao 4**

**Tomo II - Capítulo 5**

**Tomo III - Capítulos 6 ao 8 e referências bibliográficas**

**Apêndices**

# ESTADO DO TOCANTINS

## SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO

### SUBSECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO

#### DIRETORIA DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES TERRITORIAIS E SOCIOECONÔMICAS

**Rodrigo Sabino Teixeira Borges** - Diretor  
*Bacharel em Geografia - Mestre em Geografia*

#### GERÊNCIA DE ZONEAMENTO TERRITORIAL

**Leandro Roeder** - Gerente  
*Bacharel em Ciências Econômicas*

#### EQUIPE TÉCNICA

**Bruno Moure Cícero**  
*Bacharel em Ciências Econômicas - Mestre em Desenvolvimento Regional*

**Cecília Amélia Miranda Costa**  
*Bacharel em Processamento de Dados - Mestre em Engenharia Ambiental*

**Dalvany Alves de Sousa Lima**  
*Bacharel em Engenharia Ambiental - Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental*

**Ilda Celeste da Costa Martins**  
*Tecnóloga em Gestão Ambiental*

**Joaquin Eduardo Manchola Cifuentes**  
*Bacharel em Estatística - Doutor em Sociologia*

**Paulo Augusto Barros de Sousa**  
*Bacharel em Ciência da Computação - Mestre em Modelagem Computacional de Sistemas*

# Delimitação e Caracterização Cartográfica das Áreas Vulneráveis a Escassez Hídrica na Região Sudeste do Estado do Tocantins

## EQUIPE EXECUTORA

Coordenação	Formação
<b>Coordenador Geral</b>	
Ricardo Ribeiro Dias	Geólogo - Doutor em Geociências e Meio Ambiente
<b>Especialista em Climatologia</b>	
Vicente de Paulo Rodrigues da Silva	Meteorologista - Pós-Doutor em Agrometeorologia
<b>Especialista em Mapeamento de Unidades de Paisagem/Vulnerabilidade de Paisagens à Erosão</b>	
Edison Crepani	Geólogo - Doutor em Geologia Geral e Aplicações
<b>Especialista em Solos/Aptidão Agrícola</b>	
Virlei Álvaro de Oliveira	Engenheiro Agrônomo - Doutor em Geociências e Meio Ambiente
<b>Especialista em Hidrologia</b>	
Leonardo Mitre Alvim de Castro	Engenheiro Civil - Doutor Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
<b>Equipe Técnica</b>	
Ana Katuscia Pastana de Souza	Geóloga - Mestre em Hidrogeologia
Daniel Tha	Economista - Mestre em Economia Ambiental
Dyego Legentil Teixeira	Engenheiro Agrônomo
Eduardo Ribeiro dos Santos	Biólogo - Mestre em Ciências Florestais
Erton Inácio de Moraes	Engenheiro Ambiental
Ghislaine Medeiros de Almeida	Geóloga - Mestre em Hidrogeologia
Girlene Figueiredo Maciel	Meteorologista - Doutor em Recursos Naturais
Glailson Barreto	Engenheiro Agrônomo - Doutor em Solos
Heitor Campos de Sousa	Biólogo - Mestre em Ecologia
Isac Tavares de Santana	Geógrafo
Jailton Soares dos Reis	Geógrafo
Ledice Kesiane Pestana Moraes	Engenheira Ambiental
Luiz Eduardo Borges Leal	Administrador de Empresas - Especialista em Socioeconomia
Pedro Alberto Bignelli	Geólogo - Mestre em Sensoriamento Remoto
Pérola Morais Calil	Geógrafa - Mestre em Solos
Rafaela Silveira Rodrigues Almeida	Bióloga - Especialista em Estatística e Geoprocessamento
Renata Dias Françoso	Engenheira Florestal - Doutora em Ecologia
Ricardo Flores Haidar	Engenheiro Florestal - Mestre em Ciências Florestais
Rodrigo Barroso	Engenheiro Florestal - Mestre em Ciências Florestais
Thaynan Gomes Andrade	Engenheiro Ambiental

Vinicius Tavares Parreiras de Moraes	Geógrafo
Vitor Carvalho Queiroz	Engenheiro Civil - Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

---

#### **Equipe de Apoio**

---

Ana Assis	Administradora
Arone Lustosa	Especialista em Revisão Gramatical e Textual
Cássia Sampaio Freire	Graduando em Engenharia Ambiental
Claudia Bucar	Administradora
Danillo Silva Nunes	Graduando em Engenharia Ambiental
Fernanda Ferracioli Silva	Graduando em Engenharia Ambiental
Iago Carvalho Silva	Graduando em Engenharia Ambiental
Jaqueline de Souza Cavalcante	Graduando em Engenharia Ambiental
Jorge Wanderson Assunção Chagas	Graduando em Engenharia Ambiental
Laura Resplandes de Sousa Paz	Graduando em Engenharia Ambiental
Leonardo Ferreira dos Santos	Engenheiro Ambiental
Mateus Gouveia Araújo	Graduando em Engenharia Ambiental
Mikaellem Paz Marinho	Graduando em Engenharia Ambiental
Renan Aquilis Correia Borges	Graduando em Engenharia Ambiental
Vinicius Almeida	Analista de Sistemas
Vinicius de Melo Lima	Graduando em Engenharia Ambiental

---

**Nota:** A *Delimitação e Caracterização Cartográfica das Áreas Vulneráveis a Escassez Hídrica na Região Sudeste do Estado do Tocantins* foi executada por meio de contrato de prestação de serviços especializados firmado entre a **Secretaria da Fazenda e Planejamento** e o **Consórcio Serras Gerais - formado pelas empresas Oikos Pesquisa Aplicada Ltda e Nippon Koei Latin America-Caribbean CO. Ltda - Nippon Koei LAC do Brasil**, por meio do contrato nº 19/2017. O trabalho foi executado no âmbito do Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável (PDRIS), componente Melhoramento da Eficiência dos Serviços Públicos numa Seleção de Serviços Públicos, com recursos do Tesouro Estadual e do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) - contrato de empréstimo nº 8185-0 BR.



**ESTADO DO TOCANTINS**  
SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO



Banco Mundial