



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
Programa de Pós-Graduação em Geografia

EULA REGIA SENA SANTOS

**DINÂMICA DE CRESCIMENTO URBANO NO EIXO DE
DESENVOLVIMENTO GOIÂNIA-BRASÍLIA**

GOIÂNIA

2013

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):		Eula Regia Sena Santos	
E-mail:		eulasenna@gmail.com	
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Vínculo empregatício do autor		Bolsista	
Agência de fomento:		Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	Sigla: CNPq
País:	Brasil	UF: GO	CNPJ: 33.654.831/0001-36
Título: Dinâmica de crescimento urbano no eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília.			
Palavras-chave: expansão urbana, vetores de crescimento, cenários futuros, dinâmica da paisagem.			
Título em outra língua: Dynamics of urban in growth development axis Goiânia-Brasília.			
Palavras-chave em outra língua: urban expansion, growth drivers, future scenarios, landscape dynamics.			
Área de concentração:		Natureza e Produção do Espaço	
Data defesa: (dd/mm/aaaa)		19/06/2013	
Programa de Pós-Graduação:		Geografia	
Orientador (a):		Manuel Eduardo Ferreira	
E-mail:		manuel@iesa.ufg.br	
Co-orientador (a):*			
E-mail:			

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.



Assinatura do (a) autor (a)

Data: 09 / 09 / 2013

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

EULA REGIA SENA SANTOS

**DINÂMICA DE CRESCIMENTO URBANO NO EIXO DE
DESENVOLVIMENTO GOIÂNIA-BRASÍLIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, na área de concentração Natureza e Produção do Espaço, para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira

GOIÂNIA

2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
(GPT/BC/UFG)**

S237d Santos, Eula Regia Sena.
Dinâmica de crescimento urbano no eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília [manuscrito] / Eula Regia Sena Santos. - 2013.
140 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, 2013.

Bibliografia.

Inclui lista de tabelas, figuras, e, siglas.

Apêndice.

1. Crescimento urbano. 2. Expansão urbana – Goiânia (GO)-Brasília (DF). 3. Expansão urbana – Vetores de crescimento – Cenários futuros. I. Título.

CDU: 711(817.3)

EULA REGIA SENA SANTOS

**DINÂMICA DE CRESCIMENTO URBANO NO EIXO DE
DESENVOLVIMENTO GOIÂNIA-BRASÍLIA**

Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira - UFG
Orientador - Presidente

Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira - UFG
Membro Interno

Prof. Dr. Roberto Rosa - UFU
Membro Externo

Prof. Dr^a. Patrícia de Araújo Romão - UFG
Membro Interno - Suplente

AGRADECIMENTOS

A Deus, que até aqui com poderosa destra me sustentou, e não deixou que nenhum dos Teus planos para minha vida fossem frustrados.

Ao meu orientador, o professor Dr. Manuel Eduardo Ferreira, por suas orientações valiosas e pela segurança que transmite.

Aos Professores Ivanilton e Nilson, pelas valiosas contribuições.

Aos professores da Faculdade de Ciências Econômicas da UFG, Flávia Rezende Campos, Sandro Eduardo Monsueto e Antônio Marcos de Queiroz, pelas informações valiosas sobre cálculos de taxas de crescimento e deflator do PIB.

À minha cunhada Maria Lúcia Kons, pela disposição em corrigir este trabalho, e ao meu amigo Marcelo Fidelis, pela correção do Abstract.

À Universidade Federal de Goiás e aos professores, servidores e colegas da Pós e do LAPIG, pelas contribuições e amizade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de pesquisa – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos amigos Helci, que me emprestou seu notebook quando perdi meu HD, Alex, pela força que mesmo longe está tão presente em minha vida, Laíze, companheira de mestrado pelas palavras de fé, de esperança e encorajamento para prosseguir, Eunice, Lailson, Soraia, Luzeni, Mariuza, a todos irmãos na fé que me cobriram de orações e aos amigos que sempre torceram por mim, principalmente ao Joaquim, pelas orações, carinho e poemas a mim dedicados, e que também ensinou-me a determinar como Josué na conquista da terra de Canaã: “entrando, vencendo e tomando posse”.

Ao meu pai, à tia Zazá e a todos os familiares que me incentivaram.

À minha mãezinha e aos meus irmãos Euler Robério, Anne Stela, Emídio Ricardo, que me encorajaram, e principalmente ao Eltinho e Roberto Adson que cuidaram de mim não somente após o acidente, mas em todo o percurso do Mestrado.

A todos, minha eterna gratidão!

DEDICATÓRIA

À minha mãe Else Sena, a quem tanto amo! É exemplo de fé, coragem e perseverança, uma batalhadora, mulher virtuosa de princípios e valores, que educou seis filhos com a ajuda de Deus, e me mostrou o verdadeiro e incondicional amor.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População urbana dos censos IBGE de 1991, 2000 e 2010 do eixo Goiânia-Brasília.	50
Tabela 2 - Taxa de crescimento urbano médio da população no Eixo Goiânia-Brasília.	52
Tabela 3 - Normalização de taxas do crescimento médio geométrico da população 2000/2010.	54
Tabela 4 - Deflator do PIB pela taxa de inflação (IGP-DI) ano base 2000 = 100.....	55
Tabela 5 - PIB per capita a preços correntes dos municípios do eixo Goiânia-Brasília nos anos de 2000 a 2010.....	56
Tabela 6 - Taxa de crescimento médio do PIB per capita a preços constantes entre os anos 2000 a 2010.	57
Tabela 7 - Média Ponderada e Normalização das taxas médias de crescimento do PIB per capita deflacionado dos municípios do eixo Goiânia-Brasília (2000 a 2010).....	57
Tabela 8 - IDH Municipal do eixo Goiânia-Brasília para o ano de 2000.	59
Tabela 9 - Classificação do relevo segundo sua declividade.	62
Tabela 10 - Transição anual dinâmica “não urbano”/“urbano” no eixo Goiânia-Brasília no período de 1989/2010.....	87
Tabela 11 - Variáveis explicativas da dinâmica da expansão urbana.....	87
Tabela 12 - Parâmetros para cálculos de pesos das faixas de evidências.	88
Tabela 13 - Peso da variável PIB.....	88
Tabela 14 - Peso da variável IDH.....	89
Tabela 15 - Peso da variável População.....	89
Tabela 16 - Peso da variável Declividade.	89
Tabela 17 - Peso da variável Distância à Hidrografia.....	89
Tabela 18 - Peso da variável Distância à Malha Viária	90
Tabela 19 - Peso da variável Distance (distância a “t1”).....	90
Tabela 20 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável PIB.	91
Tabela 21 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável IDH.	92

Tabela 22 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável População.	92
Tabela 23 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável Declividade.....	92
Tabela 24 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável Distância à Hidrografia.	92
Tabela 25 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável Distância à Malha viária.....	93
Tabela 26 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável Distance.....	94
Tabela 27 - Transições do estado “não urbano” para “urbano” dos 61 passos de tempo para o eixo Goiânia.....	102
Tabela 28 - “t1”, “t2” e áreas urbanas (km ²) dos cenários simulados (1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040, 2050).	112
Tabela 29 - Cenário Ambiental da área em pesquisa.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do design do algoritmo em AC desenvolvido por Alkheder, Wang e Shan (2006).	26
Figura 2 - Modelo conceitual do processo de simulação SLEUTH, utilizado por Costa (2010).	29
Figura 3 - Fluxograma da síntese metodológica de Almeida (2003).	30
Figura 4 - Síntese da modelagem dinâmica espacial organizada por Godoy (2004).	32
Figura 5 - Síntese da modelagem dinâmica espacial organizada por Trentin (2008).	35
Figura 6 - Síntese da metodologia de Dias (2011).	36
Figura 7 - Fluxograma sobre a modelagem dinâmica de paisagem espacial. Adaptada de Ferreira <i>et al.</i> (2009).	37
Figura 8 - Eixo Goiânia-Brasília - Mapa da área de pesquisa.	38
Figura 9 - Perímetro urbano da cidade de Abadia de Goiás - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	42
Figura 10 - Perímetro urbano da cidade de Abadiânia - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	42
Figura 11 - Perímetro urbano da cidade de Alexânia - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	43
Figura 12 - Perímetro urbano da cidade de Anápolis - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	43
Figura 13 - Perímetro urbano da cidade de Aparecida de Goiânia - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	44
Figura 14 - Perímetro urbano do Distrito Federal em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	44
Figura 15 - Exemplo de adensamento urbano em Brasília - DF, retratando a Região Administrativa do Paranoá, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	45
Figura 16 - Perímetro Urbano de Goianápolis - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	45
Figura 17 - Perímetro urbano de Goiânia - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	46

Figura 18 - Perímetro urbano de Goianira - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	46
Figura 19 - Perímetro urbano de Nerópolis - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	47
Figura 20 - Perímetro urbano de Santo Antônio de Goiás - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	47
Figura 21 - Perímetro urbano de Santo Antônio do Descoberto - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	48
Figura 22 - Perímetro urbano de Senador Canedo - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	48
Figura 23 - Perímetro urbano de Terezópolis de Goiás - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	49
Figura 24 - Perímetro urbano de Trindade - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.	50
Figura 25 - Taxa de crescimento urbano médio da população no Eixo Goiânia-Brasília, analisada segundo o método geométrico.	52
Figura 26 - Rede Hidrográfica da área de pesquisa.	60
Figura 27- Malha Viária da área de pesquisa.	61
Figura 28 - Declividade da área de pesquisa.	63
Figura 29 - Mapa das Unidades de Conservação Permanente da área de pesquisa.	65
Figura 30 - Interface Gráfica do <i>software</i> DINAMICA EGO.	69
Figura 31 - Arquitetura do <i>software</i> DINAMICA EGO (Soares-Filho <i>et al.</i> , 2003).	69
Figura 32 - Fluxograma representando o modelo para simulação dos cenários futuros do eixo Goiânia-Brasília no DINAMICA EGO.	70
Figura 33 - Mapas de áreas urbanizadas para modelagem de cenários futuros.	71
Figura 34 - Mapas das variáveis dinâmicas e estáticas empregadas neste estudo para a modelagem de cenários futuros no eixo Goiânia-Brasília.	72
Figura 35 - Calculando da Matriz de Transição.	73
Figura 36 - Fluxograma para determinação dos Cálculos de Distâncias entre a expansão da área urbana e os mapas de entrada.	74
Figura 37 - Mapa gerado pelo cálculo de distância à área urbana.	74
Figura 38 - Mapa gerado pelo cálculo de distância aos à hidrografia.	75
Figura 39 - Mapa gerado pelo cálculo de distância à malha viária.	76
Figura 40 - Fluxograma para determinação dos pesos das faixas de evidências.	77

Figura 41 - Determinação dos coeficientes dos pesos de evidências.....	78
Figura 42 - Fluxograma para determinação dos coeficientes dos pesos de evidências.	79
Figura 43 - Visualização do editor gráfico dos pesos de evidências para a variável “hidrografia”.....	79
Figura 44 - Visualização do editor arquivo “weights.dcf” pelo acessório de bloco de notas do Windows.....	80
Figura 45 - Log da transição da variável “declividade”, gerado na execução da modelagem de dados.	81
Figura 46 - Fluxograma para determinação das probabilidades pelo container <i>Calc Weights of Evidence Probability</i>	82
Figura 47 - Probabilidade de cenários por modelagem DINÂMICA EGO.	83
Figura 48 - Funções inseridas no processo para a obtenção de simulação de cenários urbanos.	84
Figura 49 - Cenários simulados por Modelagem de dados no DINÂMICA EGO para a área de estudo para o ano de 2048.	86
Figura 50 - Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 1990.....	95
Figura 51 - Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2000.....	96
Figura 52 - Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2010.....	97
Figura 53 - Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2020.....	98
Figura 54 - Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2030.....	99
Figura 55 - Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2040.....	100
Figura 56 - Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2050.....	101
Figura 57 - Evolução do <i>Expander</i> e <i>Patcher</i> na simulação de cenários para o eixo Goiânia-Brasília para transição de estado "não urbano" para "urbano".	103
Figura 58 - Cenários da mancha urbana para o ano de 1990, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	103
Figura 59 - Cenários da mancha urbana para o ano de 2000, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	104
Figura 60 - Cenários da mancha urbana para o ano de 2010, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	104
Figura 62 - Cenários da mancha urbana para o ano de 2030, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	105
Figura 63 - Cenários da mancha urbana para o ano de 2040, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	106

Figura 64 - Cenários da mancha urbana para o ano de 2050, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	106
Figura 65 - Ano de 1989 - manchas urbanas – conurbações existentes e bairros isolados...	107
Figura 66 - Expansão de áreas urbanas em 1990 (simulado) em (1) Goianira, Trindade, Goiânia, e (2) em Anápolis, Terezópolis e Goianápolis.	107
Figura 67 - Simulação de cenários para o ano de 2000 com formação de novas manchas urbanas no Distrito Federal.	108
Figura 68 - Cenários de 2000 e 2010 - tendência de formação de manchas urbanas coincidindo com às delimitadas por Landsat “t2”.	108
Figura 69 - Cenários da expansão da mancha urbana no eixo Goiânia-Brasília em 2030.....	109
Figura 70 - Cenários da expansão da mancha urbana no eixo Goiânia-Brasília em 2040.....	109
Figura 71 - Cenário da mancha urbana de Abadiânia e Alexânia em 2050.	110
Figura 72 - Comparação da área urbana no eixo Goiânia-Brasília (km ²) simulada pelo modelo no DINÂMICA EGO com a interpretação de imagens Landsat 5 - TM (em 1989 e 2010)..	110

LISTA DE SIGLAS

AC	Autômato Celular
AG	Algoritmo de Genética
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
APP	Área de Proteção Permanente
BDE Goiás	Banco de Dados Estatísticos de Goiás
CA	Cellular Automata
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
DAIA	Distrito Agroindustrial de Anápolis
DAIAG	Distrito Agroindustrial de Aparecida de Goiânia
DF	Distrito Federal
DIMAG	Distrito Industrial Municipal de Aparecida de Goiânia
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program (Satélite Meteorológico do Programa de Defesa Americano)
EGO	Environment for Geoprocessing Objects (Ambiente para Objetos Geoprocessáveis)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
IDE	Investimento Direto Externo
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IESA	Instituto de Estudos Socioambientais
IGP-DI	Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEADATA	Base de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LAPIG	Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento

MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Imageamento por espectrorradiômetro de Resolução Moderada)
OLS	Operational Linescan System (Sistema Operacional Linescan)
ONU	Organização das Nações Unidas
OSBRA	Oleoduto São Paulo-Brasília
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S/A
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
REGPLAN	Regiões de Planejamento de Goiás
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S/A
RIDE	Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno
RMG	Região Metropolitana de Goiânia
SBSR	Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto
SEGPLAN	Secretaria de Gestão e Planejamento do Estado de Goiás
SGD	Sistemas Gerenciadores de Dados
SGDB	Data Base Management System (Sistema Gerenciador de Banco de Dados)
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIEG	Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission (Missão Topográfica de Radar Shuttle)
TM	Thematic Mapper (Mapeador Temático)
UC	Unidades de Conservação
UCP	Unidades de Conservação Permanentes
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
VALE	Vale do Rio Doce
VBA	Visual Basic for Applications (Aplicativo Visual Básico)

RESUMO

O Brasil tem apresentado um rápido crescimento demográfico nas últimas décadas em áreas urbanas. Em fato, o processo de urbanização foi tão intenso neste país (principalmente no século XX, a partir de 1950), que muitas cidades logo se tornaram metrópoles interligadas pela conurbação de suas malhas urbanas, devido aos fluxos de bens e serviços, e por uma política de desenvolvimento nacional questionável. Atualmente, este fenômeno não se restringe apenas aos grandes centros urbanos (como São Paulo e Rio de Janeiro), mas também nas cidades médias (como Goiânia e Brasília). A intensidade dessa transformação dinâmica da paisagem tende a resultar na unificação de áreas extremamente urbanizadas, como no trecho da BR 060 que interliga a Região Metropolitana de Goiânia (RMG) ao Distrito Federal, concentrando um eixo de desenvolvimento biotecnológico de suma importância econômica para o país e municípios adjacentes. Neste sentido, a referida pesquisa teve como objetivo principal analisar a dinâmica de expansão das manchas urbanas no eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília, através de uma modelagem espacial com vetores de crescimento e simulação de cenários futuros. Dentre os resultados, este estudo aponta uma tendência de adensamento urbano na RMG e no entorno do Distrito Federal pelas próximas décadas (até 2050). Aponta-se também para a necessidade de acompanhamento desta área de estudo, sobretudo pelo poder público federal e estadual, com vistas ao uso sustentável dos recursos naturais, tais como a disponibilidade de água e solo nestas áreas.

Palavras-chave: expansão urbana, vetores de crescimento, cenários futuros, dinâmica da paisagem.

ABSTRACT

Brazil has presented a rapid demographic growth in urban areas during the last decades; in fact, the urbanization process was so intense in this country (principally in the twentieth century, since 1950) that many cities rapidly became connected in a metropolitan conurbation of their urban networks, as a part of a not so succeed national development policy. Currently, this phenomenon is not only observed in large urban centers (as São Paulo and Rio de Janeiro), but also in medium-sized cities (as Goiânia and Brasília). The intensity of this dynamic transformation of the Brazilian landscape tends to result in an unification of highly urbanized areas, as occur along the BR 060 (a federal road that connects Goiânia to Brasília - Federal District), converging in an axis of biotechnology industries and services, with significant economic importance to the country and adjacent municipalities. In this sense, this research aimed to analyze the dynamic expansion of urban patches in this development axis (i.e., Goiânia-Brasília), through a spatial growth vectors modeling and simulation of future scenarios. Among the results, the study shows a clear trend of urban density in the Metropolitan Region of Goiânia and the Federal District in the coming decades (until 2050). It also highlights the needing to monitor this specific axe, especially at the federal and state government level, intending to guarantee a sustainable urban growth, which includes an adequate management of the natural resources, as water and soil availability.

Keywords: urban expansion, growth drivers, future scenarios, landscape dynamics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo Geral	22
2.2 Objetivos Específicos	22
3. REFERENCIAL TEÓRICO	23
3.1 Modelagem de Cenários em Áreas Urbanas	23
3.2 Modelagem de Cenários em Áreas Naturais	36
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1 Localização da Área de Pesquisa	38
4.2 Aplicativos	38
4.3 Base de dados para modelagem de cenários futuros de áreas urbanas	38
4.3.1 Delimitação de áreas urbanas por Landsat 5 – sensor TM.	41
4.3.2 População no eixo Goiânia-Brasília	50
4.3.3 PIB.....	54
4.3.4 IDH.....	57
4.3.5 Rede hidrográfica	59
4.3.6 Malha viária	60
4.3.7 Declividade da região	62
4.3.8 Unidades de Conservação – UC.....	63
4.3.9 Conversão de estrutura vetorial para matricial	65
4.4 Modelagem de cenários futuros de áreas urbanas.....	66
4.4.1 Calibração do modelo de dados	72
4.4.1.1 Matriz de transição	72
4.4.1.2 Cálculo dos mapas de distâncias das variáveis de transição.	73
4.4.1.3 Determinação dos pesos das faixas de evidências das variáveis de transição	76

4.4.1.4 Determinação dos coeficientes dos pesos das evidências das variáveis de transição.....	78
4.4.2 Fase para simulação de Cenários Urbanos.	82
4.4.2.1 Cálculo dos mapas de probabilidades	82
4.4.2.2 Procedimento para geração de cenários futuros	83
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	87
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
APÊNDICE	125

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou um rápido crescimento demográfico a partir da década de 1930, instalando no país um processo de urbanização acelerado, junto com a expansão das fronteiras econômica e agrícola (TAFNER JUNIOR; SILVA, 2012; BRITO; SOUZA, 2005). Esse processo persiste até os dias atuais, tanto nos grandes centros urbanos quanto nas cidades médias, graças a uma maior descentralização e expansão da economia; tal fenômeno vem promovendo o desenvolvimento de regiões situadas no interior do Brasil.

Por outro lado, movimentos de integração nacional, como a Marcha para o Oeste, ainda na década de 1930, com a finalidade de promover o desenvolvimento da Região Centro-Oeste com a criação de Colônias Agrícolas (CANG) (BEZERRA; CLEPS, 2004; COELHO; BARREIRA, 2006), idealizados pelo então governo de Getúlio Vargas, marcou o início da explosão demográfica na região central do país, cujas metas seriam o abastecimento e a integração com o polo industrial do Sudeste brasileiro, promovendo políticas de incentivo à ocupação dos vazios demográficos no centro do país.

Goiânia, fundada na década de 1930, e Brasília, na década de 1960, são frutos dos processos de formação, ocupação do vazio territorial brasileiro e de integração nacional, e tiveram como fator influenciador o espraiamento da indústria em direção às cidades médias (STAMM *et al.*, 2010).

Esse espraiamento foi marcado pelo avanço tecnológico e desenvolvimento socioeconômico do país a partir da década de 1930 (MONTEIRO, 1999), e reforçado pelos incentivos e fortalecimento do setor agropecuário nas décadas de 1960 e 1970, com investimentos do Governo Federal em programas para desenvolvimento da Região Centro-Oeste, em especial no estado de Goiás (HOGAN *et al.*, 2002); CAVALCANTI; BARREIRA, 2011). Especialmente esse movimento se materializou com políticas de incentivos fiscais para a instalação de indústrias, resultando na atual configuração do território nacional.

A passagem de país agrário a urbano talvez seja a mais importante e marcante transformação ocorrida no Brasil ao longo do século XX. Assim, as transformações econômicas e sociais alteraram a configuração do território brasileiro, a partir do momento em que, indiscutivelmente, a maioria da população passou a viver em áreas urbanas (RODRIGUES, 2006).

No ano de 1970, a população urbana no país era de 52.904.744 e a população rural de 41.603.839 (IBGE, Censo Demográfico 1950/2010). Conforme destacam Stamm *et al.* (2010), a partir deste momento (1970), ocorre no país um processo de espraiamento da indústria, com regiões metropolitanas expandindo-se para novas fronteiras espaciais, sobretudo das

idades médias, cujo crescimento, já na década de 1980, foi maior ao das metrópoles. Esse processo mudou o padrão de urbanização e produziu nova dinâmica na organização do território nacional.

A tendência atual de ocupação urbana dos grandes centros é a concentração da população menos beneficiada em zonas que circundam o setor central das cidades. Como consequência disso, ocorre o processo de periferização¹ do espaço urbano (CAMPOS; BERNARDES, 1991), com a ocupação de áreas inadequadas para fins urbanos, como os fundos de vales, encostas etc. Nos últimos anos, a população com maior poder aquisitivo passou a procurar regiões mais distantes da área urbana, preferencialmente em condomínios horizontais fechados, devido a um melhor padrão de segurança. Os dois casos tem causado mudanças na paisagem, requerendo estudos de planejamento urbano para verificação de áreas propícias para implantação de novos imóveis e empreendimentos. É importante ressaltar que o crescimento das cidades tende a dois tipos de ocupação: a dos vazios urbanos internos ao perímetro e a de novas áreas do perímetro externo à mancha urbana, conforme destaca Motta (2011):

A urbanização é um dos fatores decisivos no processo de transformação territorial, e as cidades são seus elementos catalisadores. As relações dinâmicas e interações entre as cidades respondem pela atual conformação espacial da rede urbana e por sua evolução futura, cuja compreensão é fundamental para o estabelecimento de metas de políticas públicas urbanas e regionais.

As redes urbanas de um país são constituídas de cidades que interligam-se entre si através de infraestruturas como transportes, serviços, telecomunicações e também trafegam pessoas, produtos, informações, estabelecendo relações materiais e imateriais. O eixo Goiânia-Brasília é um dos principais centros de articulação de transporte e logística do país, uma vez que se encontra na região central, com rodovias que o interligam às demais regiões, Além de Goiânia e Brasília, este eixo inclui as seguintes cidades: Aparecida de Goiânia, Anápolis, Abadia de Goiás, Senador Canedo, Trindade, Goianápolis, Goianira, Santo Antônio de Goiás, Terezópolis de Goiás, Nerópolis, Abadiânia, Alexânia e Santo Antônio do Descoberto.

Por sua localização estratégica, o eixo Goiânia-Brasília destaca-se no cenário econômico, o que permite o fluxo de distribuição e abastecimento do mercado interno estadual e nacional, bem como do mercado exterior. Contudo, a distância deste eixo aos demais centros urbanos no país requer eficiência logística e infraestrutura adequadas, por meio dos transportes ferroviário, rodoviário e dutoviário, para atender a estes mercados em expansão.

¹ Fenômeno em que se busca a ocupação de bairros circundantes ao bairro central das cidades, provocado pelo acelerado crescimento urbano.

Arrais (2006) afirma que, do ponto de vista teórico, existem poucos trabalhos relacionados a esta área de estudo, mas em sua tese elaborou um estudo sobre o Eixo de Desenvolvimento Goiânia-Brasília, baseado em um conceito político de região e de geografia regional, considerando o processo de produção como econômico, normativo e discursivo. O estudo resultou numa configuração cartográfica com um recorte das discussões iniciais em torno do tema proposto, no qual considera um conjunto de apenas 39 municípios recobrando a Região Metropolitana de Goiânia, a Microrregião do Entorno de Brasília e o Distrito Federal, sob influência da rodovia BR 060, além de Anápolis e alguns municípios vizinhos.

Vários são os projetos em processo de implantação para viabilizar a infraestrutura da área pesquisada, como a implantação da ferrovia Norte-Sul, que interligará o país de Norte a Sul passando por Anápolis; o alcoolduto que escoará etanol de Goiás ao Porto de São Sebastião (SP), passando por Senador Canedo; o gasoduto Brasil-Central (expansão do gasoduto Brasil-Bolívia), que também passará pela plataforma da Petrobrás instalada em Senador Canedo; a implantação da plataforma logística multimodal, com a criação do aeroporto de cargas de Anápolis; a ampliação do aeroporto de Goiânia e construção do aeroporto passageiros de Anápolis (

GOIÁS, 2008; GOIÁS, 2011; GOIÁS, 2012; AGÊNCIA BRASIL, 2012).

O Distrito Agroindustrial de Anápolis (Daia) é o polo agroindustrial situado no município de Anápolis. Possui um porto seco que escoar a produção por rodovia e ferrovia. O Daia abriga um complexo de indústrias têxteis, alimentícias, de adubos, montadora de veículos, entre outras.

De acordo com o Plano Goiás 2030 (GOIÁS, 2011_b), no trecho Goiânia-Brasília foi instalado o Eixo de Desenvolvimento Tecnológico e o Polo Biotecnológico, colocando Goiás como centro de integração nacional em virtude das ligações ferroviárias e rodoviárias, bem como pela proximidade da Capital Federal e pela privilegiada localização geográfica interligando aos grandes centros urbanos do país.

Um dos principais temas debatidos na atualidade refere-se aos impactos socioambientais ocasionados pelo acelerado crescimento urbano-populacional, incluindo o uso do solo inadequado e uma maior demanda por serviços públicos, como saúde e transporte.

Boa parte das cidades brasileiras, incluindo as do eixo em estudo, se desenvolveu sem um planejamento prévio, o qual, quando ocorreu, foi subdimensionado para o atual número de habitantes nestas áreas. Atualmente, estudos de planejamento urbano são desenvolvidos com o uso de geotecnologias, incluindo o Processamento Digital de Imagens (PDI), a Geoestatísti-

ca e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (SILVA, 2003). Tais estudos possibilitam a criação de cenários futuros sobre a expansão urbana, apontando as direções e impactos deste fenômeno.

Neste contexto, a pesquisa em questão teve como propósito analisar os cenários futuros de expansão urbana no eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília, traçado a partir da rodovia BR 060, principal via de ligação na área de estudo. Para tanto, fez-se o uso de geotecnologias, incluindo plataformas de modelagem de dados espaciais, bem como o emprego da teoria de autômatos celulares², baseada em diversas variáveis cartográficas de cunho físico e socioeconômico.

Tal abordagem, ainda inédita para a área de estudo, é de suma importância para planejadores e gestores urbanos - frente ao acelerado e desordenado crescimento das regiões urbanas no Brasil, por possibilitar a prevenção de impactos diversos e auxiliar a criação de políticas públicas mais adequada ao crescimento urbano ordenado.

Para cumprir com o objetivo proposto a dissertação esta estruturada em:

Referencial Teórico qual aborda o potencial dos modelos de simulações utilizando vetores de crescimento para estudos da dinâmica de paisagens e fenômenos espaciais, pontuados em: Modelagem de cenários em áreas urbanas e Modelagem de cenários em áreas naturais.

Materiais e Métodos com abordagem da elaboração da base de dados geocartográficos, preparada para elaboração das variáveis empregadas no modelo de simulação para construção de cenários futuros. Também aborda os métodos para modelagem da dinâmica espacial urbana, na qual são realizadas simulações de cenários da futura expansão urbana, por meio dos vetores de crescimento no *software* Dinâmica EGO – desenvolvido na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Resultados e Discussões das análises a partir dos cenários futuros gerados.

Considerações Finais com sugestões para trabalhos futuros, resultantes dos processos de simulações e geração de cenários da expansão da mancha urbana do eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília.

² Segundo YACOUBI e JAI (2002), um autômato celular é um mecanismo para modelar sistemas com interações locais. Consiste de uma matriz regular de células com configuração idêntica que interagem com sua vizinhança sujeita a um conjunto de regras prescritas para transições locais. As células formam uma rede espacial. O tempo avança em passos discretos. O estado de uma célula no tempo $t + 1$ é uma função apenas do seu próprio estado e dos estados de seus vizinhos no tempo t . Todos os estados das células são atualizados de forma síncrona (tradução).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Com base no exposto, esta pesquisa tem como objetivo geral apresentar um modelo para simulação de crescimento das manchas urbanas situadas na BR 060, no trecho específico ao eixo Goiânia-Brasília.

2.2 Objetivos Específicos

- Construir um banco de dados geográfico para o eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília;
- Gerar cenários futuros sobre a expansão urbana no eixo em questão, com base nas áreas urbanas mapeadas em dois momentos: 1989 e 2010;
- Analisar a tendência de expansão da mancha urbana no eixo Goiânia-Brasília (para cada município), a partir da criação de cenários futuros até o ano de 2050, considerando as taxas atuais de crescimento (1989 – 2010), além da integração de variáveis geográficas e parâmetros específicos na modelagem espacial;
- Considerar a tendência de expansão da mancha urbana sobre as Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação, como proposta de um cenário ambiental para os municípios contidos no eixo Goiânia-Brasília.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para melhor compreender o potencial dos modelos de simulações, que se utilizam de vetores de crescimento para estudos da dinâmica de paisagens e fenômenos espaciais, realizou-se uma revisão sobre o emprego de diversos grupos de variáveis e modelos de cenários futuros, os quais contribuirão como objeto de estudo desta pesquisa.

3.1 Modelagem de Cenários em Áreas Urbanas

Clark e Gaydos (1998) desenvolveram um modelo de Autômato Celular (AC) calibrado para avaliar mapas históricos digitais de áreas urbanas, usados para simular cenários futuros de uma zona urbana a longo prazo, sendo estes úteis para o planejamento urbano de megacidades. O modelo foi aplicado a duas diferentes áreas urbanas que apresentaram um rápido crescimento, situadas na região Nordeste dos Estados Unidos, em Washington e Baltimore.

Apresentam-se, aqui, os resultados de calibração, sem detalhamento, e previsão para ambas as regiões, com a comparação de diferentes configurações iniciais e parâmetros de controle utilizados para o modelo.

Na pesquisa em questão (CLARK e GAYDOS, 1998), foram utilizados como dados de entrada os mapas históricos e fotografias aéreas, mapas analógicos e digitais para diversos períodos, os quais permitiram a obtenção de produtos como modelos digitais de elevação, áreas urbanas, camadas históricas de transportes, parques nacionais, áreas úmidas protegidas, corpos d'água, áreas agrícolas, florestas e usos da terra.

As regras para o crescimento utilizadas neste modelo são uniformes ao longo de uma representação do espaço geográfico, aplicadas sobre uma base de célula-por-célula. “Um intervalo de tempo único é uma iteração do AC e todas as alterações são aplicadas de forma síncrona no final de cada período de tempo” (CLARK e GAYDOS, 1998).

Para a época em que foi desenvolvido, o modelo em CA, implementado na linguagem C em um programa não especificado, apresentava como diferencial da maioria dos existentes a utilização de escala diferenciada, que permitia variações, principalmente na adaptação dos parâmetros para calibração, em que as adaptações eram de acordo com a natureza física dos locais a ser estudados.

Nesse modelo, cinco fatores controlam o comportamento do sistema:

- *diffusion factor* (fator de difusão) – determina a natureza dispersiva geral exterior da distribuição;
- *breed coefficient* (coeficiente de criação) – define quais especificações e como provavelmente uma nova linha gerada destaca assentamento originado pelo próprio ciclo de crescimento;
- *spread coeficiente* (coeficiente de expansão) – diz quanto de difusão e expansão de assentamentos existentes ocorrem;
- *slope resistance factor* (fator resistente de inclinação) – estende a probabilidade da existência de assentamentos que se estende até declives mais íngremes;
- *road-gravity factor* (fator de gravidade de rodovias) – atrai novos assentamentos na direção e ao longo das estradas.

A taxa de crescimento é calculada comparando-se o número de novos pixels urbanizados no período de tempo para o total de área urbana existente (CLARK; GAYDOS, 1998). Quatro tipos de crescimento são possíveis no modelo:

- *Spontaneous* (espontâneo) – ocorre quando um celular escolhido aleatoriamente cai em um local adequado para a urbanização na fronteira de um assentamento existente, simulando a fragmentação de áreas urbanas influentes sobre a sua circunvizinhança.
- *Difusive* (difusivo) – permite a simulação de células usadas para o crescimento da urbanização, quando menos células são o suficiente para ser locais desejáveis para o desenvolvimento, mesmo que não esteja perto de uma área urbana consolidada.
- *Organic* (orgânico) – crescimento orgânico a partir de núcleos urbanos existentes, expansão externa, representando a tendência de todas as áreas de expansão urbanas.
- *Road influenced growth* (crescimento influenciado por rodovias) – estimula células urbanizadas para crescimento de urbanização ao longo da rede de transporte.

Os autores concluem que as simulações de curto prazo são mais confiáveis que as de longo prazo, e que a fase de calibração é lenta e altamente dependente do tamanho dos dados

de entrada. A qualidade e a quantidade dos dados históricos e dados das imagens como base para assentamentos futuros e as regras utilizadas para as previsões parecem adequadas a uma condição de dados multiescala. Tais modelos são fontes valiosas para o planejamento e a aplicação de SIG, porém, com algumas lacunas, como a eficiência dos modelos se aplicados em gígalópoles. Constatam, ainda, que o modelo precisa ser adaptado para ser aplicado a novas áreas de estudo e em diferentes escalas de mapas, com a finalidade de analisar o impacto da localidade e a escala de aplicação do modelo.

Alkheder, Wang e Shan (2006) selecionaram a cidade de Indianápolis, em Indiana, nos EUA, como área piloto para um estudo de caso com a finalidade de testar o modelo de AC desenvolvido para modelagem do crescimento urbano a fim de melhor planejar os serviços de infraestrutura.

O modelo de AC foi programado no ArcGIS através do Visual Basic for Applications (VBA). O algoritmo AC consiste em definir regras de transição que controlam o crescimento urbano, além de calibrar e avaliar os resultados para fins de simulação.

Foram utilizadas para entrada de dados cinco imagens de satélite multitemporais de sensores TM (1973, 1982, 1987, 1992 e 2003). Na fase de preparação dos dados as imagens foram classificadas para compor o mapa de uso do solo, separadas em sete classes de interesse: água, estrada, comerciais, áreas de floresta, áreas residenciais, pastagens e culturas. As classes comerciais e residenciais representam a classe urbana. Foram utilizados, ainda, dados da densidade da população e mapas de setores censitários dos anos de 1990 e 2000 como outras entradas para o modelo do algoritmo de AC.

Calculou-se a densidade da população por setor censitário, dividindo as suas populações por áreas, e a distância euclidiana de cada centroide, de cada setor censitário, em relação ao centro da cidade. A densidade populacional de setores censitários dentro de uma distância especificada do centro da cidade foi calculada em função de médias para reduzir a variabilidade dos dados. Usou-se um modelo exponencial para calcular a densidade da população para cada pixel na imagem com base na distância do centróide até o centro da cidade.

Neste exemplo, a concepção da modelagem AC urbana do crescimento é constituída por três fases – regra de transição, definição do método de calibração, e estratégia de avaliação para o modelo. Enfatiza-se, no referido estudo (ALKHEDER, WANG e SHAN, 2006), que a fase mais importante na modelagem é a de definição das regras de transição, pois traduzem o efeito dos dados de entrada no processo de simulação. Ressalta-se que essas regras devem ser precisas e realistas. São definidas regras de restrições do crescimento urbano para

preservar recursos naturais com fins de proteção e evitar o crescimento urbano nas proximidades de locais protegidos, como APP.

Regras de calibração foram programadas para definir o melhor conjunto baseados em AC em que o modelo recorre para corresponder o mais próximo possível dos resultados simulados com as imagens terrestres. Utilizaram-se, no estudo, técnicas de otimização heurística, como o Algoritmo de Genética (AG). Segundo os autores, este algoritmo permite trabalhar o espaço para encontrar a solução mais adequada e automatizar as calibrações de regras espaciais e temporais, melhorando a eficiência da regra de calibração, para escolher o melhor conjunto de valores de regras para modelagem precisa.

Alkheder, Wang e Shan (2006) concluem que a calibração temporal ajuda a melhorar os resultados de precisão da previsão ao longo do tempo e as calibrações espaciais e temporais conseguem capturar o padrão de crescimento urbano no espaço e no tempo com base em reais fatores de crescimento. Imagens históricas de satélite se encaixam no espaço e na natureza temporal do modelo de crescimento urbano desenvolvido em AC (Figura 1) e fornecem informações importantes de entrada para o modelo.

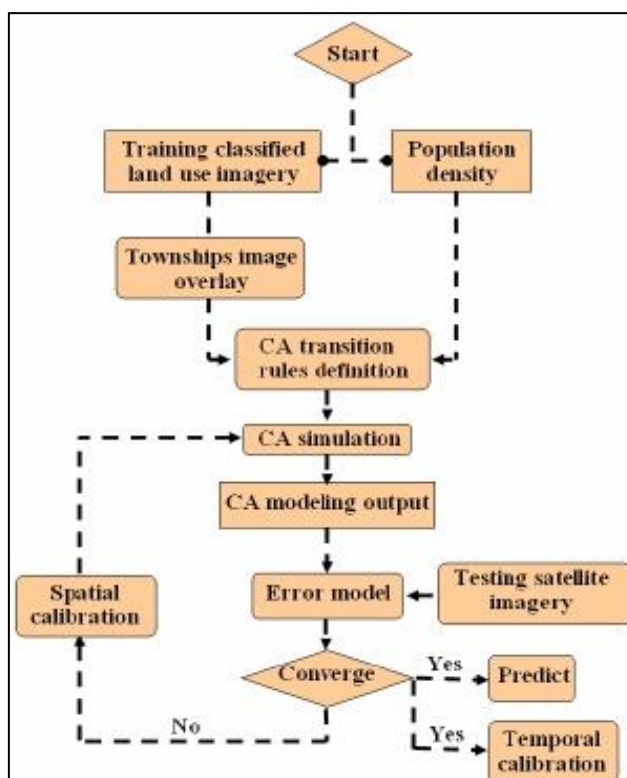


Figura 1 - Fluxograma do design do algoritmo em AC desenvolvido por Alkheder, Wang e Shan (2006).

Łopatka *et al.* (2010) utilizaram o *software* Metronâmica³ para realizar simulações futuras a fim de prever a expansão da urbanização para as cidades de Stuttgart, Milão, Praga, Bratislava, Viena, Salzburg e Wroclaw, e avaliar como as mudanças previstas afetam os recursos do solo nestas localidades.

Os cenários do Metronâmica são adaptados para modelagens, considerando-se as ameaças e riscos identificados no Relatório de Estratégia Temática de Proteção do Solo, elaborado pela Comissão Europeia (COM 231/2006): a erosão, a diminuição da matéria orgânica, a contaminação local e difusa, a impermeabilização e a compactação do solo, o declínio da biodiversidade, a salinização, as inundações e os deslizamentos de terra (ŁOPATKA *et al.*, 2010).

Na metodologia adotada, os autores utilizaram-se dados espaciais para simulações dos cenários: mapas de uso do solo, mapas de solos e dados para a propagação urbana. Com a classificação de imagens de satélite elaboraram-se os mapas de uso do solo. Na modelagem, os mapas de entrada inicial foram de 1990-1992 e de 2006-2007, também considerando as taxas de transição de uso para os anos adotados no cálculo dos cenários projetados para 2030. O modelo incluiu ainda quatro fatores: adequação do terreno (declive), densidade de estradas (distância de estrada), potencial urbano (densidade de células urbanizadas) e adequação do solo (solo).

Segundo Łopatka *et al.* (2010), a vizinhança de uma célula influencia na transição de células vizinhas, presentes na outra classe, no próximo passo de tempo. As regras de transição são o núcleo do AC e determinam as mudanças graduais de cada célula. O efeito de vizinhança é definido nesta análise como o efeito de atração ou repulsão que as células vizinhas proporcionam nas células das outras classes na variação de tempo. As células localizadas mais longe sofrem menor influência que as localizadas mais próximas do centro da célula principal. Para prever o impacto do cenário de referência na cobertura do solo, são combinadas probabilidades com informação de qualidade do solo.

Łopatka *et al.* não apresentaram fluxograma ou esquema da modelagem que utilizaram, mas concluem que a informação sobreposta à qualidade do solo foi a geração de mapas, a fim de aprender o que seria perdido da qualidade dos solos com os cenários de referência.

Costa (2010) desenvolveu modelos para criação de cenários futuros da expansão urbana no concelho de Cabeceiras de Basto (norte de Portugal), com simulações na dinâmica do

³ Desenvolvido pelo Research Institute for Knowledge Systems (RIKS), é um modelo baseado no princípio de autômato celular; sendo este uma ferramenta para planejadores e pesquisadores realizar simulações de cenários futuros de mudança do uso do solo e de urbanização. É um software proprietário, obtido no site: <http://www.metronamica.nl/>

uso do solo ocorridas no espaço temporal de 2009 a 2030, utilizando o *software* SLEUTH⁴, que permite análises de tendências de alterações de ocupação e uso do solo com AC.

SLEUTH é uma sigla derivada das palavras “Slope, Land Use, Exclusion, Urban Extent, Transportation e Hillshade” (inclinação, uso do solo, exclusão, extensão urbana, transportes e relevo sombreado, respectivamente).

Neste estudo foram utilizadas cinco entradas de dados:

- quatro mapas de áreas urbanas das épocas de 1995, 2003, 2005 e 2008;
- um mapa de áreas não urbanizadas (locais resistentes à urbanização como corpos d’água e reservas ecológicas);
- dois mapas de malha viária correspondente aos anos de 1995 e 2008;
- um mapa de declividade;
- um mapa de relevo sombreado.

O modelo SLEUTH avalia o aumento das áreas urbanas com simulações da dinâmica do crescimento urbano, por meio de uma regra de comportamento – *self-modification rule*⁵ – e quatro regras de crescimento:

- crescimento espontâneo⁶;
- crescimento difuso e origem de novos centros urbanos⁷;
- crescimento orgânico⁸;
- crescimento influenciado pela rede viária⁹.

Além dessas regras, o modelo possui o coeficiente *slope* (declives), que influencia em cada um dos quatro tipos de crescimento, considerando a menor possibilidade de urbanização em encostas muito íngremes.

⁴ Projeto Gigalópolis – *software* de licença pública, disponível em: <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>.

⁵ Regra definida por limites de crescimento que lançam um aumento ou diminuição definidos por três parâmetros de controle de crescimento (dispersão, difusa e expansão).

⁶ Regra definida pela ocorrência de urbanização estabelecendo a probabilidade de uma célula não urbanizada tornar-se urbanizada em qualquer espaço de tempo.

⁷ Regra definida por meio de dois coeficientes que estabelecem probabilidades para qualquer uma das novas células tornarem-se um novo centro urbano.

⁸ Regra definida considerando a probabilidade de uma célula não urbana com pelo menos três células vizinhas urbanizadas tornar-se urbanizada.

⁹ Células urbanizadas vizinhas de rede viária tem a probabilidade de tornar-se núcleo de expansão urbana.

Os cenários do crescimento urbano foram gerados logo após a fase de calibração do modelo e ajuste dos coeficientes de crescimento, criando vinte e duas simulações no intervalo dos anos 2009 e 2030 (Figura 2).

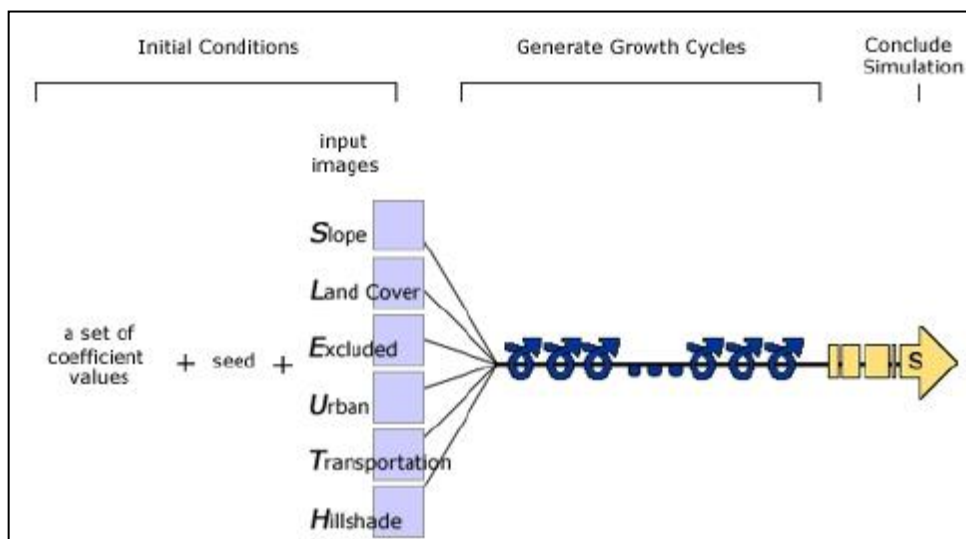


Figura 2 - Modelo conceitual do processo de simulação SLEUTH, utilizado por Costa (2010).

Com este estudo, Costa (2010) conclui que os modelos não conseguem “prever” quais decisões serão tomadas pelos gestores do planejamento do território e políticos territoriais. Por isso, quando se desenvolver simulações de cenários para políticas territoriais distintas, é importante considerar a possibilidade de criar cenários alternativos, permitindo comparações de custos e benefícios e favorecendo uma prática do ordenamento territorial fundamentada.

Almeida (2003) realizou experimentos de modelagem para realizar simulações de mudanças de uso do solo em duas cidades – Bauru e Piracicaba –, localizadas no oeste do estado de São Paulo, utilizando um modelo de AC.

Dentre vários de seus objetivos, pôde-se destacar a identificação “por meio de análises multitemporais de processos de mudanças de uso do solo observados nas duas cidades em relação à configuração da forma urbana [...]. A meta, neste caso, é o entendimento da interação dinâmica entre esses fatores para a elaboração de possíveis cenários de organização do uso do solo no curto e médio prazo” (ALMEIDA, 2003).

Os mapas de uso do solo para a cidade de Bauru foram de 1967, 1979, 1988 e 2000. Já a cidade de Piracicaba possui mapas de uso do solo de 1985 e 1999 e o mapa produzido a partir do aerolevante executado em 1962. Além dos mapas de uso do solo, foram utilizados – como dados de entrada no modelo urbano nesta pesquisa – dados de produtos cartográficos

multitemporais (mapas de arruamento, infra e superestrutura¹⁰ e mapas de densidade ocupacional), fotos aéreas digitais e imagens dos satélites da série Landsat – 3 e 5. Também foram utilizados dados não espaciais como informações da demografia das cidades e, ainda, dados econômicos como o PIB.

A seleção de variáveis explicativas para esclarecer o mesmo tipo de transição de uso do solo foi realizada tanto na etapa de preparação dos dados com a construção de mapas de distância (área servida por rede de água, rios e corpos d'água, zonas comerciais em geral, diferentes faixas de concentração de atividades comerciais, definidas pelo estimador Kernel, zonas industriais, zonas residenciais, ferrovias, estradas periféricas transversais, principais vias existentes, eixos de serviços e industriais, estradas asfaltadas) quanto na etapa de modelagem (Figura 3), pela análise exploratória dos dados processados.

A etapa de modelagem foi alimentada por parâmetros obtidos através de métodos estatísticos empíricos de pesos de evidência e de regressão logística, que foram usados para determinar a quantidade total de mudanças de uso nos cenários de prognóstico.

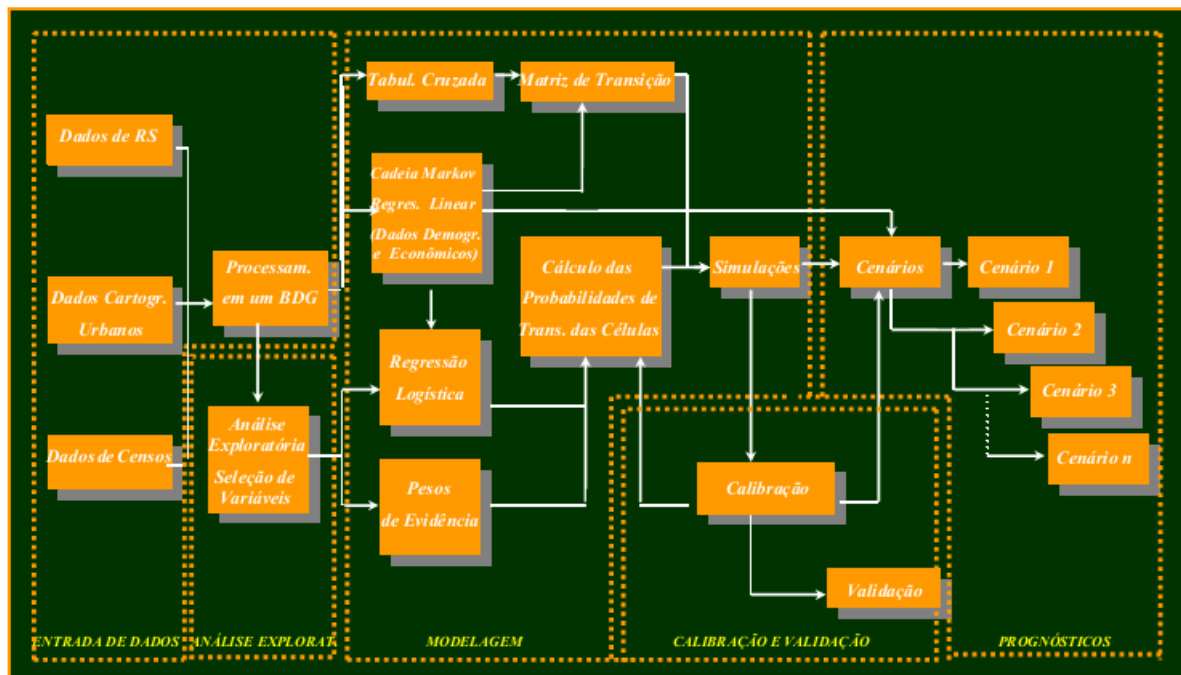


Figura 3 - Fluxograma da síntese metodológica de Almeida (2003).

¹⁰ “Constitui-se em um aparato mais sofisticado de apoio às atividades urbanas, como equipamentos educacionais e de saúde; instalações de comércio e serviços, esportivas, religiosas e de serviço público; áreas de lazer etc.” (ALMEIDA, 2003)

Almeida (2003) conclui sua pesquisa citando que os aspectos socioeconômicos e de infraestrutura demonstraram ser variáveis forçantes de mudanças de uso do solo em nível local, cuja lógica pode ser explicada à luz das teorias econômicas de crescimento e desenvolvimento urbano. Considera, ainda, que mesmo com as limitações e deficiências implícitas nas atuais implementações tradicionais de AC, sobretudo as premissas de discretização do espaço e do tempo, os modelos dinâmicos espaciais constituem um dos melhores representantes da modelagem urbana, sendo assim, um meio promissor para tornar as saídas de simulações de mudanças de uso do solo comunicáveis e transparente.

Godoy (2004) utilizou a modelagem dinâmica para analisar a ocupação do solo no bairro Savassi, situado no município de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, Brasil. Este estudo teve como objetivo principal o desenvolvimento de um modelo dinâmico espacial para analisar o uso e a ocupação do solo no período compreendido entre 1985 e 2003, com simulações de cenários futuros, baseados no conceito de autômatos celulares no *software* de modelagem DINÂMICA EGO.

A análise foi feita a partir da variável de inclusão “usos do solo” (mapa de entrada de dados) representados em três épocas – em 1985, 1996 e 2003/2004. Definiram-se 13 classes de usos: comércio, residência, serviços, misto, institucional, sem informação, lote vago, comércio/serviços, residência/serviços, comércio/residência, institucional/residência, institucional/serviços e comércio/lote vago. Empregaram-se matrizes de transição para análise das mudanças espaciais com base nas treze classes de solo, analisando e comparando a mudança da unidade real (limite físico do solo) e da unidade estimada.

Para determinação da influência na mudança espacial, empregou-se o método de pesos e evidências, usado para calcular relacionamentos empíricos de variáveis espaciais influentes na dinâmica de transição, como a distância do bairro de pontos importantes como praças, eixos viários, residência, comércios e avenidas e dos pesos que cada variável representa em relação à Praça Savassi (referência do principal ponto de concentração comercial do bairro).

Uma vez calibrado e ajustado o modelo, foram simulados cenários futuros para os anos de 2003, 2010 e 2017. Com análises temporal e espacial, Godoy (2004) pôde observar que alguns usos como serviços se fundiram com residenciais, provocando especulação imobiliária no local em função do valor econômico da terra naquele setor. Houve, também, uma aglutinação dos usos comerciais, formando-se polos econômicos.

Ao concluir, Godoy (2004) enfatizou que seu estudo representa tendências e não uma radiografia fiel da representação do que o bairro de Savassi será no futuro. Ainda pôde com-

provar a influência de variáveis no controle espacial das simulações da dinâmica de ocupação. Este estudo não trouxe uma síntese da modelagem de dados, mas apresentou um fluxograma das etapas do desenvolvimento metodológico de sua pesquisa, conforme demonstra a figura 4.

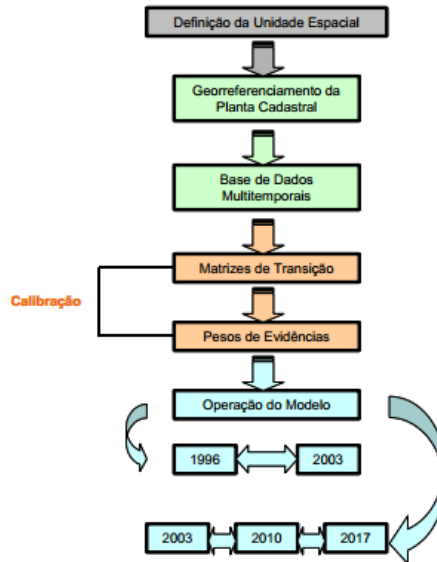


Figura 4 - Síntese da modelagem dinâmica espacial organizada por Godoy (2004).

Trentin (2008) analisou o processo de expansão urbano-industrial do município de Americana, São Paulo (SP), Brasil, por meio de geotecnologias. A ocupação urbana e industrial foi analisada ao longo de uma série temporal de aproximadamente 60 anos, de 1940 a 2005, com a elaboração e análise de mapas de uso da terra do município. Esta metodologia possibilitou alcançar um diagnóstico da área de estudo atrelado a dados socioeconômicos e a identificação dos vetores de crescimento urbano-industrial para cada década da série temporal.

Como material de análise do uso da terra, foi utilizado fotografias aéreas dos anos de 1962, 1977, 1996, 2000 e imagens do satélite Ikonos, proveniente da plataforma Google Earth, para os anos de 2005, 2006 e 2007. O autor destaca que não foi possível obter material cartográfico necessário para realizar a identificação do uso da terra das décadas de 1940, 1950 e 1980, indisponibilidade que resultou em lapsos no mapeamento; entretanto, as fotografias oblíquas dos anos de 1939 e 1940 foram utilizadas para visualizar alguns aspectos do uso da terra naquelas épocas.

Os mapas de uso da terra foram construídos com a vetorização das fotografias e imagens, separando-as em classes de usos identificadas como: residenciais, comerciais e serviços, industrial, institucional, áreas desocupadas, reflorestamento, vegetação arbórea, vegetação,

pastagem, áreas agrícolas, transportes, cursos d'água, reservatório e outros usos. Construíram-se, também, mapas de hipsometria, declividade e clinográfico (com a vetorização dos mapas de curvas de nível do município).

Observou-se a ocupação urbana do município de acordo com os aspectos do relevo, pelo processo de tabulação cruzada entre mapas de uso da terra e o mapa de declividade, buscando relacionar a dinâmica de uso e ocupação à realidade socioeconômica de cada época. Os mapas de uso da terra foram generalizados buscando-se uma compactação das classes relacionadas, reagrupando áreas não urbanizadas em uma única classe, e no meio intraurbano passaram a ser consideradas três classes de uso: residencial, industrial e comercial e serviços, para utilização na etapa de modelagem. Além dos mapas de uso da terra, Trentin (2008) fez uso de variáveis que pudessem explicar as transições ocorridas, concebidas por mapas de representação de fenômenos espaciais como: hidrografia, estradas de rodagem, hipsometria, declividade, dentre outros.

A etapa de modelagem da dinâmica espacial foi desenvolvida com o *software* DINÂMICA EGO¹¹. Os dados de entrada dos cenários de uso da terra foram compostos por quatro períodos de simulação da modelagem: 1962-1977; 1977-1996; 1996-2000 e 2000-2005, bem como por representações de variáveis espaciais que pudessem explicar as mudanças de uso da terra ocorridas, e que venham a ocorrer. Adotou-se o “método de pesos de evidências”¹² baseado no teorema da probabilidade condicional de Bayes¹³, *a priori* e *posteriori* de um determinado evento acontecer.

As faixas de distâncias dos pesos de evidências em relação às classes de uso foram delimitadas em 10 metros para distâncias em relação à hidrografia, ferrovia, às estradas de rodagem, áreas residenciais, áreas industriais, áreas comerciais e de serviços. Já a hipsometria foi definida considerando-se oito classes altimétricas e cinco classes de declividade – hipsometria e declividades foram cruzadas por tabulação com os mapas de uso da terra para observar a ocupação urbana de Americana de acordo com os aspectos do relevo.

Segundo Trentin (2008), os pesos de evidências representam a influência das faixas de distâncias de uma determinada variável nas probabilidades espaciais de uma transição de uso

¹¹ *Software* público disponível no site: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>

¹² Os pesos de evidências representam a influência das faixas de distâncias de uma determinada variável nas probabilidades espaciais de uma transição de uso da terra (TRENTIN, 2008).

¹³ Refere-se à probabilidade de um evento ocorrer (TRENTIN, 2008).

da terra. Esta probabilidade é condicional e permite obter a probabilidade de um evento A ocorrer sabendo-se que o evento B já ocorreu.

Calculou-se a matriz de transição em duas etapas – definição dos intervalos e dos coeficientes de pesos de evidências – para obtenção dos pesos de evidências. A modelagem (Figura 5) foi feita a partir dos mapas de uso inicial e final, correspondentes ao período de simulação, da seleção das variáveis explicativas para cada período de transição de uso da terra em cada um dos períodos de simulação, posteriormente, passando para as fases de calibração¹⁴ e validação¹⁵ do modelo, para em seguida gerar os cenários simulados da área urbana da cidade de Americana.

Trentin (2008) utilizou mapas de diferenças para verificar e identificar as diferenças entre os mapas de uso final e inicial, e entre os mapas de uso final simulado e inicial real. Realizou, também, teste de similaridade entre os mapas de uso real e simulado para fazer comparações de ambos, sendo as variações obtidas por valores próximos de zero (0) a um (1) – quanto mais próximo de um (1), mais similar estará a simulação da situação real. Por último, realizou-se simulação de prognósticos, que permitiu a obter os cenários de tendência¹⁶ e hipotéticos¹⁷. Ao final de sua pesquisa, concluiu que a experiência de modelagem foi correta e reforçou a importância de modelos como ferramenta do planejamento urbano.

¹⁴ A calibração do modelo visa à seleção do melhor conjunto de variáveis de entrada de parâmetros internos do programa, de forma a produzir o melhor ajuste entre os dados empíricos e a realidade observada (ALMEIDA, 2003).

¹⁵ A etapa de validação do modelo, que poderá ser utilizada como subsídio ao longo do procedimento de calibração, refere-se ao cálculo dos mapas de diferença e de similaridade entre o mapa real e o mapa simulado (TRENTIN, 2008).

¹⁶ Os cenários de tendência correspondem à manutenção do mesmo padrão de crescimento urbano verificado na situação real (TRENTIN, 2008).

¹⁷ Já os de hipóteses podem partir do pressuposto de mudanças em uma ou mais variáveis integrantes do modelo, ou, ainda, por meio da suposição de que ocorram alterações nas transições de uso da terra (TRENTIN, 2008).

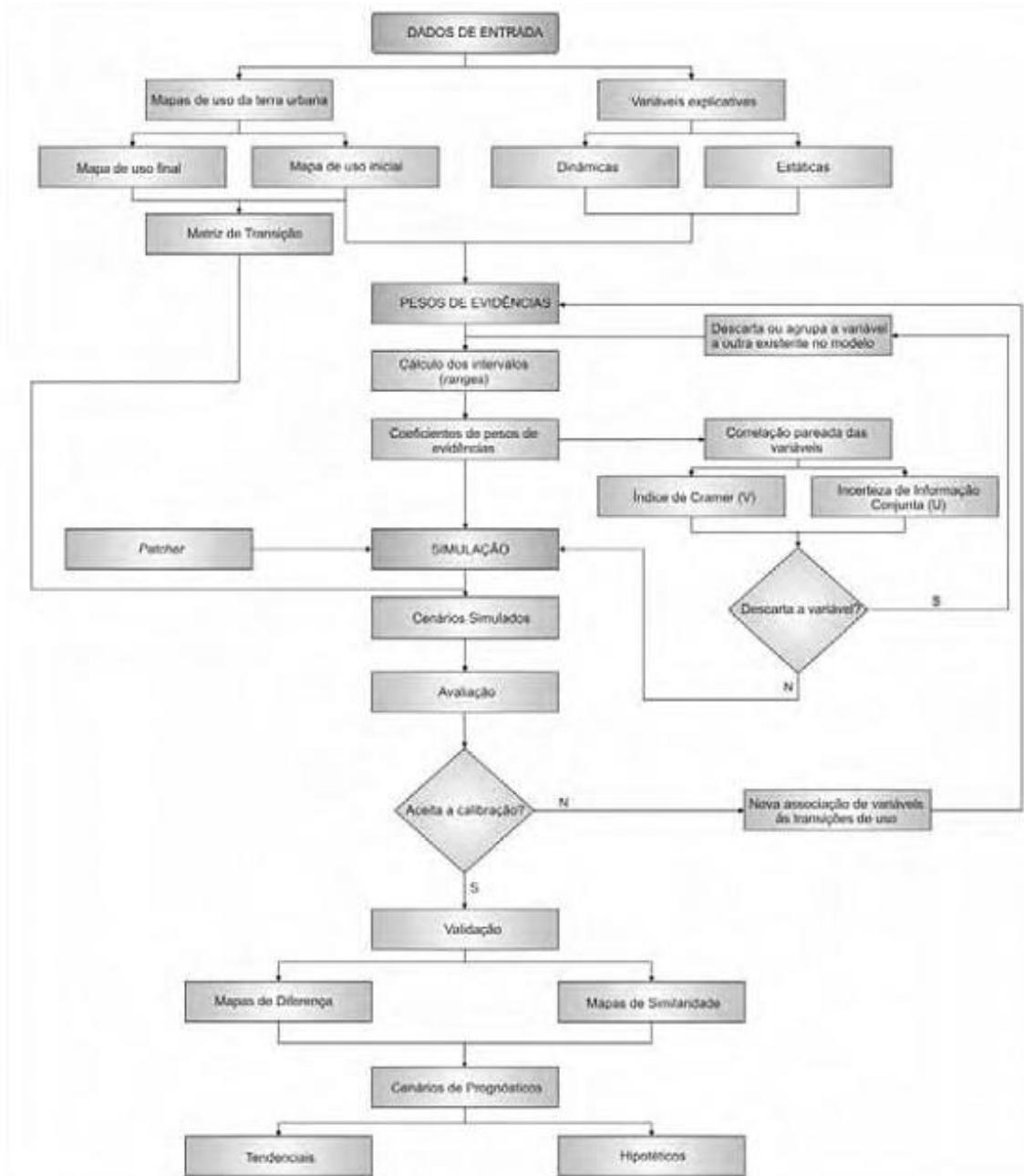


Figura 5 - Síntese da modelagem dinâmica espacial organizada por Trentin (2008).

Dias (2011) utilizou a plataforma DINÂMICA EGO para modelar a dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, a fim de identificar a ocorrência de processos de mudanças no uso e ocupação do solo solo (áreas agrícolas → urbanas) por meio de análises multitemporais, bem como para simular cenários futuros para os anos de 2014 e 2020 .

A metodologia de Dias (2011) foi desenvolvida em quatro etapas de preparação dos dados de entrada (uso e ocupação do solo, rede viária, dentre outros); calibração do modelo

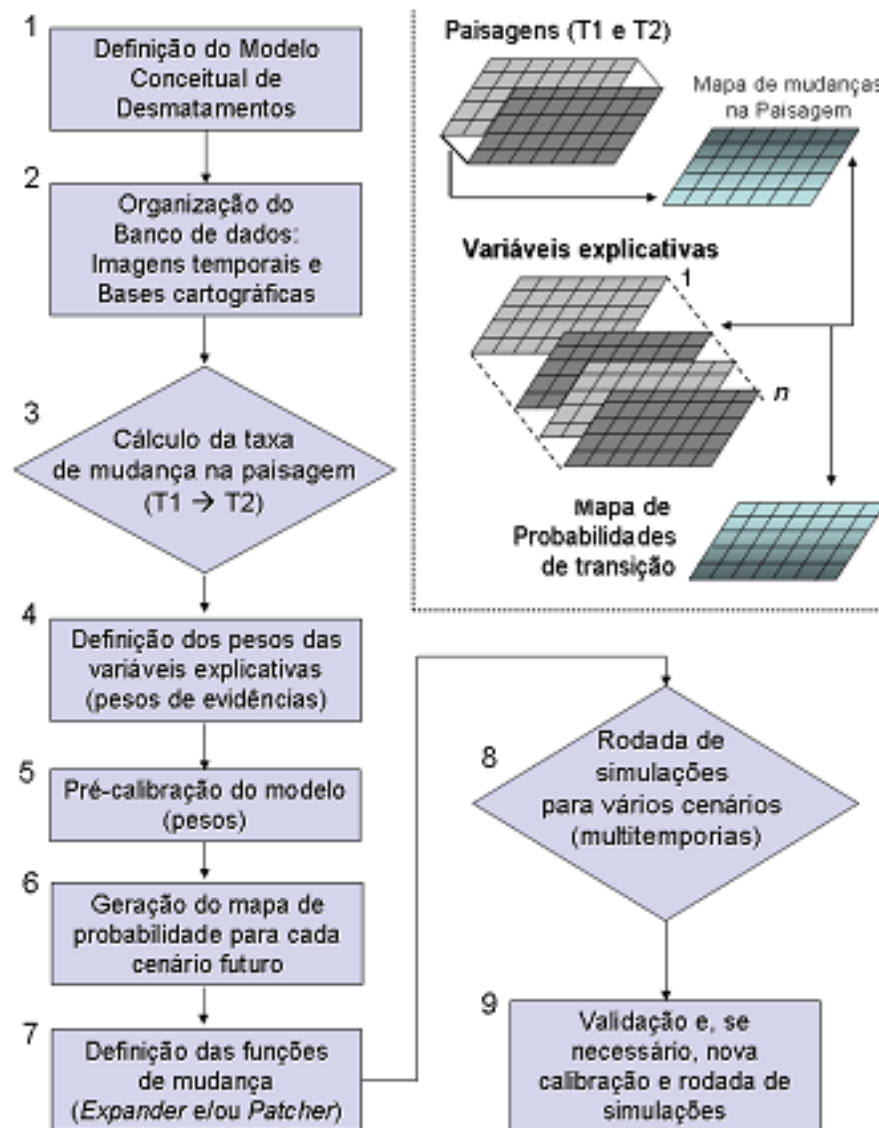


Figura 7 - Fluxograma sobre a modelagem dinâmica de paisagem espacial. Adaptada de Ferreira *et al.* (2009).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização da Área de Pesquisa

A área de estudo (Figura 8) está localizada na porção Centro-Oeste do Brasil, numa região estratégica do país, compreendida entre os municípios do eixo Goiânia-Brasília, no trecho da BR 060.

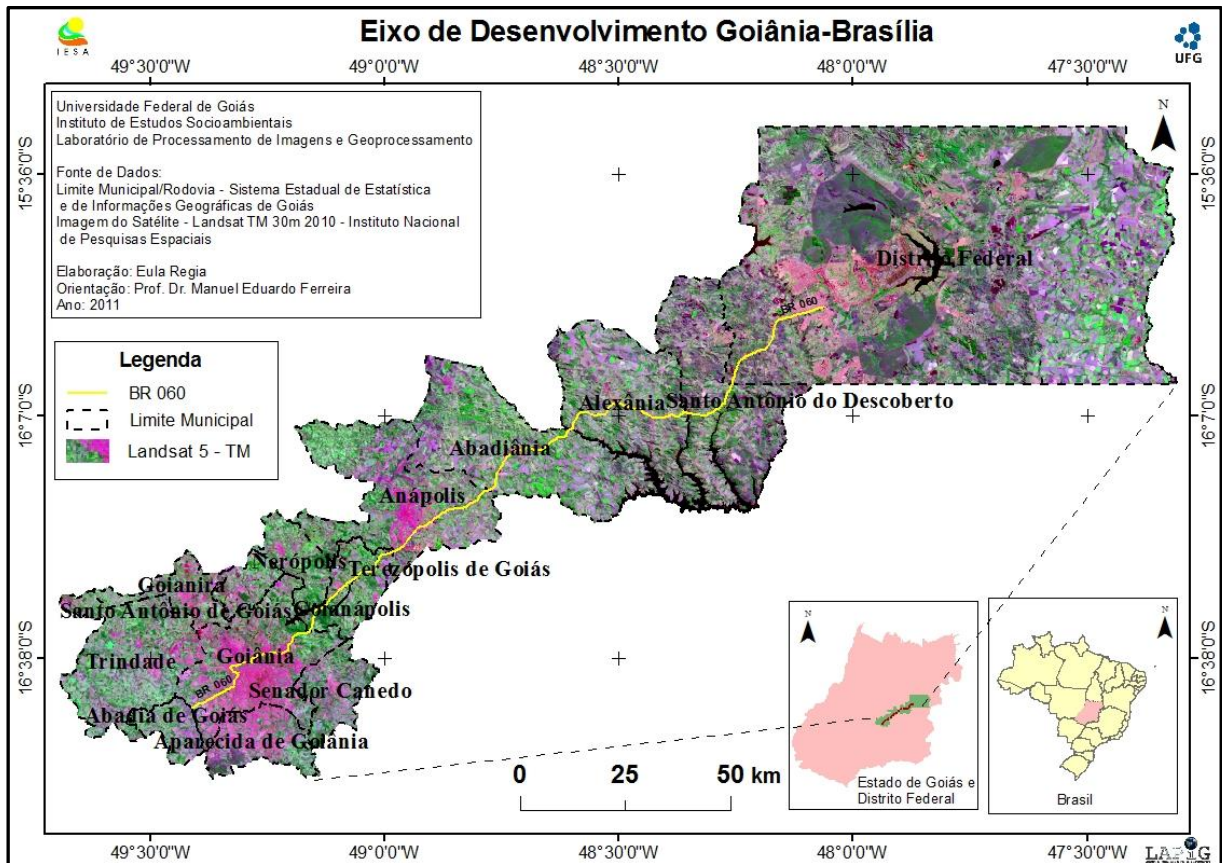


Figura 8 - Eixo Goiânia-Brasília - Mapa da área de pesquisa.

4.2 Aplicativos

Os dados pesquisados foram preparados no programa ArcGis (ESRI), enquanto que o processamento da modelagem da dinâmica urbana foi realizada no programa DINAMICA Ego (UFMG).

4.3 Base de dados para modelagem de cenários futuros de áreas urbanas

Ao desenvolver uma pesquisa que abarcará informações de diversas naturezas, é de fundamental importância para a composição de uma base de dados organizada, padronizada e

confiável. Esse conjunto de informações pode estar armazenado em um sistema gerenciador de banco de dados – SGDB, em arquivos no formato tabular (tabelas), *raster* (imagens) e vetorial (polígonos, pontos ou linhas).

A organização de uma base de dados é a maneira como os dados devem ser preparados para que haja uma comunicação entre estes num ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) ou mesmo num SGDB. Como exemplo, destaca-se a criação de campos de identificação em tabelas, que num banco de dados também podem ser referenciadas por chaves (primárias ou secundárias).

A padronização das informações também é um fator relevante, pois dados de natureza geográfica espacial irão ser integrados com outras informações; a padronização neste caso pode ser a adoção de um único sistema de projeção cartográfica e *datum* a todos os arquivos pertencentes ao conjunto de dados.

Em se tratando de um projeto de pesquisa, alguns cuidados devem ser adotados no levantamento das informações existentes. Nessa etapa é importante conhecer quais informações são realmente úteis para a pesquisa, definir as variáveis que poderão influenciar os resultados das análises e quantificar o peso de cada uma.

Ainda na etapa de levantamento das informações, um cuidado a se ter é com relação à fonte dessas informações, devendo-se considerar a data de produção, autoria e método de coleta. Em se tratando de dados de natureza cartográfica, também é fundamental conhecer a escala e a precisão daquele conjunto de dados, se possível vinculados a um arquivo de metadados.

Bases públicas como BDE-GOIÁS, IBGE/SIDRA, IPEADATA, LAFIG, SIEG, INPE foram consultadas e delas obtidas informações que sustentarão as análises espaciais em ambientes de SIG, com possibilidades de geração de cenários futuros.

A base de dados empregada neste estudo teve por finalidade descrever a região e integrar informações espaciais, sendo as mesmas provenientes de imagens de sensores orbitais, bases censitárias, socioeconômicas e cartográficas, listadas a seguir:

- 1) Imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landsat 5, para os anos de 1989 e 2010, órbitas/pontos 221/071, 222/071 e 222/072, com 30 metros de resolução espacial, distribuídas livremente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>).

As imagens do Satélite Landsat 5 – TM, com 30 m resolução espacial, não são a melhor alternativa quando se deseja mapear ou delimitar o perímetro urbano de cidades muito

pequenas; porém, para o ano de 1989 é a melhor resolução espacial disponível sem custos de aquisição. Como se desejava utilizar a mesma técnica de delimitação para acompanhar a evolução das manchas urbanas decidiu-se pelo uso do mesmo sensor e resolução espacial para o ano de 2010. Atualmente, com o avanço tecnológico e a disseminação de dados geográficos, tem-se a vantagem de validar tais mapeamentos com as imagens de alta resolução espacial disponíveis na plataforma Google Earth (www.mapsgoogle.com).

2) Imagens do projeto Topodata/INPE, com 30 metros de resolução espacial, provenientes do projeto Topodata, elaborado a partir do refinamento dos dados da missão SRTM com 90m, utilizadas para a geração de análises morfométricas da paisagem (mapa de declividade). As imagens da área pesquisada estão estruturadas em quadrículas compatíveis com articulação 1:250.000: 15°S/48°W, 15°S/51°W, 15°S/49°,5W, 16°S/48°W, 16°S/51°W e 16°S/49°,5W - (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>).

3) Informações do Produto Interno Bruto – PIB e sobre o censo demográfico do estado de Goiás para os anos de 1991, 2000 e 2010 (população), obtidas no Banco de Dados Estatísticos de Goiás (BDE-GOIÁS), para os municípios goianos (<http://www2.seplan.go.gov.br/bde/>), e para o Distrito Federal no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) é um banco de dados agregados - (<http://www.sidra.ibge.gov.br/>).

4) Bases cartográficas vetoriais do Estado de Goiás e do Distrito Federal, contendo a hidrografia e malha viária (na escala 1:100.000, todas recortadas para os municípios da área de estudo, obtidas no Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás – SIEG (<http://www.sieg.go.gov.br/>).

5) Limites cartográficos vetoriais das Unidades de Conservação e Áreas Prioritárias para Conservação do Bioma Cerrado, obtidos no Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento do Instituto de Estudos Socioambientais - LAPIG / Universidade Federal de Goiás - (<http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>), no qual foi obtido produtos de Unidades de Conservação (na escala 1:1.000.000).

6) Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) – Municipal, utilizado pela Organização das Nações Unidas – ONU para mensurar a qualidade de vida de uma população, dos municípios goianos no BDE-GOIÁS e, do Distrito federal, obtido no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEADATA para a área de pesquisa, para o ano de 2000 - (<http://www.ipeadata.gov.br/>).

7) Índices de inflação anual pelo IGP-DI - Índice Geral de Preços, do conceito da Disponibilidade Interna, indicador calculado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) dos anos 2000 a 2010, obtido no IPEADATA.

4.3.1 Delimitação de áreas urbanas por Landsat 5 – sensor TM.

Para analisar o crescimento urbano na área pesquisada e gerar os mapas multitemporais das áreas urbanas ao longo da BR 060/BR 153 (eixo viário principal entre Goiânia e Brasília), realizou-se uma interpretação visual a partir de imagens Landsat 5 – TM, com 30 m de resolução espacial, na composição RGB 543.

As manchas urbanas foram obtidas pela vetorização manual a partir da interpretação visual de imagens previamente corrigidas geometricamente (função polinômio de primeiro grau e aquisição de pontos de controle a partir da carta de drenagem na escala 1:100.000) e realização do mosaico das cenas registradas. As imagens na composição colorida falsa cor (RGB 5, 4, 3) facilitam as análises de áreas urbanizadas. Essas áreas distinguem-se por apresentar uma coloração em tons variando do rosa ao roxo.

Foram utilizadas imagens da plataforma Google Earth para auxiliar na interpretação de áreas urbanizadas da imagem do ano de 2010, e a partir da vetorização das áreas urbanas de 2010, sobrepor à imagem de 1989, com intuito de facilitar a localização das manchas urbanas na imagem mais antiga e também da interpretação pelas relações de contexto, textura, forma e tons.

A seguir é feita a descrição para cada um dos municípios/sedes urbanas mapeadas ao longo desse eixo de ligação e desenvolvimento.

Abadia de Goiás – localizada na mesorregião do centro goiano, porção sudoeste da área pesquisada, pertencente à região metropolitana de Goiânia – foi criado em 1995 e possui uma área total¹⁸ de 146,46 km². A sede do município desenvolveu-se às margens da BR 060; sua mancha urbana ampliou-se em direção ao sul da BR 060, apresentando uma área, em 1989, de 0,71 km² e em 2010 de 2,06 km² (Figura 9).

¹⁸ Quando forem citados “dados populacionais”, referem-se ao Censo 2010, realizado e divulgado pelo IBGE. Já os dados de áreas municipais referem-se à divulgação na REGPLAN sobre as Regiões de Planejamento de Goiás – 2010 /Seplan – GO (GOIÁS, 2010).

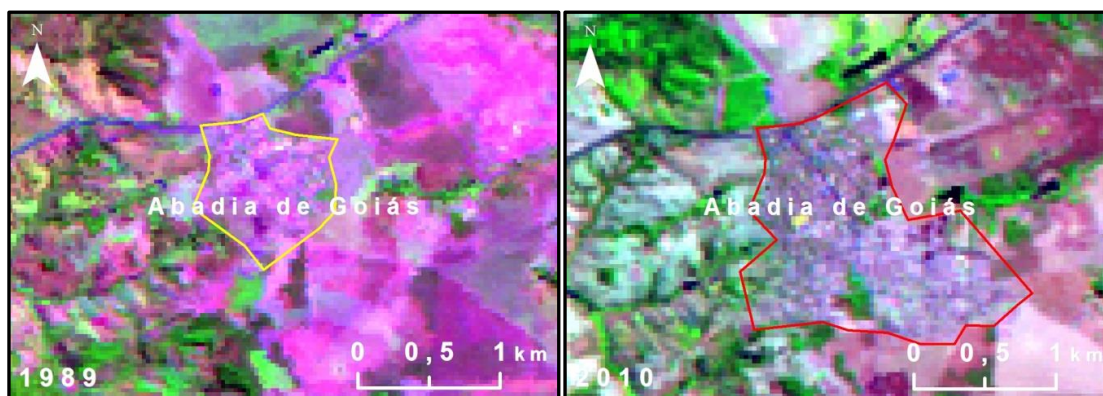


Figura 9 - Perímetro urbano da cidade de Abadia de Goiás - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Abadiânia, localizada no leste goiano, porção central da área pesquisada, pertence à região do entorno do DF – foi criado em 1953, ocupa uma área de 1.044,16 km², e sua área urbana, em 1989 apresentava 2,53 km², enquanto em 2010 passa para 4,01 km² (Figura 10). Esse crescimento ocorreu em dois sentidos; o mais expressivo ao longo da BR 060, no sentido oeste.

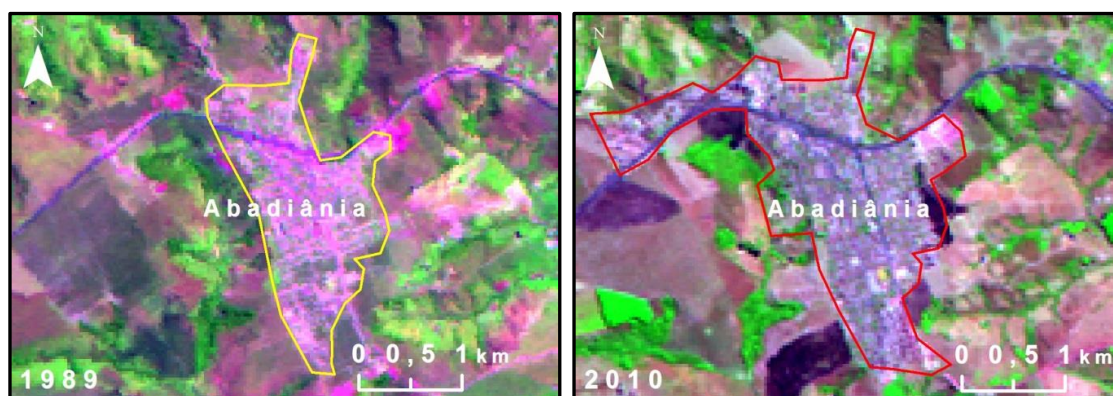


Figura 10 - Perímetro urbano da cidade de Abadiânia - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Alexânia - localizada no leste goiano, porção central da área pesquisada, pertence à Região Integrada do Desenvolvimento do Entorno do Distrito Federal – RIDE, numa região de acelerado crescimento urbano/populacional, que é impulsionado pela exploração do setor de comércio (GOIÁS) – foi criado em 1958, ocupando uma área urbana de 4,77 km² em 1989, e de 7,67 km² em 2010 (Figura 11), com crescimento no sentido noroeste.

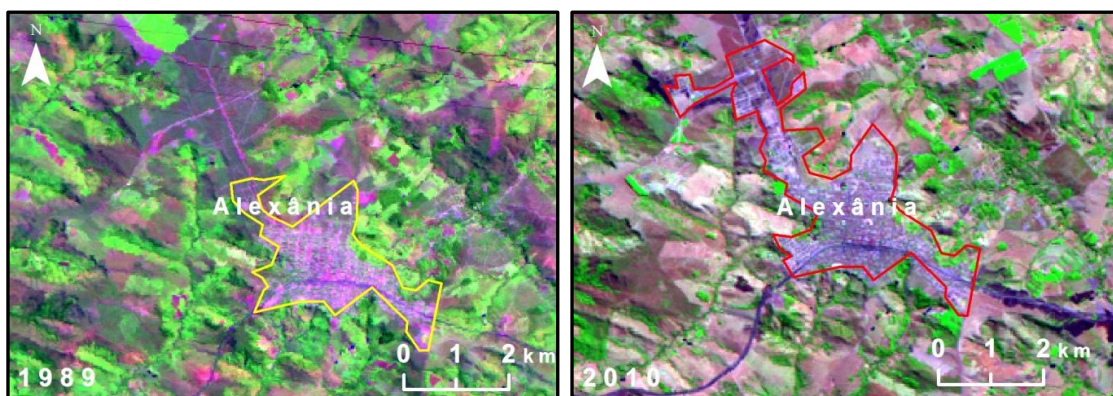


Figura 11 - Perímetro urbano da cidade de Alexânia - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Anápolis – localizada no centro goiano, porção central da área pesquisada, criado em 1887. Pouco expandiu os limites de sua área urbana nos últimos 20 anos de análise (1989 - 2010); em 1989, essa área era de 80,81 km², a qual, com a ocupação dos vazios urbanos, tornou-se mais adensada em 2010, com uma área urbana de 96,65 Km² (Figura 12) Uma das principais cidades de Goiás e do Centro-Oeste brasileiro (polo biotecnológico e automotivo).

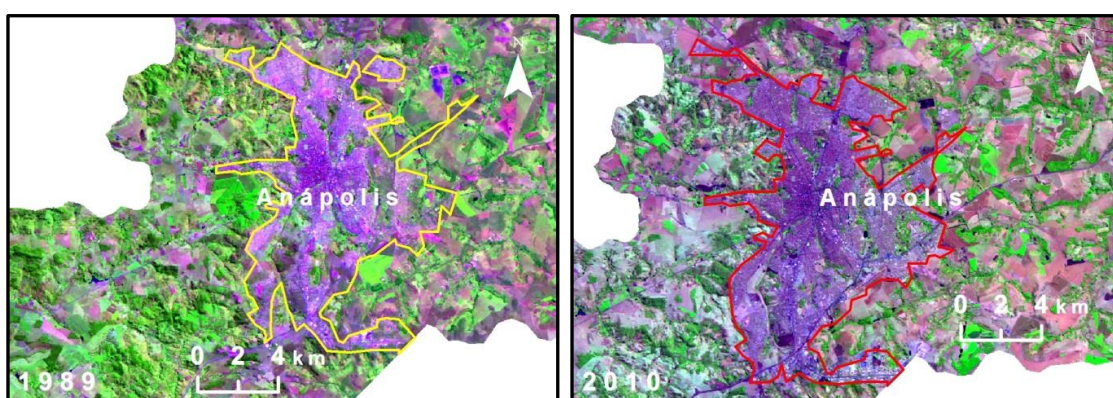


Figura 12 - Perímetro urbano da cidade de Anápolis - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Aparecida de Goiânia - localizada no centro goiano, porção oeste da área pesquisada, criado em 1963. Fronteiriço com a capital Goiânia, apresentou em 1989 uma área urbanizada de 127,36 km², com alguns loteamentos isolados; já em 2010, apresentou área urbana de 163,42 km², já bastante adensada (Figura 13). Conurbada com Goiânia, vem se destacando com polos industriais como o DAIAG (Distrito Agroindustrial de Aparecida de Goiânia), o DIMAG (Distrito Industrial Municipal de Aparecida de Goiânia), o Parque Industrial de Aparecida de Goiânia, o PEGO (Polo Empresarial Goiás e a Cidade Empresarial), mas ainda sofre

com infraestrutura precária em função do acelerado processo de desenvolvimento urbano (PINTO, 2009).

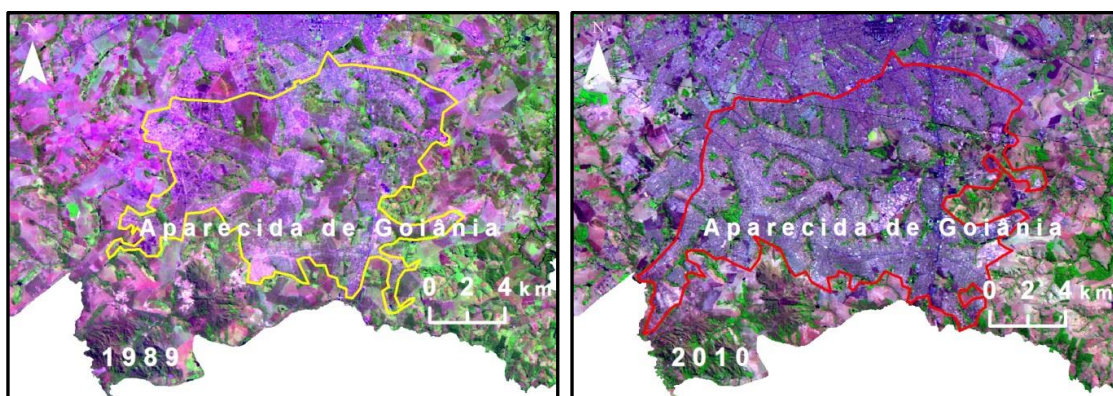


Figura 13 - Perímetro urbano da cidade de Aparecida de Goiânia - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Brasília – DF – localizada na região Centro-Oeste, porção nordeste da área pesquisada. Fundada em 1960, foi planejada para ser a capital federal para 500.000 habitantes (estimativa para o ano 2000) (BRASIL, 1953). Algumas décadas depois de sua fundação, somam-se mais de 2.500.000 habitantes (dados de 2012). A RIDE do DF conta com mais 22 municípios, com economia baseada na agricultura, indústria, comércio e administração pública. O DF é dividido em 31 regiões administrativas e, de um modo geral, perdeu grande parte de sua vegetação para a urbanização, num processo intenso de ocupação de áreas verdes, como observado nas figuras 14 e 15.

Em 1989, o Distrito Federal apresentava uma área urbanizada de 448,70 km², enquanto em 2010 esta área já somava 1.095,31 km² e seu adensamento concentrou-se no entorno do Lago Paranoá (Figura 15).

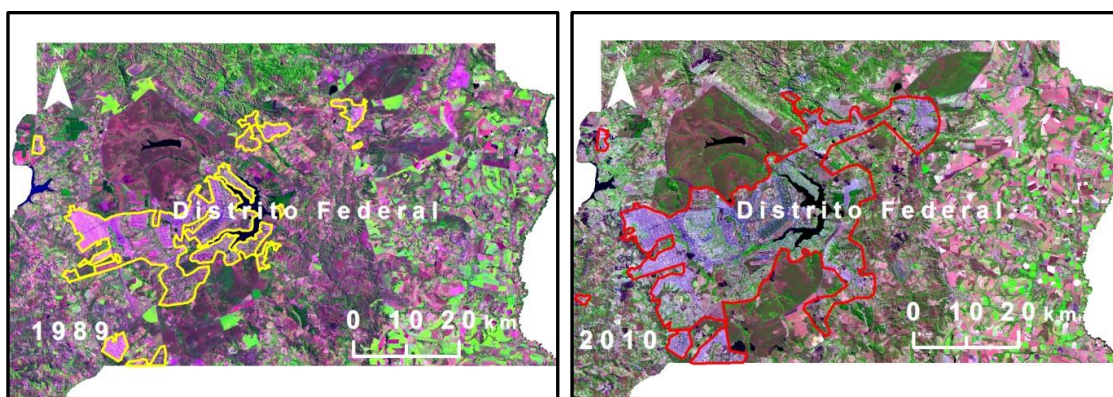


Figura 14 – Perímetro urbano do Distrito Federal em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

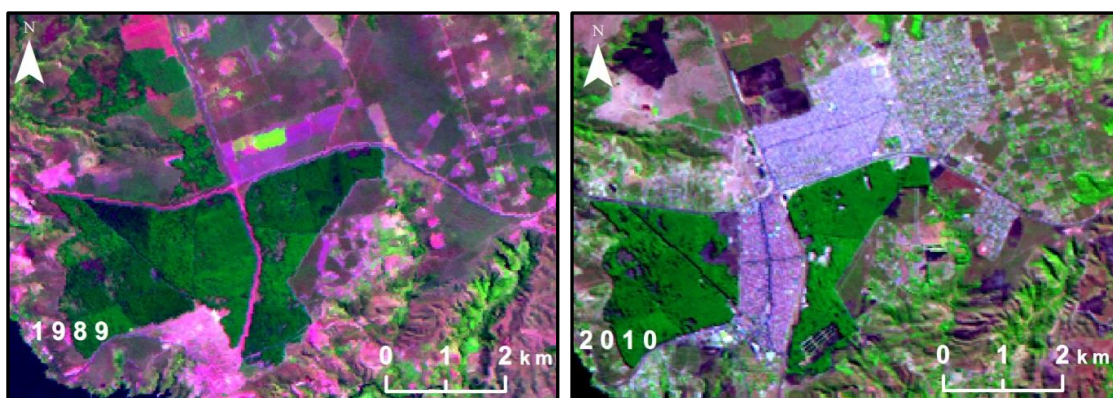


Figura 15 - Exemplo de adensamento urbano em Brasília - DF, retratando a Região Administrativa do Paranoá, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Goianápolis – localizada no centro goiano, porção sudoeste da área pesquisada. Fundada em 1958, concentra sua economia na agricultura e pecuária, com destaque para a produção de grãos, rebanhos bovino e suíno e na produção de leite. A área municipal possui 161,16 km², com área urbanizada (desenvolvida ao longo da BR 060) em 1989 de 1,37 km² e, em 2010, de 2,82 km² (Figura 16).

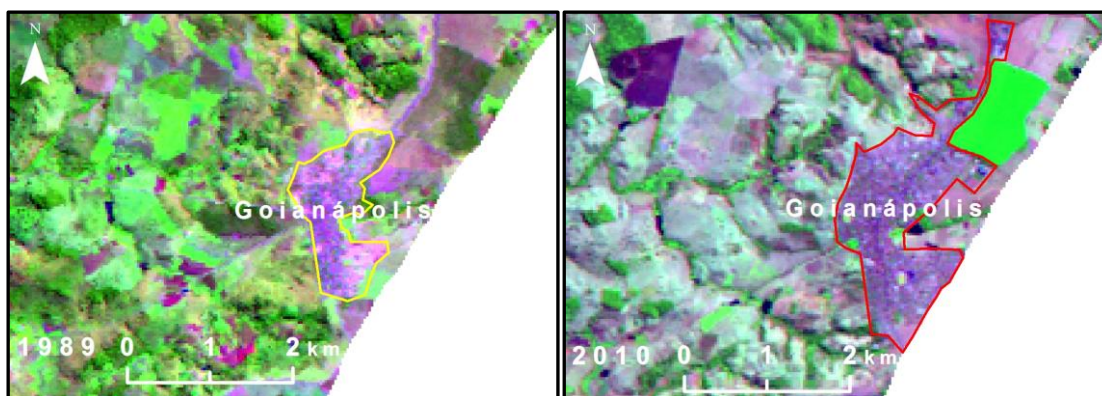


Figura 16 - Perímetro Urbano de Goianápolis - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Goiânia – fundada em 1935, localizado no centro goiano, porção sudoeste da área pesquisada. Apresenta problemas comuns a todas as médias e grandes cidades brasileiras, decorrentes do acelerado processo de crescimento urbano. Em 1989, sua área urbana era de 261,71 km², ainda com urbanização dispersa, porém já com processo de conurbação com as vizinhas Trindade, Senador Canedo e Aparecida de Goiânia (Figura 17). Já no ano de 2010, sua área urbanizada era de 376,34 km², bastante adensada e ampliada, com intensificação da conurba-

ção com Goianira, Senador Canedo e Trindade, e unificada com Aparecida de Goiânia, dando início ao processo de futura megalópole.

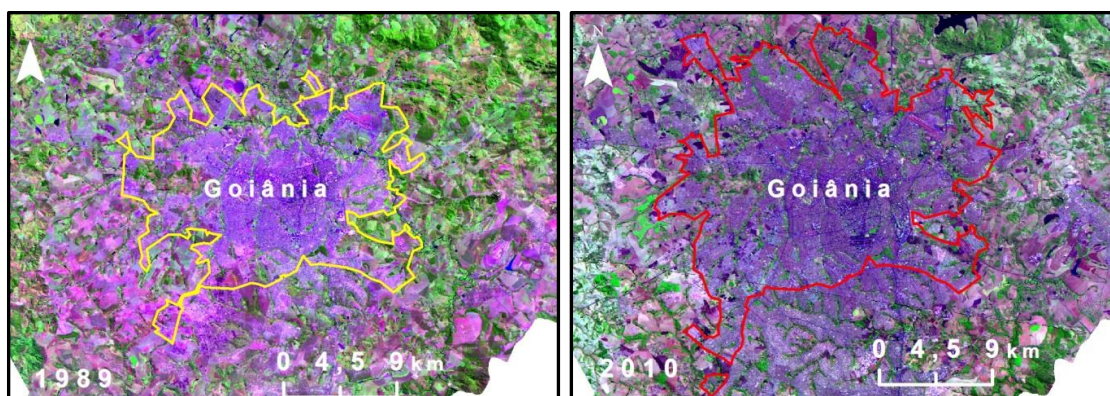


Figura 17 - Perímetro urbano de Goiânia - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Goianira – fundada em 1922, localizada no centro goiano, porção sudoeste da área pesquisada. Tem sua sede localizada a 22 km de Goiânia, com população que em 1989 era de 12.896 habitantes e, em 2010 com 34 mil habitantes, com uma taxa de crescimento de 4,23% entre 1991 e 2000 e de 6,17% entre 2000 e 2010 (GOIÁS, 2010), e nas últimas décadas passou a apresentar um desenvolvimento urbano/industrial intenso, em que vem se destacando como cidade polo de calçados em Goiás. A área urbana em 1989 era de 5,20 km², ampliando-se para 14,31 km² em 2010 (Figura 18).

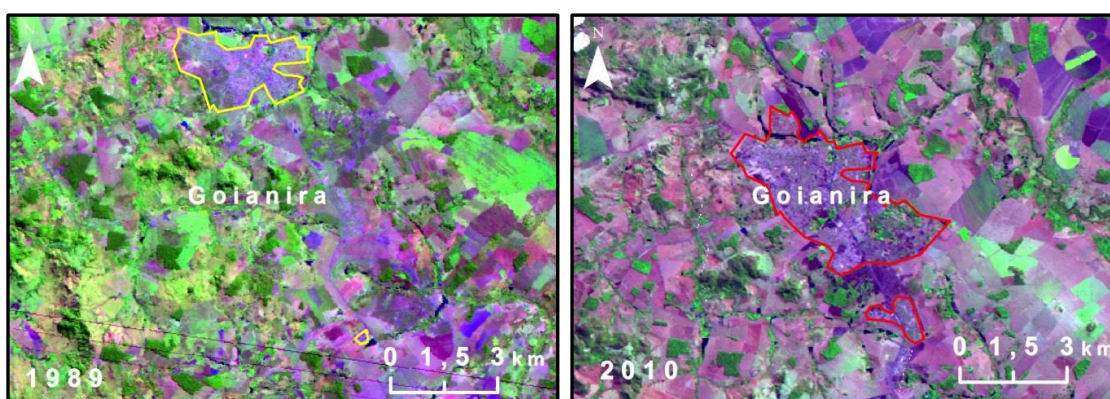


Figura 18 - Perímetro urbano de Goianira - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Nerópolis - fundada em 1948, está localizada no centro goiano, a sudoeste da área pesquisada, às margens da GO 080, com uma área municipal de 204 km². De acordo com dados do IBGE, a sua economia concentra-se na agropecuária, indústria e serviços; sua população urbana em 2010 era superior a 23.000 habitantes. Sua área urbana em 1989, conforme

interpretação da imagem Landsat, é de 2,37 km²; em 2010, essa área foi ampliada para 5,75 km² (Figura 19).

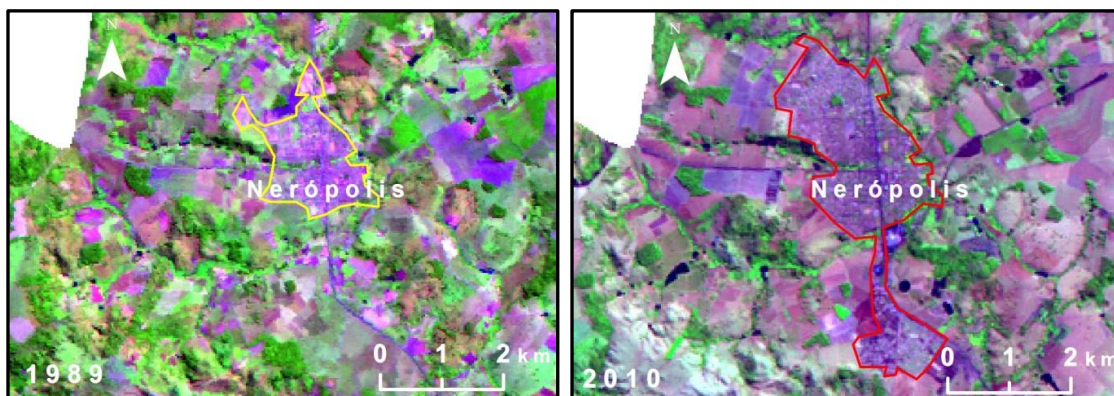


Figura 19 - Perímetro urbano de Nerópolis - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Santo Antônio de Goiás – fundada em 1990, localizada no centro goiano, a sudoeste da área pesquisada. Em 1989 sua área urbanizada é de 0,48 km², e 2,11 km² em 2010, com grande parte adensada e outras em bairros isolados (Figura 20).

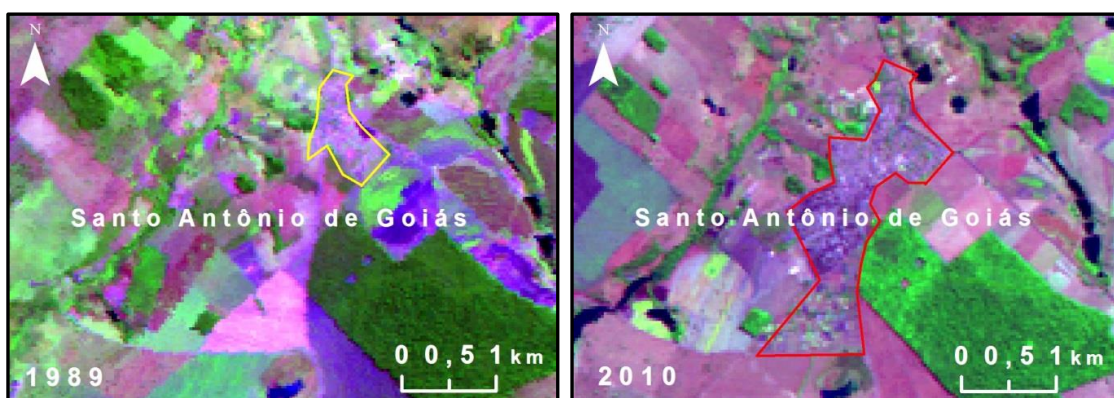


Figura 20 - Perímetro urbano de Santo Antônio de Goiás - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Santo Antônio do Descoberto - fundada em 1922, localizada na porção nordeste da área pesquisada. Tem sua área urbana situada no limite com o Distrito Federal, com uma população urbana de 56.721 habitantes em 2010. Por pertencer a RIDE do DF, sua sede vem recebendo investimentos do Governo Federal para o desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida. Sua área urbana em 1989 era de 15,85 km² e, em 2010, de 17,60 km², marcado principalmente por um adensamento (Figura 21).

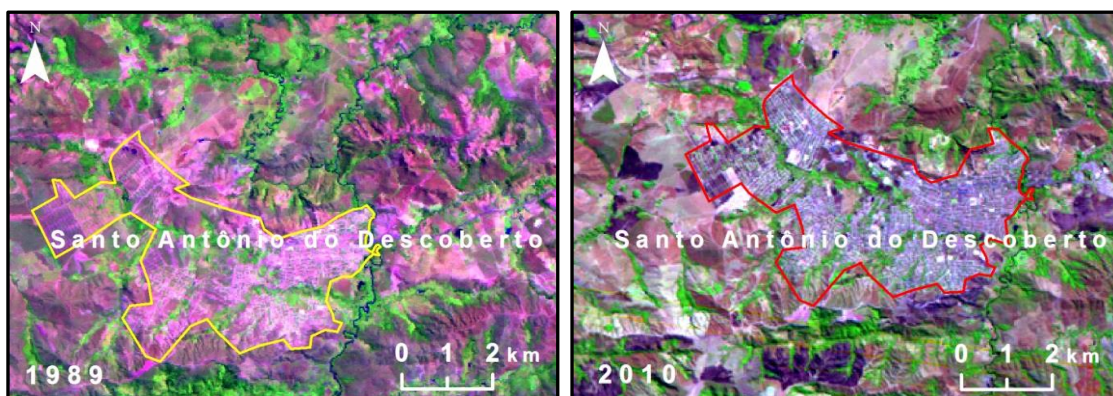


Figura 21 - Perímetro urbano de Santo Antônio do Descoberto - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Senador Canedo – fundada em 1988, localizada no centro goiano, na porção sudoeste da área pesquisada. Assim como Goianira e Trindade –, em 1989 já exibia bairros distantes do centro da cidade, além de uma conurbação com a cidade de Goiânia, com uma área urbana de 6,46 km². Em 2010, já conformava com diversos bairros na divisa municipal de Goiânia, com área urbana ampliada em mais de 4 vezes, com 33,74 km² (Figura 22).

Este município teve um crescimento populacional muito grande nas últimas décadas, graças aos investimentos do polo petroquímico ali instalado, estando entre os que mais arrecadam ICMS no estado de Goiás. Em 2011, por exemplo, foi responsável pelo montante de R\$1.498.508,00 (BDE-Goiás) de arrecadação desse imposto.

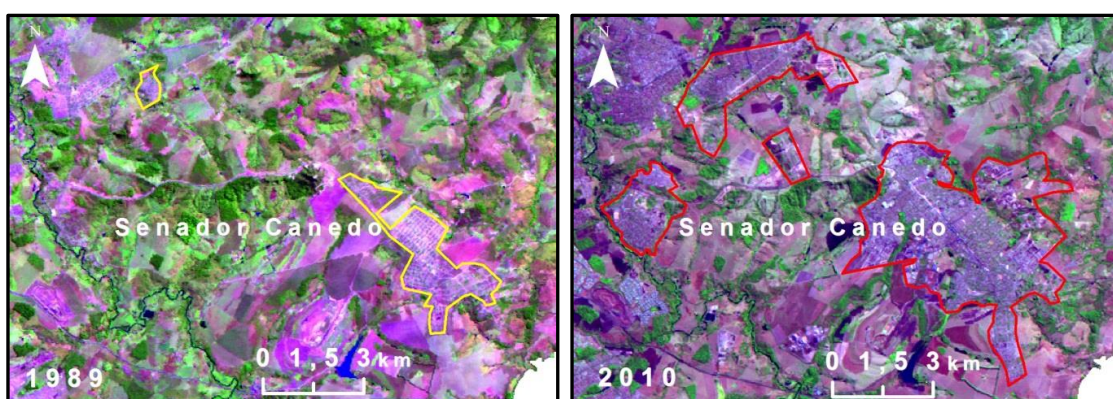


Figura 22 - Perímetro urbano de Senador Canedo - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

O município de Terezópolis de Goiás - fundado em 1992, localizado no centro goiano, a sudoeste da área pesquisada, possui uma área total de 106,97 km². É beneficiado com o

“ICMS Ecológico”¹⁹ por seu território estar totalmente compreendido na Área de Proteção Ambiental (APA) João Leite, e por abrigar a maior parte da represa e das nascentes da bacia do ribeirão João Leite. Por esta condição peculiar (i.e., a de um município inserido numa APA), os produtores rurais e agropecuaristas fazem uso de sistemas orgânicos de produção, de modo a não degradar o meio ambiente com poluentes. A figura 23 mostra a evolução de sua área urbana nas últimas duas décadas, a qual, em 1989, era de 1,07 km² e, em 2010, de 1,80 km².

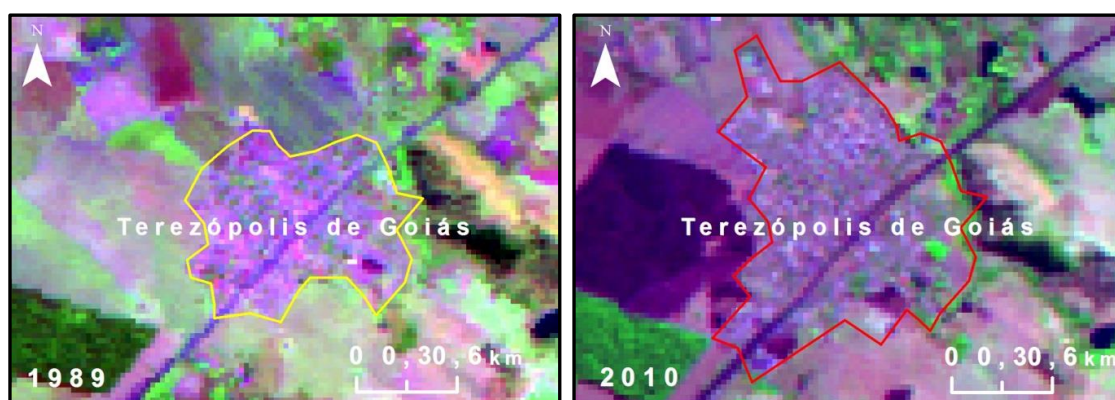


Figura 23 - Perímetro urbano de Terezópolis de Goiás - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM.

Trindade – fundada em 1943, localizado no centro goiano, a sudoeste da área pesquisada. Já apresentava processo de conurbação com a cidade de Goiânia em 1989, com bairros mais distantes do perímetro central. No período analisado, houve grande adensamento, tanto nos bairros conurbados quanto em seu perímetro central, conforme demonstra a figura 24. A área urbana de Trindade, que em 1989 era de 18,91 km², ampliou-se para 45,93 km² em 2010.

¹⁹ Também conhecido como ICMS Verde, implantado pela Lei Complementar nº 90, de 22/12/2011, o ICMS Ecológico “contempla os municípios que abrigam em seus territórios unidades de conservação ambiental, ou que são diretamente por elas influenciados ou, ainda, aqueles possuidores de mananciais para o abastecimento público”, GOIÁS (2011_c). Para esses municípios são repassados até 5% do ICMS arrecadado.

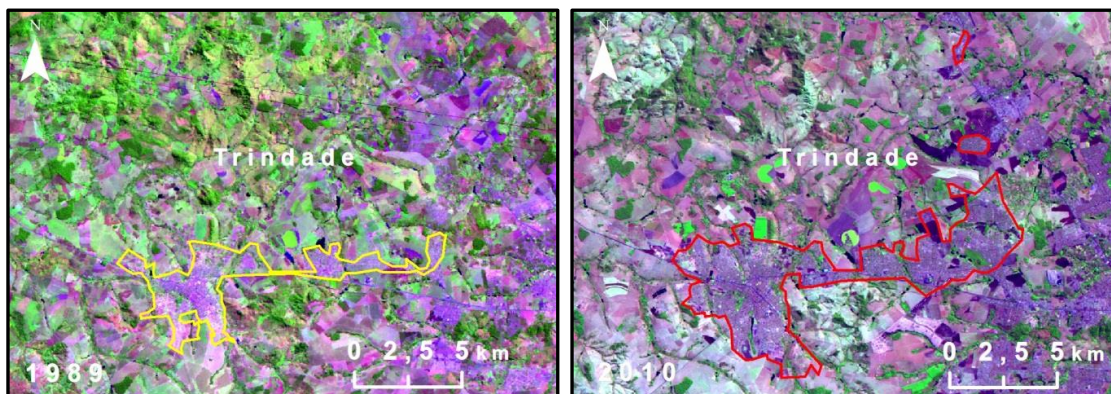


Figura 24 - Perímetro urbano de Trindade - GO, em 1989 e 2010, com base em cenas Landsat 5 - TM

4.3.2 População no eixo Goiânia-Brasília

As características da população urbana da área de estudo foram analisadas a partir das informações dos censos realizados nos anos de 1991, 2000 e 2010 pelo IBGE, bem como pelos dados de área urbana dos municípios, aqui empregados como parâmetros para as análises da dinâmica populacional urbana no eixo Goiânia-Brasília (Tabela 1).

Tabela 1 - População urbana dos censos IBGE de 1991, 2000 e 2010 do eixo Goiânia-Brasília.

Município	População Urbana (hab.)		
	1991	2000	2010
Abadia de Goiás	-	3.096	5.081
Abadiania	5.141	7.206	10.778
Alexania	9.500	15.935	19.676
Anápolis	226.925	280.164	328.755
Aparecida de Goiânia	175.555	335.547	455.193
Distrito Federal	1.513.470	1.954.442	2.482.210
Goianápolis	8.594	9.805	9.691
Goiania	913.485	1.085.806	1.297.076
Goianira	10.135	18.064	33.451
Nerópolis	11.306	17.253	23.229
Santo Antonio de Goiás	-	2.564	4.271
Santo Antonio do Descoberto	28.606	48.398	56.808
Senador Canedo	8.753	50.442	84.111
Terezópolis de Goiás	-	3.616	5.677
Trindade	48.927	78.199	100.106

Fonte: BDE - Goiás (população dos municípios goianos) e IBGE/SIDRA (população do Distrito Federal).

A ausência de informações sobre a população nos municípios de Abadiânia, Terezópolis de Goiás e Santo Antônio de Goiás no Censo de 1991 é decorrente da emancipação destes municípios em 1995, 1992 e 1993, respectivamente.

Estudo da Organização das Nações Unidas - ONU (2012) revela que o crescimento demográfico e a urbanização das cidades da América Latina e Caribe foram muito acelerados nas últimas décadas do século XX, mas que atualmente tem perdido força, com tendência de evolução demográfica próxima ao limite do crescimento natural; mas ainda são as regiões mais urbanizadas do mundo, com 80% da população vivendo nas cidades.

No Brasil, Alves e Cavenaghi (2012) descrevem que:

A população urbana passou de 19 milhões, em 1950, para 161 milhões, em 2010 (de 36% para 84%). As regiões Norte e Centro-Oeste são as que mais crescem. A transição urbana foi acompanhada pela concentração da população nos municípios com mais de 100 mil habitantes, com o crescimento das cidades médias no interior aumentando a participação em relação às cidades litorâneas do país.

A taxa de crescimento populacional indica o ritmo de crescimento de uma população, sendo representada pela média anual da população residente, obtida em uma determinada região e para um considerado período. Nesta pesquisa, a base desta análise é a dos dados já apresentados pelos censos demográficos dos anos de 1991, 2000 e 2010, com o objetivo de obter as variações do crescimento urbano populacional, conforme tabela 2 e figura 25.

Pela simplicidade da análise, foi adotado o cálculo da taxa de crescimento urbano da população pelo método geométrico, conforme Equação 1.

$$r = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P_t}{P_0}} \right) - 1 \right] \times 100$$

(Equação 1)

Onde:

- (r)** = taxa de crescimento urbano
- (P_t)** = população urbana final
- (P₀)** = população urbana inicial
- (n)** = número de anos no período

Tabela 2 - Taxa de crescimento urbano médio da população no Eixo Goiânia-Brasília.

Localidade	Taxa média de crescimento geométrico da população urbana (%)	
	1991/2000	2000/2010
Abadia de Goiás*	-	5,08
Abadiânia	3,82	4,11
Alexânia	5,92	2,13
Anápolis	2,37	1,61
Aparecida de Goiânia	7,46	3,10
Distrito Federal	2,88	2,42
Goianápolis	1,48	-0,12
Goiânia	1,94	1,79
Goianira	6,63	6,36
Nerópolis	4,81	3,02
Santo Antônio de Goiás*	-	5,24
Santo Antônio do Descoberto	6,02	1,62
Senador Canedo	21,48	5,25
Terezópolis de Goiás*	-	4,61
Trindade	5,35	2,50

* Municípios que emanciparam após 1991.

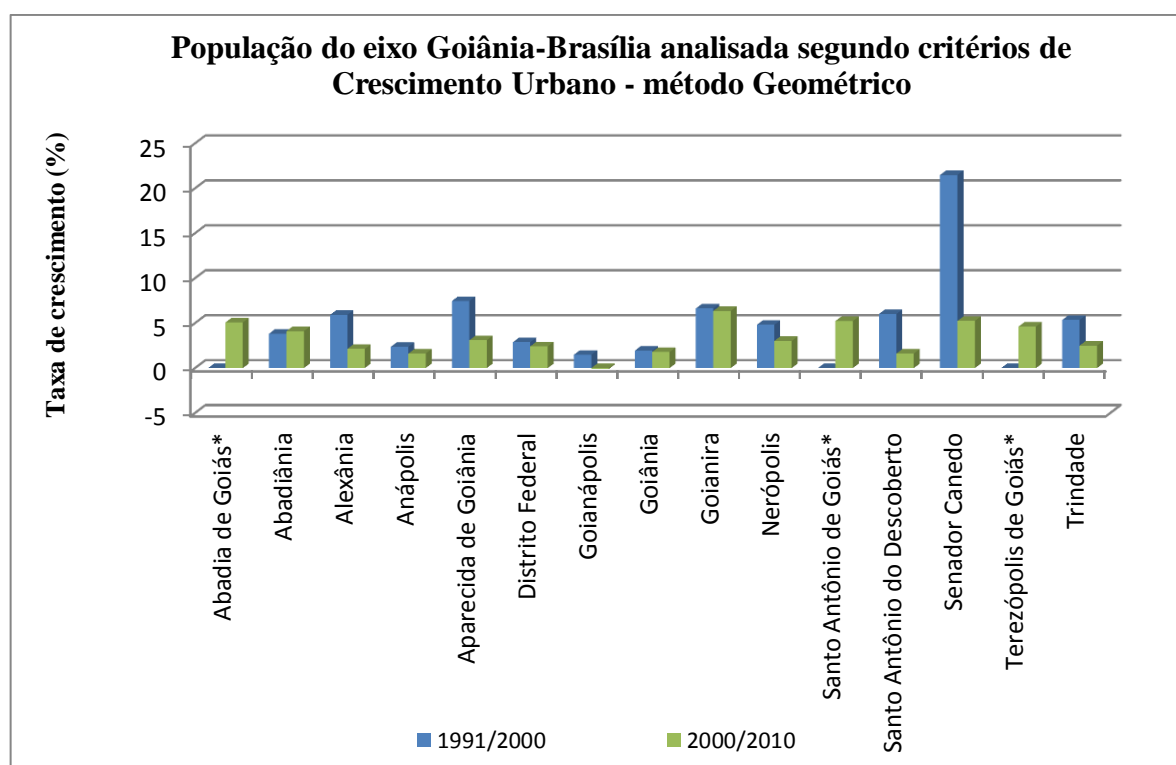


Figura 25 - Taxa de crescimento urbano médio da população no Eixo Goiânia-Brasília, analisada segundo o método geométrico.

* município emancipado após 1991.

Em síntese, o que se percebe com estas observações é que o crescimento urbano na maioria dos municípios da área de pesquisa está em ritmo de desaceleração, e acompanha o declínio ocorrido a partir da década de 1970, após a explosão demográfica registrado no país nas décadas de 1950 e 1960 (ALVES; CAVENAGHI, 2012).

Estes autores afirmam que a transição demográfica é um dos mais importantes fenômenos sociais no país, tendo como explicação desse fenômeno a mudança do padrão reprodutivo no Brasil (famílias com poucos filhos), na transição da fecundidade (queda nas taxas de fecundidade) e na mudança na estrutura etária, tendendo a um país de população mais envelhecida e, conseqüentemente, com queda das taxas de mortalidade e aumento da expectativa de vida, principalmente após a segunda metade da década de 1980.

Nesta pesquisa, o intuito de observar a população do eixo Goiânia-Brasília é voltado para a obtenção de uma taxa média única para representar o crescimento urbano de cada município no período analisado, a fim de representar a variável população na modelagem de dados dos cenários urbanos futuros para a área de estudo, representada pela taxa única normalizada. A normalização de taxas é calculada por base no maior valor encontrado, considerando-o em 100%, e os valores intermediários são calculados por regra de três a partir do maior valor.

A normalização foi realizada pelos resultados das taxas de crescimento médio geométrico do ano 2000/2010, sendo que nesse período foi observado o maior valor encontrado na localidade de Goianira “6,36%”, sendo esse atribuído a taxa normalizada para o crescimento médio geométrico igual a 100%. As demais taxas foram normalizadas por regra de três (Tabela 3).

Tabela 3 – Normalização de taxas do crescimento médio geométrico da população 2000/2010.

Localidade	Taxa média normalizada - 2000/2010 (%)
Abadia de Goiás	79,91
Abadiânia	64,64
Alexânia	33,53
Anápolis	25,37
Aparecida de Goiânia	48,72
Distrito Federal	38,07
Goianápolis	-1,84
Goiânia	28,22
Goianira	100,00
Nerópolis	47,50
Santo Antônio de Goiás	82,37
Santo Antônio do Descoberto	25,41
Senador Canedo	82,55
Terezópolis de Goiás	72,60
Trindade	39,34

Para representar a “população urbana” na modelagem de dados de cenários urbanos futuros, foi construído um *layer* a partir dos polígonos urbanos (vetorizados a partir das imagens Landsat 5 TM, do ano de 2010), delimitados nas imagens de satélite, e neles inseridas as informações das taxas médias normalizadas resultantes do método de crescimento geométrico do período de 2000/2010.

4.3.3 PIB

O Produto Interno Bruto:

O PIB é um dos indicadores mais utilizados na economia com o objetivo de mensurar a atividade econômica de uma região ou país. O PIB representa a soma, em valores monetários, de todos os bens e serviços finais produzidos em uma determinada região, sejam países, estados e cidades, durante um período determinado. (AOUN, 2008).

O PIB per capita é o indicador que tem sido convencionalmente utilizado para medir o grau de desenvolvimento de um país, obtido a partir da divisão do fluxo de produção anual pelo total da população (VIEIRA; ALBERT; BAGOLIN, 2007).

Segundo Gordon (2000), *o PIB nominal é a quantidade total de produto do período medido através dos preços que estiverem em vigor no mercado (preços correntes).*

Segundo Vasconcellos e Garcia (2009) PIB real é o PIB medido a preços constantes de um dado ano qualquer, chamado ano-base. Os preços ficam fixados nesse ano, como se a inflação fosse zerada a partir de então.

No Brasil existem diferentes indicadores utilizados para o cálculo das taxas anuais de inflação. Na macroeconomia, o mais utilizado é o deflator implícito do PIB, que segundo Souza e Araújo, (2007), é o indicador que mede a variação média dos preços de um período em relação aos preços do ano anterior – média ponderada dos índices de variações de preços dos grandes setores da economia, utilizado nos cálculos da variação real dos agregados das contas nacionais (RAMBALDUCCI, 2008), representado pela Equação 2.

$$Deflator = \left(\frac{PIB\ nominal}{Pib\ real} \right) \times 100$$

(Equação 2)

O deflator utilizado nesta análise foi calculado pelos índices de inflação anual do IGP-DI - Índice Geral de Preços, do conceito da Disponibilidade Interna, que é um indicador disponibilizado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), considerado como 100% no ano base 2000, obtido no IPEADATA (Tabela 4).

Tabela 4 - Deflator do PIB pela taxa de inflação (IGP-DI) ano base 2000 = 100.

Ano	Índice de Inflação	Deflator
2000	9,81	100
2001	10,4	110,4
2002	26,41	139,56
2003	7,67	150,26
2004	12,14	168,5
2005	1,22	170,56
2006	3,79	177,02
2007	7,89	190,99
2008	9,1	205,37
2009	-1,43	205,39
2010	11,3	228,6

Fonte: IPEADATA (2000 a 2010). Base da FGV.

O PIB nominal per capita (a preços correntes) dos municípios do eixo Goiânia-Brasília nos anos de 2000 a 2010 foi decomposto do Deflator do PIB para obter o PIB per capita a preços constantes, corrigindo, assim a inflação do período (Tabela 5).

Tabela 5 - PIB per capita a preços correntes dos municípios do eixo Goiânia-Brasília nos anos de 2000 a 2010.

Município	Produto Interno Bruto per capita preços correntes										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Abadia de Goiás	2.377,88	2.419,88	3.134,07	3.462,36	3.657,68	3.854,38	4.169,52	5.192,89	5.685,10	6.186,56	7.537,30
Abadiânia	2.245,00	2.475,54	3.090,42	3.857,84	4.247,89	4.107,62	4.234,31	4.950,90	5.399,51	6.162,73	6.967,75
Alexânia	2.474,75	2.699,46	3.244,55	6.313,18	8.922,20	10.984,41	12.682,77	14.687,70	12.678,94	14.703,48	13.758,37
Anápolis	6.012,49	6.486,70	7.239,63	7.883,98	8.271,94	9.008,96	11.844,31	14.367,10	18.902,51	24.137,26	30.025,66
Aparecida de Goiânia	3.069,81	3.289,05	3.734,35	4.101,80	4.527,14	5.121,97	5.893,01	6.524,03	7.825,52	9.003,79	11.297,44
Distrito Federal	22.658,07	24.564,63	26.161,33	28.817,85	30.989,42	34.514,90	37.599,40	41.061,89	45.977,60	50.438,00	58.489,00
Goianópolis	2.346,93	2.387,85	2.556,79	2.741,59	2.900,11	3.005,95	3.294,82	4.253,00	4.562,32	5.148,43	6.326,36
Goiânia	7.185,83	7.567,52	8.864,02	9.257,90	10.468,83	11.257,98	13.027,11	14.337,99	15.375,47	16.677,59	18.777,09
Goianira	5.302,78	4.257,04	4.849,06	6.390,88	5.828,19	5.723,45	6.412,56	7.130,19	6.577,65	7.182,64	7.452,54
Nerópolis	6.204,38	6.039,08	7.412,85	8.279,58	9.270,23	9.676,18	11.349,40	13.320,70	13.701,88	16.693,80	14.881,87
Santo Antônio de Goiás	2.677,75	3.080,55	3.625,64	4.357,83	4.722,41	4.820,70	5.657,43	6.643,15	8.101,50	8.903,64	9.227,68
Santo Antônio do Descoberto	1.608,53	1.722,82	1.736,93	1.871,37	2.097,01	2.211,42	2.239,28	3.281,67	3.637,79	3.993,16	4.446,34
Senador Canedo	10.147,67	13.915,76	19.467,00	21.890,87	21.480,46	21.359,28	24.820,51	28.860,85	30.603,14	34.321,43	37.780,24
Terezópolis de Goiás	2.184,66	2.397,00	3.432,97	3.375,29	3.669,92	4.266,80	5.299,61	6.449,78	6.941,41	7.938,29	8.836,44
Trindade	3.306,83	3.274,41	3.628,00	3.969,63	4.090,42	4.325,20	5.062,07	5.953,16	6.274,32	7.238,56	8.434,26

Fonte: BDE-Goiás (PIB per capita dos municípios goianos), Sidra/IBGE (PIB Distrito Federal).

Com base nos valores do PIB per capita a preços constantes foi calculada a taxa de crescimento do PIB per capita pelo método geométrico, com o objetivo de obter uma taxa média de crescimento anual do PIB municipal a ser estimada na modelagem de dados dos cenários futuros urbanos proposto pela Equação 3:

$$r = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P_t}{P_0}} \right) - 1 \right] \times 100$$

(Equação 3)

Onde:

(r) = taxa de crescimento do PIB per capita

(Pt) = PIB final

(P0) = PIB inicial

(n) = número de anos no período

Os resultados dos cálculos da taxa de crescimento geométrico do PIB per capita a preços constantes dos municípios da área em pesquisa estão demonstrados na tabela 6.

Tabela 6 - Taxa de crescimento médio do PIB per capita a preços constantes entre os anos 2000 a 2010.

Município	Taxa Geométrica de Crescimento Deflacionada Anual (%)									
	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010
Abadia de Goiás	-7,82	2,45	2,61	-5,79	4,10	4,23	15,43	0,35	10,40	9,46
Abadiânia	-0,12	-1,25	15,94	-1,81	-4,47	-0,68	8,37	-0,04	15,79	1,58
Alexânia	-1,20	-4,92	80,72	26,03	21,63	11,25	7,34	-20,88	17,65	-15,93
Anápolis	-2,28	-11,71	1,15	-6,44	7,59	26,67	12,43	20,59	29,55	11,77
Aparecida de Goiânia	-2,95	-10,18	2,02	-1,58	11,77	10,85	2,61	9,94	16,73	12,73
Distrito Federal	-1,80	-15,75	2,31	-4,11	10,03	4,96	1,22	2,63	11,29	4,19
Goianápolis	-7,84	-15,30	-0,41	-5,67	2,40	5,61	19,64	-1,67	14,48	10,40
Goiânia	-4,61	-7,34	-2,99	0,84	6,24	11,49	2,01	-1,71	10,04	1,16
Goianira	-27,28	-9,89	22,41	-18,68	-2,98	7,95	3,06	-15,44	10,78	-6,78
Nerópolis	-11,83	-2,90	3,74	-0,16	3,12	13,01	8,78	-5,72	23,60	-19,91
Santo Antônio de Goiás	4,21	-6,90	11,64	-3,36	0,85	13,07	8,83	11,78	11,50	-6,88
Santo Antônio do Descoberto	-2,98	-20,25	0,07	-0,07	4,18	-2,44	35,83	1,61	11,36	0,04
Senador Canedo	24,21	10,66	4,44	-12,50	-1,77	11,96	7,77	-2,81	13,78	-1,10
Terezópolis de Goiás	-0,62	13,29	-8,68	-3,04	14,86	19,67	12,80	-1,35	16,02	0,01
Trindade	-10,31	-12,35	1,62	-8,11	4,46	12,77	9,00	-3,40	17,04	4,69

Foram realizadas médias ponderadas das taxas de crescimento da população urbana do período de 2000 a 2010, para obtenção de uma taxa única de cada localidade, e por fim, a partir dessas obtiveram taxas médias deflacionadas normalizadas de cada localidade (Tabela 7).

Tabela 7 – Média Ponderada e Normalização das taxas médias de crescimento do PIB per capita deflacionado dos municípios do eixo Goiânia-Brasília (2000 a 2010).

Município	Média ponderada das taxas anuais geométricas de crescimento deflacionada (%)	Taxa média deflacionada normalizada (%)
Abadia de Goiás	3,54	29,11
Abadiânia	3,33	27,39
Alexânia	12,17	100,00
Anápolis	8,93	73,40
Aparecida de Goiânia	5,19	42,69
Distrito Federal	1,50	12,31
Goianápolis	2,16	17,79
Goiânia	1,51	12,43
Goianira	-3,69	-30,29
Nerópolis	1,17	9,65
Santo Antônio de Goiás	4,47	36,76
Santo Antônio do Descoberto	2,74	22,48
Senador Canedo	5,47	44,92
Terezópolis de Goiás	6,30	51,74
Trindade	1,54	12,67

Para representar o PIB per capita na modelagem de cenários urbanos futuros, foi construído um *layer* (mapa) com base nos polígonos das áreas urbanas (obtidos com a interpretação de imagens Landsat 5 – TM do ano de 2010), com informações das taxas médias deflacionadas normalizadas.

4.3.4 IDH

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um indicador utilizado pela Organização das Nações Unidas – ONU para mensurar a qualidade de vida de uma população. Segun-

do o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, o IDH avalia o desenvolvimento de uma população pelos critérios de saúde, educação e renda da seguinte maneira:

O IDH é uma medida resumida para avaliar o progresso a longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: uma vida longa e saudável, acesso ao conhecimento e um padrão decente de vida. Como no IDH 2010 uma vida longa e saudável é medida pela expectativa de vida, o acesso ao conhecimento é medido por: i) média de anos de educação de adultos, que é o número médio de anos de educação recebidos durante a vida por pessoas a partir de 25 anos; e ii) a expectativa de anos de escolaridade para crianças na idade de iniciar a vida escolar, que é o número total de anos de escolaridade que um criança na idade de iniciar a vida escolar pode esperar receber se os padrões prevalecentes de taxas de matrículas específicas por idade permanecerem os mesmos durante a vida da criança. O padrão de vida é medido pela Renda Nacional Bruta (RNB) per capita expressa em PPP\$ 2005 constante (PNUD, 2011).

O IDH-M é elaborado com base na média aritmética dos índices do IDH-E (educação - alfabetização e taxa de frequência escolar), IDH-L (longevidade) e IDH-R (renda).

Estes índices variam de 0 (zero) a 1 (um), sendo que ao aproximar-se de 1, maior é o desenvolvimento local. Para melhor observar o comportamento do desenvolvimento humano entre os municípios estudados, os índices foram organizados em classes, sendo: Elevado (0,800 ou superior), Médio (0,500 – 0,799) e Baixo (0,500 ou menor).

Até maio de 2013, não havia sido divulgado o IDH Municipal de 2010; por isso, o IDH utilizado na variável “atratividade humana” no modelo de cenários urbanos representada pelos valores do IDH municipal divulgado pelo PNUD para o ano de 2000, sendo necessária a normalização das taxas para representação da variável IDH, na modelagem de dados (Tabela 8).

A normalização foi realizada considerando o maior valor encontrado no Distrito Federal com IDH equivalente a uma taxa de 0,935 sendo esse atribuído a taxa normalizada para o crescimento médio geométrico igual a 100%. As demais taxas foram normalizadas por regra de três (Tabela8).

Tabela 8 - IDH Municipal do eixo Goiânia-Brasília para o ano de 2000.

Município	IDH - Municipal (2000)	Taxa normalizada (%)
Abadia de Goiás	0,854	91,34
Abadiânia	0,797	85,24
Alexânia	0,796	85,13
Anápolis	0,889	95,08
Aparecida de Goiânia	0,88	94,12
Distrito Federal	0,935	100,00
Goianápolis	0,785	83,96
Goiânia	0,933	99,79
Goianira	0,844	90,27
Nerópolis	0,837	89,52
Santo Antônio de Goiás	0,842	90,05
Santo Antônio do Descoberto	0,824	88,13
Senador Canedo	0,81	86,63
Terezópolis de Goiás	0,86	91,98
Trindade	0,788	84,28

Fonte: IDH Municipal - BDE-Goiás - Sepin/Ipeadata.

Para representação da variável IDH na modelagem de dados, foi construído um *layer* a partir dos polígonos urbanos (obtidos com a interpretação de imagens Landsat 5 – TM do ano de 2010).

4.3.5 Rede hidrográfica

Goiás é considerado como um território rico em cursos d'água (GOIÁS, 2003b), por onde afluem rios formadores de importantes regiões hidrográficas brasileiras. A hidrografia da área pesquisada (Figura 26) encontra-se no complexo hidrográfico das bacias do Paraná, Tocantins e São Francisco.

As principais drenagens são os rios Meia Pointe e João Leite (ambos principais fontes de abastecimento público da região metropolitana de Goiânia), Piancó (abastecimento público de Anápolis), Cachoeira (abastecimento público de Alexânia) e, ainda, o Descoberto, Torto, Santa Maria, Sobradinho, Planaltina, Brasilândia e São Sebastião, que abastecem o Distrito Federal.

A hidrografia da região de pesquisa foi recortada para construção do mapa que representa a variável “distância da hidrografia” no modelo de cenários futuros.

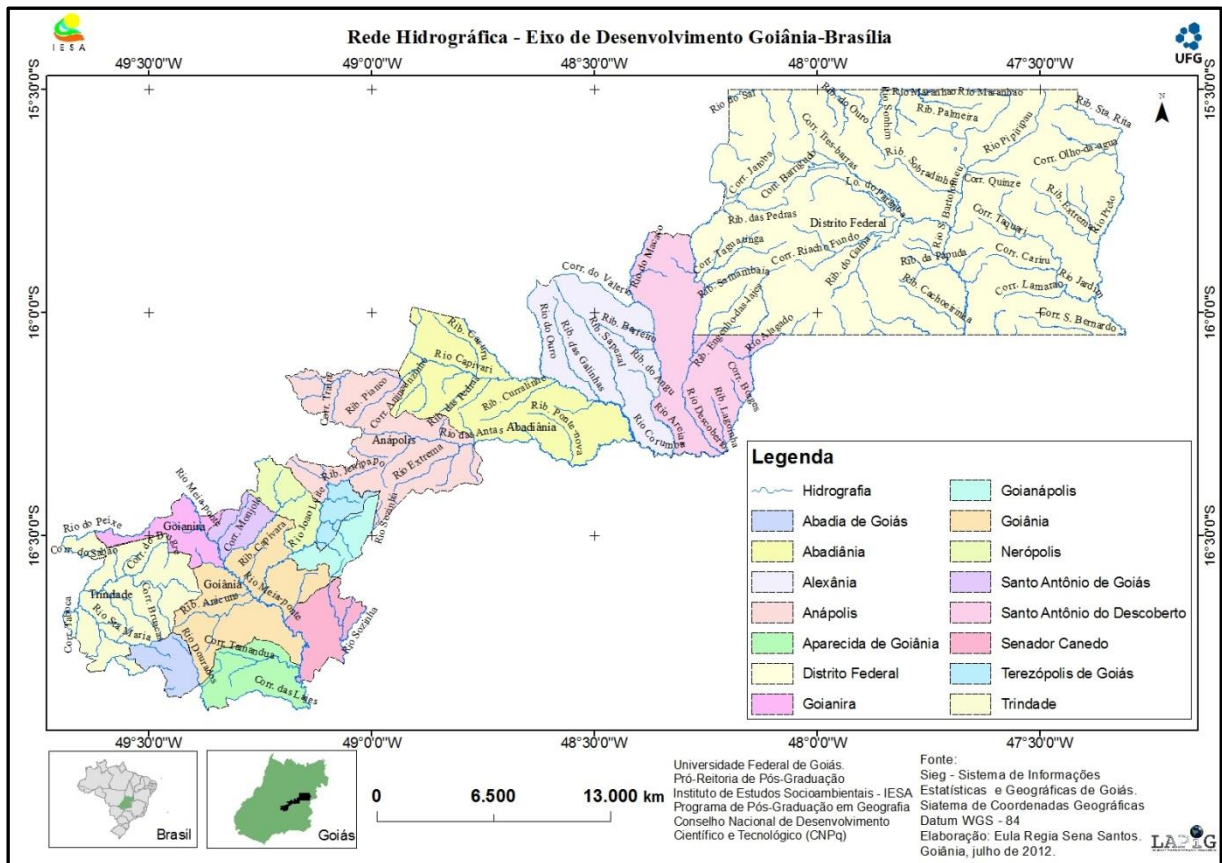


Figura 26 – Rede Hidrográfica da área de pesquisa.

4.3.6 Malha viária

A malha viária da área de pesquisa (Figura 27) conecta a diversas regiões. A BR 060 é uma rodovia federal que funciona como via de integração nacional, interligando Distrito Federal, Goiás e Mato Grosso do Sul, por onde escoam as produções de grãos da Região Centro-Oeste, bem como cenário da expansão cana-de-açúcar para produção de etanol no Brasil, além da produção de algodão, pecuária bovina, têxtil, dentre outras.

A integração econômica do Centro-Oeste brasileiro se deu na medida em que a implantação de redes de infra-estrutura de transporte foi sendo implantada, dando condição para o desenvolvimento das duas capitais. O conjunto de rodovias radiais, que partem da capital federal para as demais regiões do país, a exemplo da BR-040, BR-020 e BR-060, somado às rodovias que interligaram Goiânia ao Norte e ao Sul do estado, permitiram melhores condições para circulação do produto econômico, fato decisivo para a integração do Centro-Oeste ao Centro-Sul brasileiro (ARRAIS; PINTO, 2008).

Esta região também se destaca por pertencer à área de expansão do setor ferroviário, que tem como parte de seus projetos a expansão da ferrovia Norte-Sul, que interligará os estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul, por onde escoará grande parte da produção brasileira, principalmente de grãos. Essa ferrovia in-

terligará hidrovias, ferrovias e rodovias, podendo alavancar a economia do país, sobretudo com o aumento das exportações e redução dos custos com transporte.

A ferrovia Centro-Atlântica teve sua origem na antiga Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA). Hoje transporta cargas de gasolina, óleo diesel, álcool hidratado, óleo combustível para caldeiras, além de trigo, granito, mármore e minério de ferro (GOIÁS, 2003). Inclusive, já está em andamento o estudo que apontará à viabilidade de implantação de um trem de média-alta velocidade, para transporte de passageiros e cargas, interligando Brasília-Anápolis-Goiânia (BRASIL, 2012).

O oleoduto São Paulo-Brasília (Osbra) sai da refinaria de Paulínia (SP) e segue até o terminal da Braspetro, em Senador Canedo (GO), transportando óleo diesel, gasolina e gás liquefeito de petróleo (GLP).

Neste contexto, a malha viária da região pesquisada foi recortada para a construção do mapa de malha viária, representando a variável “distância à malha viária” no modelo de cenários futuros.

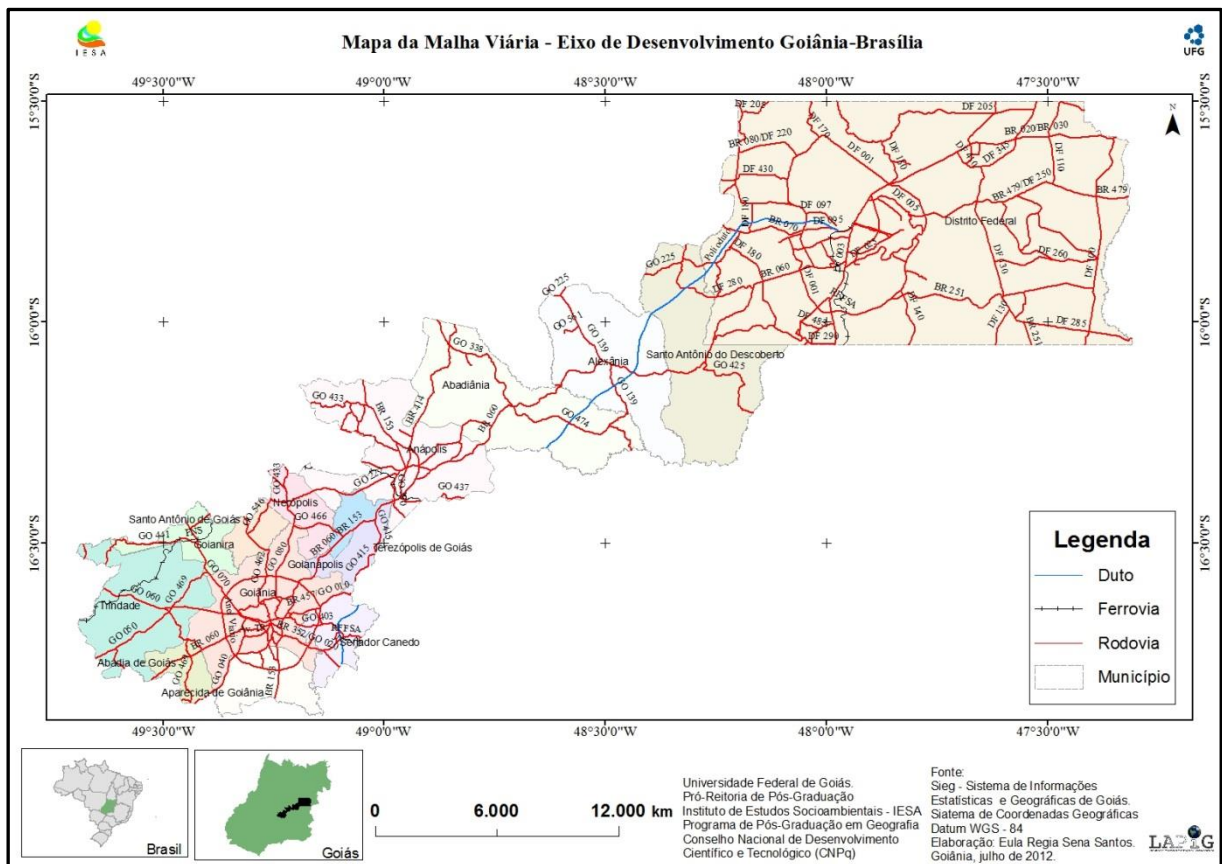


Figura 27- Malha Viária da área de pesquisa.

4.3.7 Declividade da região

Define-se a declividade como o grau de inclinação do relevo, sendo determinada pelo distanciamento entre as curvas de nível de diferentes cotas de altitudes.

Os valores para declividade podem variar de 0° a 90°, ou ainda, podendo ser expressa em porcentagem, variando de 0% a infinito. A declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial (VALERIANO, 2008).

Embrapa (BRASIL, 2006) classifica o relevo conforme as condições de declividade, conforme a tabela 9.

Tabela 9 - Classificação do relevo segundo sua declividade.

Faixa de declividade (%)	Classe
0 a 3	Plano
3 a 8	Suave Ondulado
8 a 20	Ondulado
20 a 45	Forte Ondulado
45 a 75	Montanhoso
Acima de 75	Escarpado

O mapa de declividade da região (Figura 28) foi produzido com os dados do projeto TOPODATA (INPE), originado do projeto SRTM (90 m de resolução espacial), agora com 30 m de resolução espacial (equivalente ao tamanho do pixel).

Grande parte dos relevos da área de estudo encontra-se em regiões de baixa declividade, entre 0 e 8%, como em Goiânia, Aparecida de Goiânia, Trindade e parte do Distrito Federal. As médias declividades, alternando para altas, com valores entre 8% e 20%, estão localizadas principalmente nos municípios de Alexânia, Abadiânia, Santo Antônio do Descoberto e parte do Distrito Federal. Em Anápolis predomina a média declividade. No Distrito Federal, por possuir uma geomorfologia mais complexa, o relevo varia de plano a muito acidentado, com declividades alcançando até 100%.

O *layer* declividade, utilizado no modelo de cenários futuros, foi construído utilizando a classificação de Valeriano (2008), adaptando as duas últimas classes.

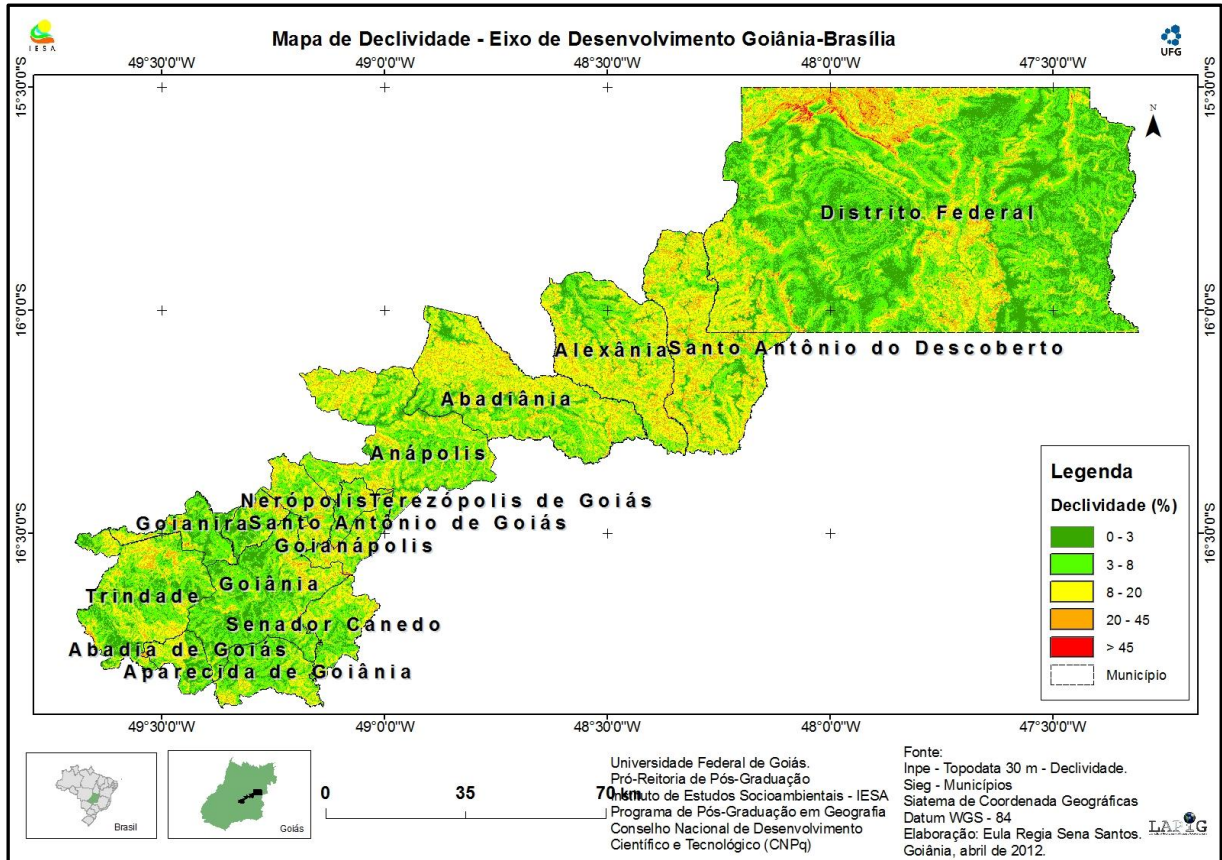


Figura 28 - Declividade da área de pesquisa.

4.3.8 Unidades de Conservação – UC

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, instituído pela Lei 9.985/2000 (BRASIL, 2000), é constituído pelas esferas do governo federal, estadual e municipal. De acordo com o Art. 4º desta Lei, o SNUC tem por objetivos:

- Contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais;
- Proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional;
- Contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais;
- Promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais;
- Promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento;
- Proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica;
- Proteger as características de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, paleontológica e cultural;
- Proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos;

- Recuperar ou restaurar ecossistemas degradados;
- Proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental;
- Valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica;
- Favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico;
- Proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente.

O SNUC estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação – UC. As UC têm por objetivo conservar a biodiversidade e manter o equilíbrio ecológico de áreas naturais relevantes, com o mínimo de impacto. São organizadas em dois grupos – Proteção Integral e Uso Sustentável.

UC de Proteção Integral priorizam a preservação da natureza, sem as alterações de uso antrópico, sendo permitido apenas o uso indireto de seus recursos naturais. Neste grupo estão as estações ecológicas, reservas biológicas, parques (nacional, estadual, municipal), monumento natural e refúgio de vida silvestre.

Já as UC de Uso Sustentável também priorizam a manutenção da biodiversidade, porém admitem manejo sustentável de baixo impacto, existindo em meio a territórios de populações tradicionais, até mesmo em áreas de intensa urbanização. Neste grupo estão as Áreas de Proteção Ambiental – APA, Área de Relevante Interesse Ecológico – ARIE, Florestas (nacional, estadual e municipal), Reserva Extrativista - RESEX, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN.

Nesta pesquisa, as UC de Uso Sustentável não serão incluídas, sendo mais relevantes as UC de Proteção Integral (Figura 25), cujo *layer* é utilizado para recortar cenários urbanos futuros gerados nas áreas correspondentes à proteção integral.

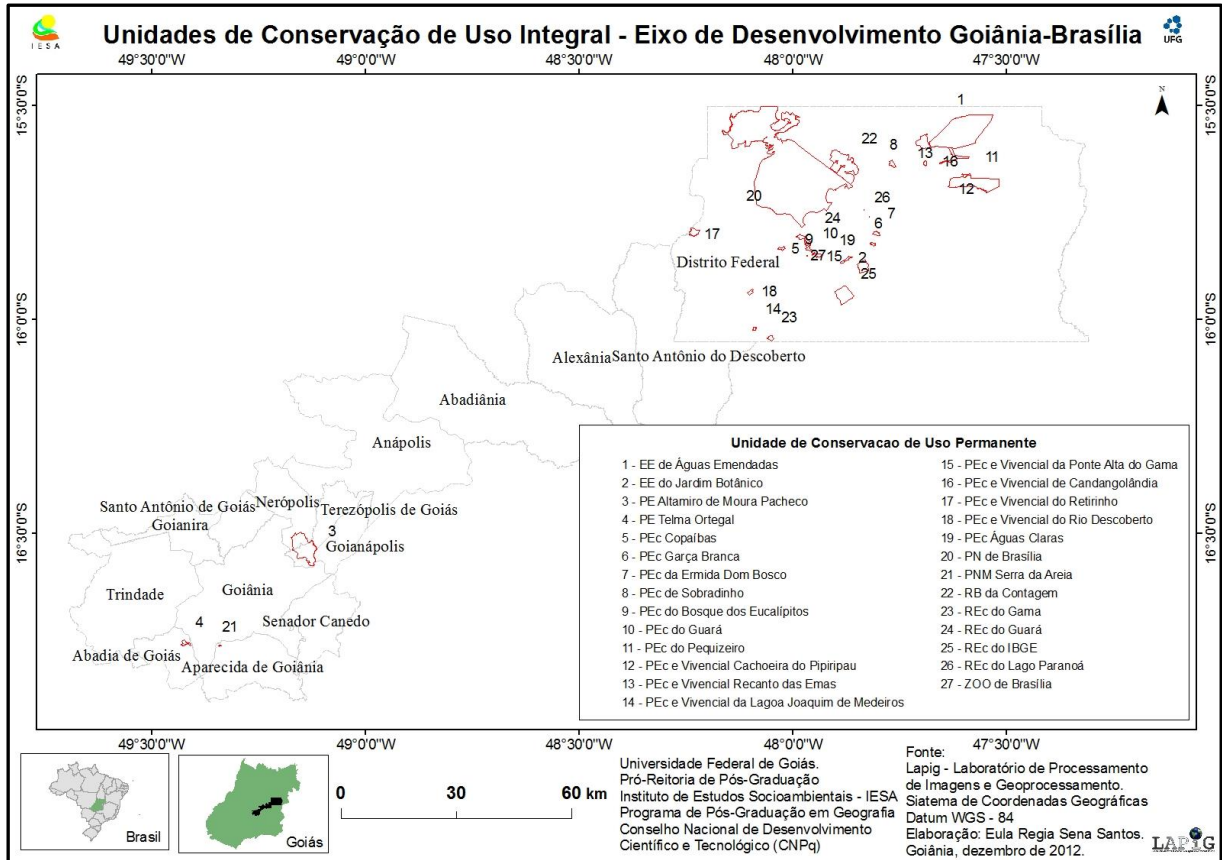


Figura 29 - Mapa das Unidades de Conservação Permanente da área de pesquisa.

Para uma melhor visualização, este mapa também é disponibilizado no Apêndice, em tamanho ampliado.

4.3.9 Conversão de estrutura vetorial para matricial

As variáveis para a modelagem de cenários futuros no eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília precisam estar na estrutura matricial (*raster*), para importação no *software* de simulação de cenários DINÂMICA EGO. Após serem construídos, os *layers* correspondentes às variáveis para a modelagem de dados (perímetro urbano 1989 e 2010, hidrografia, malha viária, declividade, UCs de uso permanente, limite municipal, e os *layers* dos polígonos com informações de população urbana, PIB e IDH, foram convertidos para a estrutura matricial, utilizando os seguintes parâmetros:

- Limites da área de estudo (coordenadas planas, em metros): canto inferior esquerdo (8130872,74m N; 5139182,37m E) e canto superior direito (8283704,98m N; 5395188,96m E);
- Sistema de projeção Policônica (essa projeção foi adotada pelo fato da área de estudo está compreendida entre dois fusos UTM, com mais de 30' de sobreposição)

- Datum WGS 1984;
- Resolução das células: 30 x 30 metros;
- Número de linhas: 5094 (adotado como padrão de referência a partir do número de linhas do shape da área de pesquisa);
- Número de colunas: 8534 (adotado como padrão de referência a partir do número de colunas do shape da área de pesquisa).

4.4 Modelagem de cenários futuros de áreas urbanas

Um modelo de dados “é uma coleção de conceitos que pode ser usado para descrever a estrutura de um banco de dados” (ELMASRI; NAVATHE, 2010). Modelagem de dados é o desenho de como os dados serão estruturados dentro de um sistema de gerenciamento de dados, de modo a permitir relacionamentos entre classes distintas. Segundo Borges, Davis Jr. e Laender (2005), “o modelo busca sistematizar o entendimento que é desenvolvido a respeito de objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado”.

A modelagem de dados tem como objetivo incluir a entrada de dados em uma estrutura, que possibilite manipular e relacionar informações de maneira tal, que permita obter a saída de novas informações em forma de tabelas, relatórios, mapas/gráficos (matrizes ou vetores).

Os sistemas gerenciadores de dados (SGD) e os sistemas gerenciadores de banco de dados (SGDB) são programas que permitem manipulação de informações dentro ou fora de bancos de dados.

Os sistemas de informações geográficas (SIG) são exemplos destes aplicativos que manipulam informações em banco de dados, possibilitando realizar operações e consultas em dados representantes de fenômenos do mundo real.

Além de dados convencionais tradicionalmente manipulados por bancos de dados comerciais, os SIG manipulam dois outros tipos de dados especiais necessários para se modelar o mundo real: os dados espaciais, que modelam a geometria, e os relacionamentos topológicos das entidades, associando as entidades à superfície terrestre. (CEREJA, 1996).

Os modelos de dados de informações com atributos espaciais são descritos na literatura como modelos orientados a objetos. “Em SIG, dois tipos básicos de modelos de dados são utilizados: o modelo de campos e o modelo de objetos” (CEREJA, 1996).

Câmara e Monteiro (2001) descrevem que um “geocampo representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região

geográfica, num dado tempo ‘t’”. Enquanto o “geobjeto é um elemento único, que possui atributos não espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas. A localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno”.

Assim, a expansão urbana pode ser modelada com base nos conceitos de modelagem de dados espaciais. Diversos são os trabalhos que pesquisam modelos aplicados à dinâmica urbana, os quais são voltados para auxílio ao planejamento e gestão de projetos urbanos, pois apontam para quais direções tende o crescimento das cidades e quais fatores influenciam na dinâmica da paisagem.

Soares-Filho *et al.* (2003) afirmam que os modelos espaciais de simulação reproduzem padrões espaciais de mudanças, e que hoje é requisito para o entendimento e avaliação de complexas questões ambientais em escala local, regional e global. O processo do sistema de modelação é conduzido por regras de transição que definem como os estados das células mudam de uma condição para outra, simultaneamente, em todas as iterações com o tempo.

As mudanças na paisagem podem ser monitoradas por modelos dinâmicos que simulam a dinâmica territorial por meio de Autômatos Celulares (AC), que são células contíguas ou adjacentes dispostas em mosaicos. Os modelos para cenários urbanos são aplicados em estudos que objetivam monitorar a expansão urbana para apoio ao planejamento e gestão territorial.

Os Autômatos Celulares são exemplos de sistemas que operam com estruturas complexas, cujas interações – variáveis, tempo e espaço – são definidas por regras simples que simulam situações complexas em previsão de eventos naturais, cujo comportamento traslada os sistemas vivos.

Neumann (1960), citado por Aguiar *et al.* (2012), desenvolveu o primeiro modelo de sistema complexo artificial, pois acreditava que nos AC encontraria o entendimento dos sistemas complexos da teoria geral da computação em redes complexas, baseado nos sistemas da natureza (AGUIAR *et al.*, 2012).

Os Autômatos Celulares colocam um conjunto de células (pixels) em interação, sendo cada uma delas um “computador” (autonomização). O estado de cada célula da matriz depende do estado prévio (tempo) das células vizinhas, de acordo com um conjunto de regras de transição (ROCHA; SOUSA; TENEDÓRIO, 2001).

Conforme Soares-Filho *et al.* (2002), “num modelo baseado em AC, o estado de cada célula em uma matriz depende de seu estado anterior e do estado de células dentro de uma vizinhança cartográfica definindo todas as células, sendo atualizadas simultaneamente em discretos passos de tempo”.

Pedrosa e Câmara (2004) descrevem que “um modelo é constituído de pelo menos três elementos: variáveis, relacionamentos e processos”. As variáveis são um conjunto de informações que explicam ou influenciam nas transformações do fenômeno estudado. Os relacionamentos são as associações que permitem ligações entre entidades do banco de dados. Os processos são habilidades para descrever atividades a fim de gerar informações de apoio à implementação de ações do modelo de dados.

As variáveis possibilitam a realização de análises dos fatores que mais influenciam na dinâmica do crescimento urbano. Estas variáveis consideram fatores econômicos e ambientais da região, os quais se configuram como parâmetros na implementação das regras de mudanças em estudos da dinâmica da paisagem, utilizados principalmente na construção de cenários futuros.

As variáveis dinâmicas (mapas dinâmicos) sofrem alteração a cada iteração no processamento de dados da modelagem, sendo assim, são atualizadas ano a ano, até findar a ação (definido pelo analista).

Variáveis estáticas (mapas estáticos) são representadas por fenômenos que não sofrem alterações mediante o processo de iteração proposto na modelagem de dados.

Para realização das modelagens de dados para simulação da dinâmica das transformações das paisagens, são utilizados programas específicos, cujos algoritmos produzem todo o processo de comportamento das dinâmicas simuladas.

Nesta pesquisa, a obtenção da dinâmica urbana com simulações de cenários futuros do eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília utiliza o *software* público DINÂMICA EGO, desenvolvido no Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Este *software* possui uma interface gráfica (Figura 30) para simulações de comportamento de fenômenos complexos em ambientes, utilizando objetos geoprocessáveis.

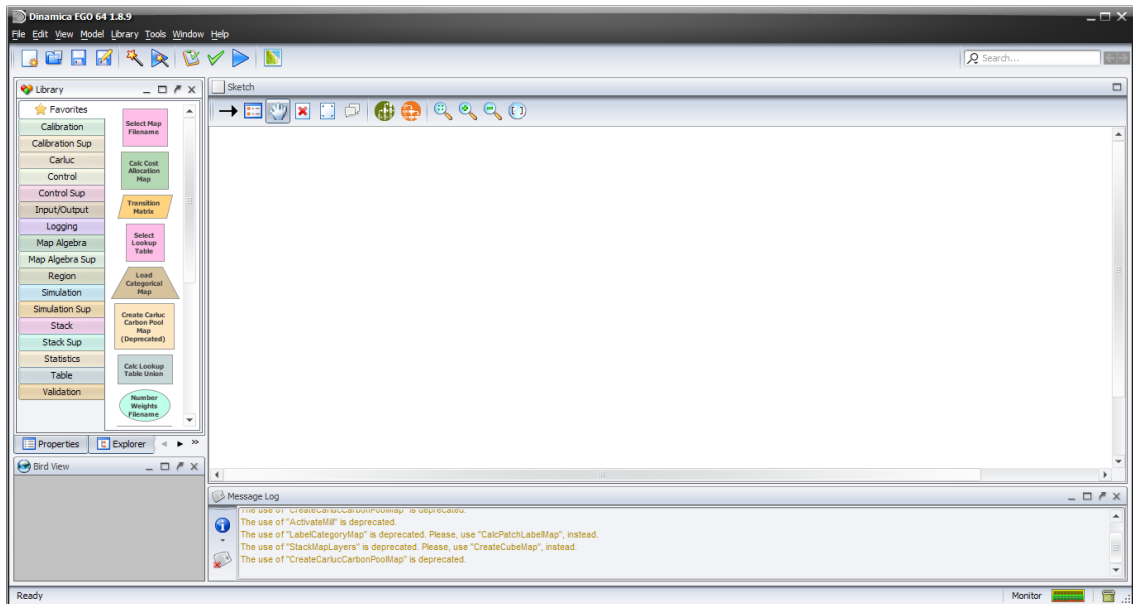


Figura 30 - Interface Gráfica do *software* DINAMICA EGO.

A figura 31 apresenta um fluxograma da arquitetura modelada no DINÂMICA EGO.

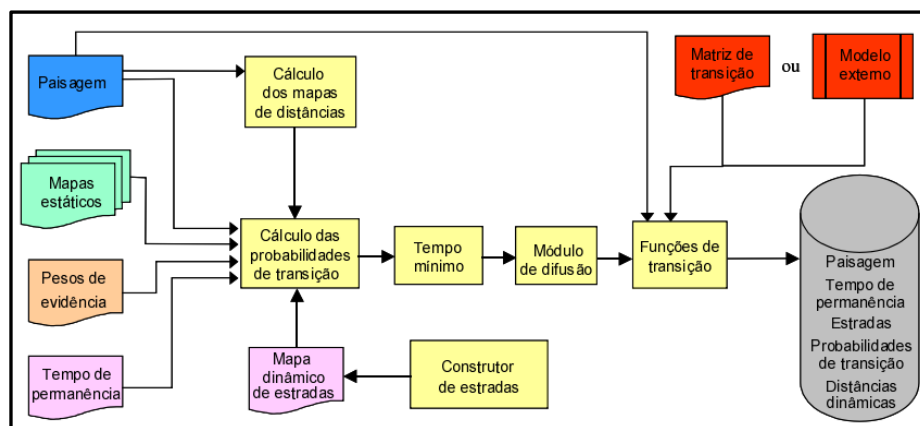


Figura 31 - Arquitetura do *software* DINAMICA EGO (Soares-Filho *et al.*, 2003).

Por ser um programa “dinâmico”, possibilita a construção de modelos estáticos e dinâmicos, implementados com **algoritmos** apropriados para operações com autômatos celulares para simulação de fenômenos espaço-temporais.

Estes algoritmos são denominados *functor*²⁰, os quais são escritos com bibliotecas como C++ e Java, contendo funções de transição e métodos de calibração e validação dos modelos (Figura 32), os quais possibilitam realizar simulações e análises espaciais.

²⁰ Operadores cujos algoritmos permitem a realização de cálculos que envolvam álgebra de mapas.

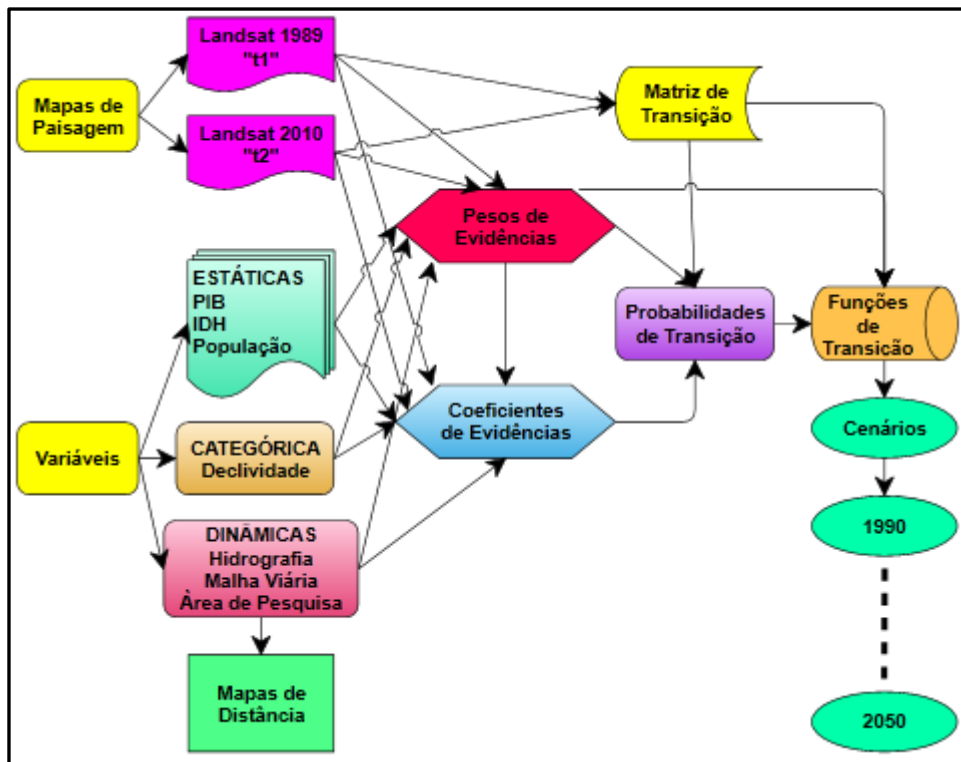


Figura 32 - Fluxograma representando o modelo para simulação dos cenários futuros do eixo Goiânia-Brasília no DINAMICA EGO.

Como o objetivo principal nesta pesquisa é obter cenários urbanos simulados, a paisagem é representada pelas áreas urbanas do eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília e os mapas de paisagem deste modelo são obtidos pela delimitação das áreas urbanas (t1 e t2), no caso, por meio de imagens do satélite, cujo processo foi descrito no item 4.3.1. Os mapas de entrada no modelo de dados são os mapas de áreas urbanas do ano de 1989 (t1) e de 2010 (t2) (Figura 33).

Os mapas de paisagens t1 e t2 são então inseridos na modelagem como mapas categóricos, apresentando apenas duas classes distintas (mapa binário): “urbana” e “não urbana”, sendo que a classe que interessa neste processo é a urbana.

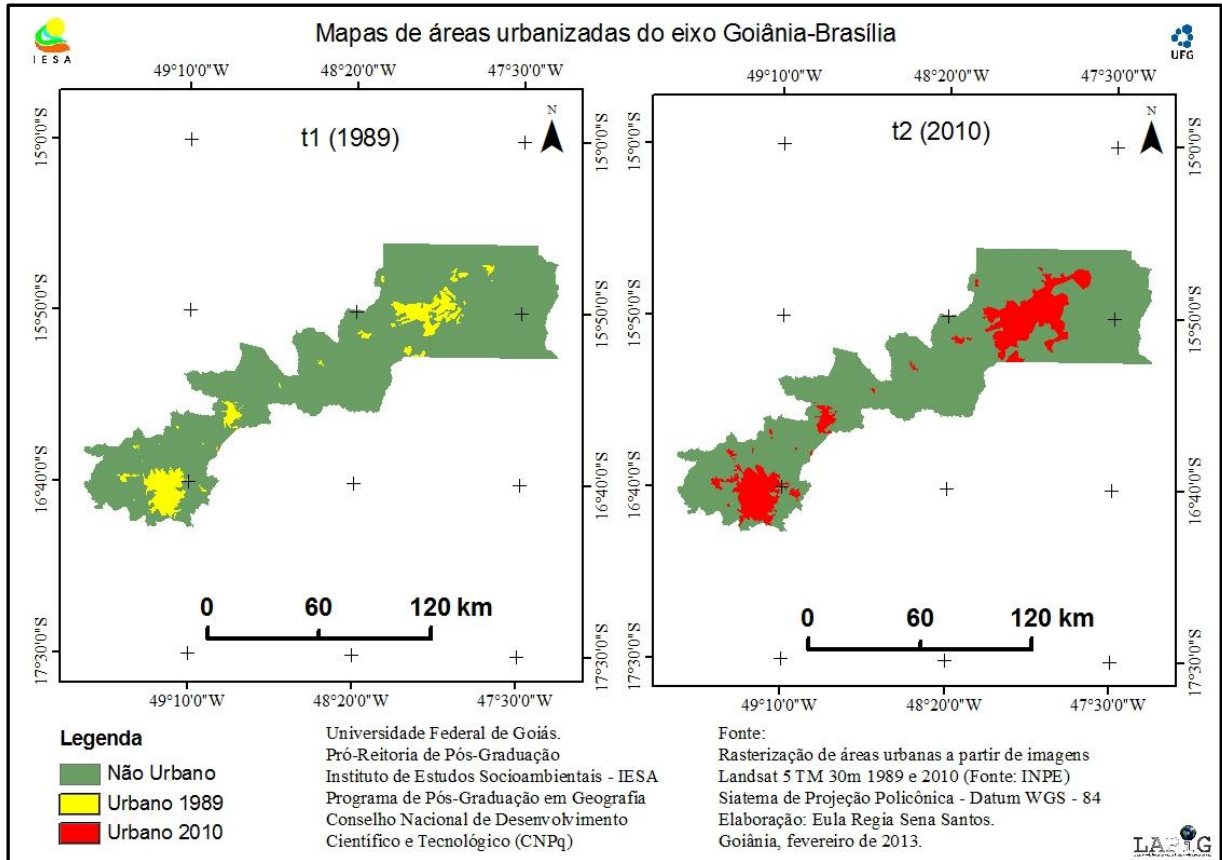


Figura 33 - Mapas de áreas urbanizadas para modelagem de cenários futuros.

As variáveis que influenciam na dinâmica das transformações ocorridas na paisagem urbana na área de estudo são as dinâmicas (distância à hidrografia e distância à malha viária) e as estáticas (declividade, representada por um mapa categórico, PIB, população e IDH (Figura 34). Além dessas variáveis há também o mapa “Distance”, que é o mapa gerado a partir das áreas de “t1”.

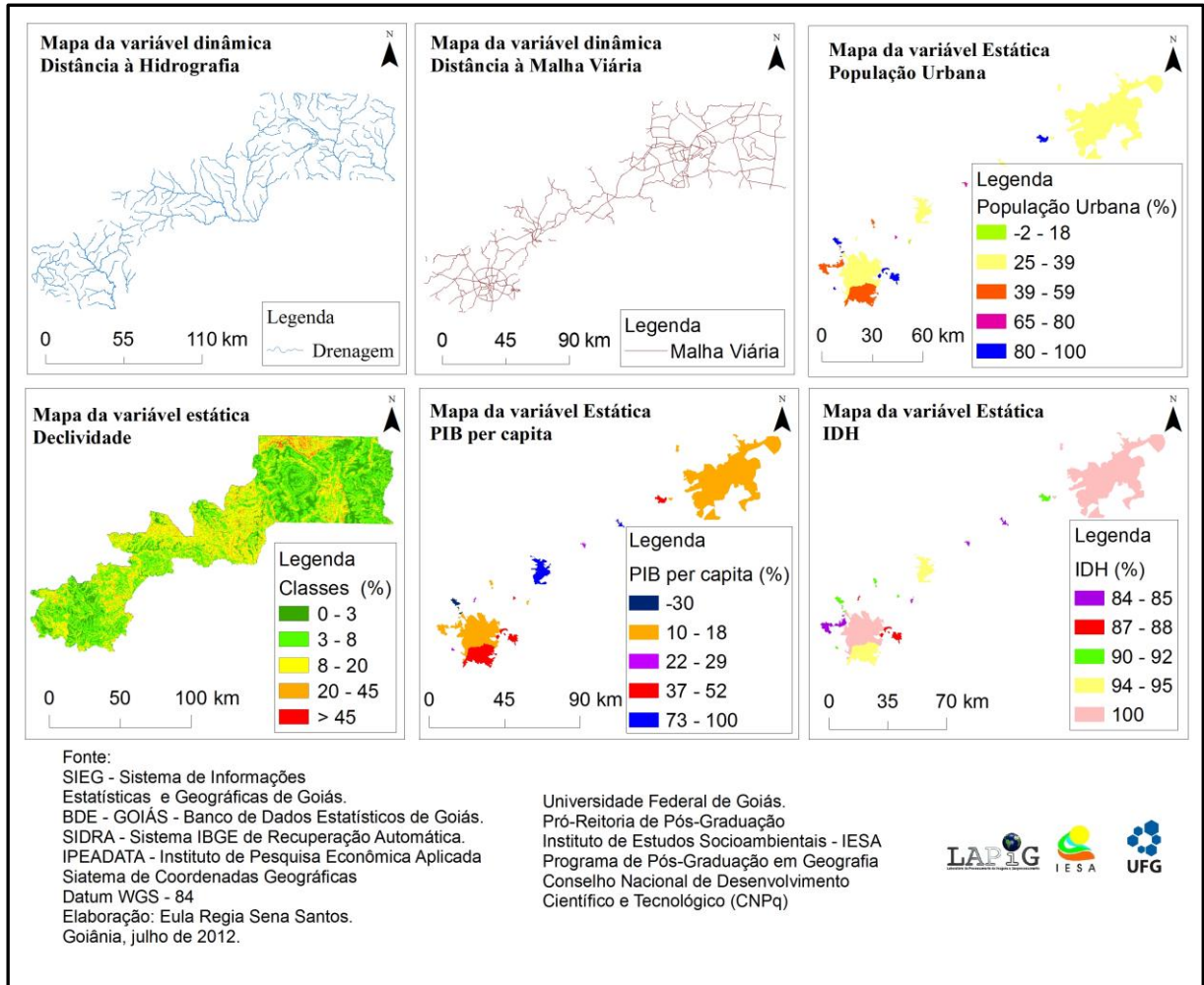


Figura 34 - Mapas das variáveis dinâmicas e estáticas empregadas neste estudo para a modelagem de cenários futuros no eixo Goiânia-Brasília.

4.4.1 Calibração do modelo de dados

O objetivo da calibração do modelo, segundo Almeida (2003), é selecionar o melhor conjunto de variáveis de entrada e parâmetros, visando um melhor ajuste entre os dados.

A calibração do modelo de dados ocorre a partir da entrada dos mapas de paisagem no cálculo da matriz de transição até a finalização da segunda etapa, com os cálculos de coeficientes dos pesos de evidências das variáveis de transição.

4.4.1.1 Matriz de transição

Nesta primeira etapa da modelagem de dados, a matriz de transição calcula a variação anual por meio de taxas percentuais das mudanças de estado de uma célula de uma classe para outra classe, em intervalos de tempos discretos. Este processo ocorre na primeira etapa da modelagem de dados (Figura 35) inserindo no *functor* “Determine Transition Matrix” os ma-

pas de áreas urbanas “t1” e “t2” e informando o intervalo de tempo entre ambos; no caso específico deste modelo, são as manchas delimitadas do perímetro urbanos para 1989 e 2010, com **61 iterações** para transição de estado pelo efeito de simulação de “expansão” da mancha urbana, produzindo cenários a partir de 1990 até o ano de 2050.

A matriz de transição analisa as células da paisagem inseridas no modelo, sendo estas “t1” com 12791309 células e “t2” com 1086830. São calculas as taxas de transição nos functores *single-step transition matrix* (para modelos que consideram uma iteração) e *multi-step transition matrix* (para modelos que consideram multiplas iterações).

Nesta modelagem são considerados cálculos das taxas de mudanças apenas da *multi-step transition matrix* – obtendo taxas de “t1” para “t2” de 0,003852 %, cuja taxa obteve 994189 células aptas para transição.

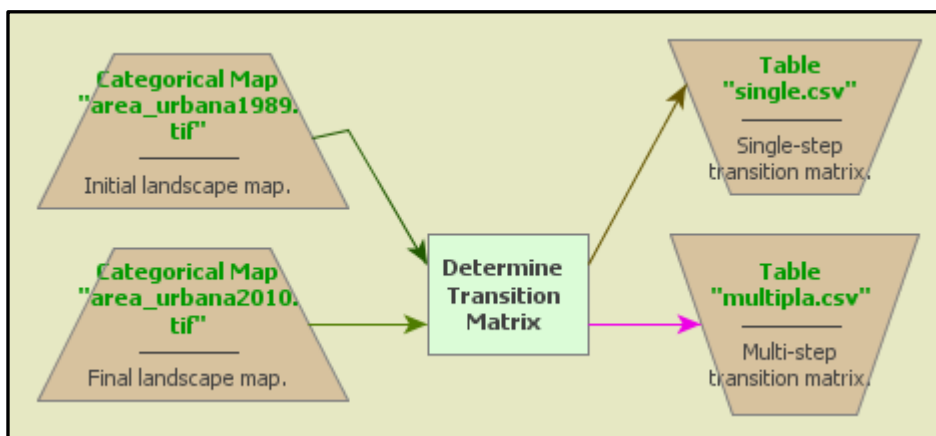


Figura 35 - Calculando da Matriz de Transição.

4.4.1.2 Cálculo dos mapas de distâncias das variáveis de transição.

Os cálculos de distâncias são realizados por *functores* que calculam a distância mais próxima entre as células de mapas distintos.

Neste modelo, dois *functores* são utilizados nos cálculos de faixas de distâncias – o “Calc Distance to Feature Map” e o “Calc Distance Map” (Figura 36). A diferença entre eles é que o *Calc Distance Map* calcula distâncias a partir das áreas urbanas, para posterior inserção nas funções de cálculos de pesos e faixas de evidências das áreas urbanas no *factor* Distance, e o Calc Distance to Feature Map gera faixas de distâncias de variáveis dinâmicas.

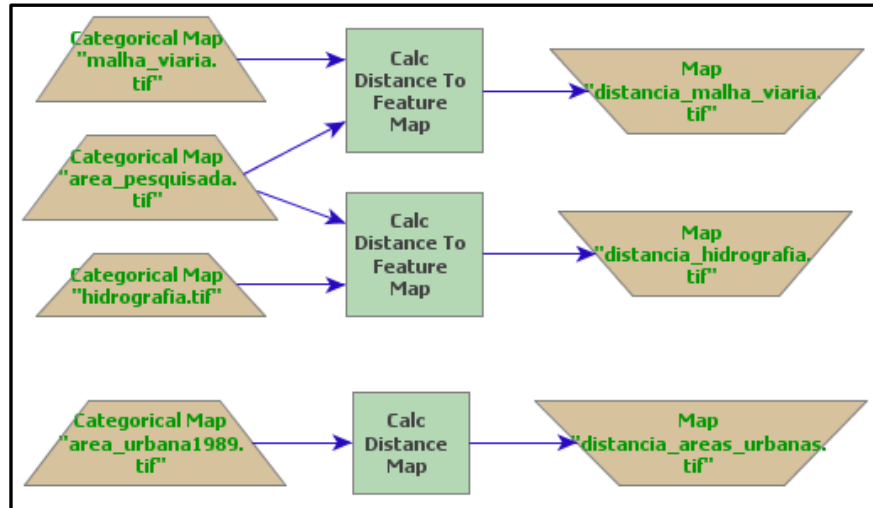


Figura 36 - Fluxograma para determinação dos Cálculos de Distâncias entre a expansão da área urbana e os mapas de entrada.

Os mapas de faixas de distâncias calculados foram os de distância às áreas urbanas (t1 – 1989), distância à hidrografia e de distância à malha viária (Figuras 37, 38 e 39 respectivamente).

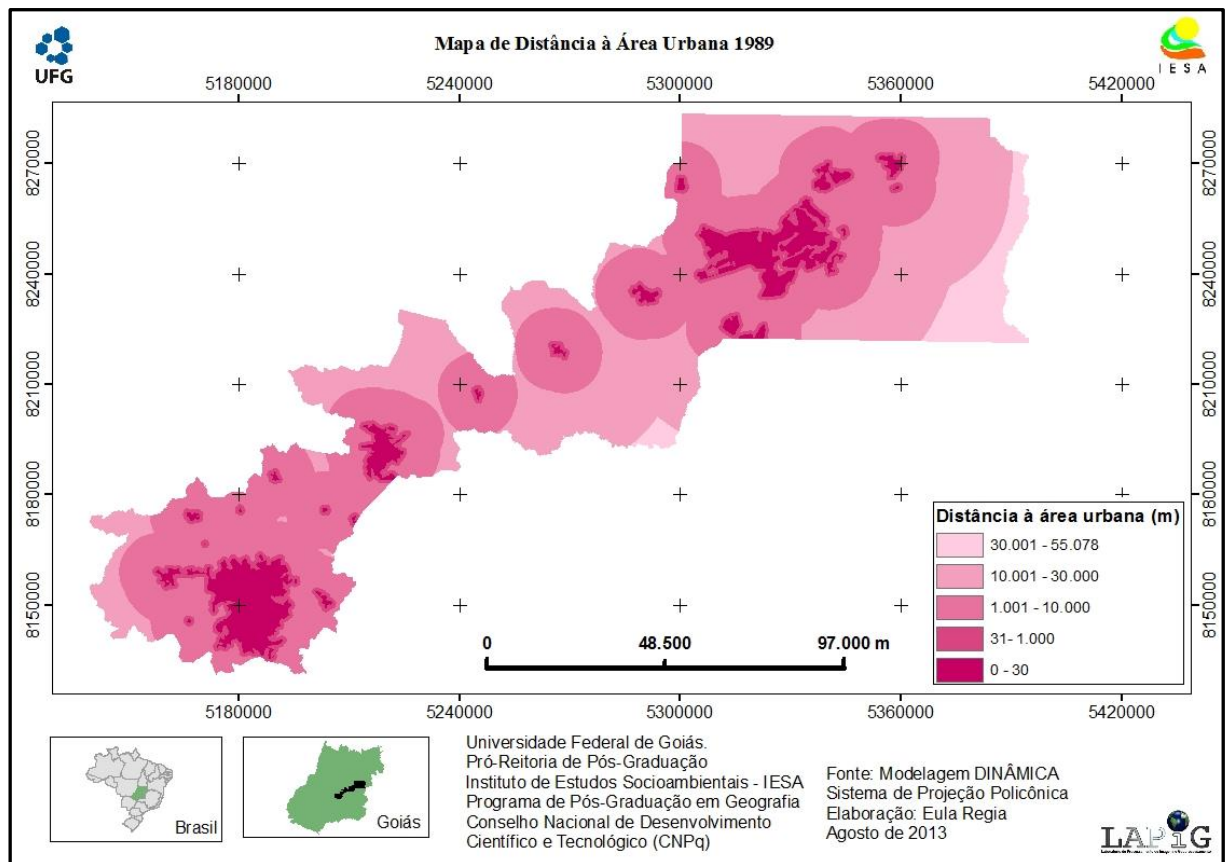


Figura 37 - Mapa gerado pelo cálculo de distância à área urbana.

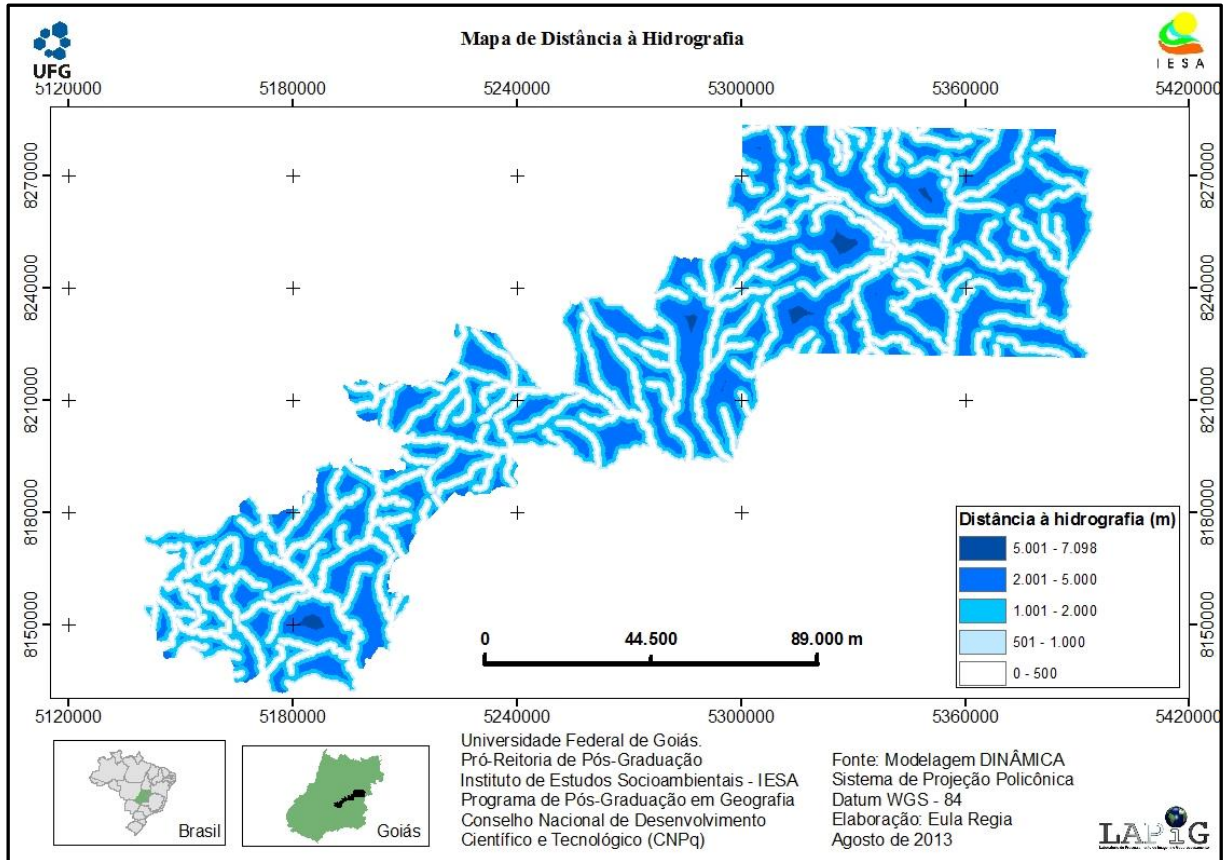


Figura 38 - Mapa gerado pelo cálculo de distância aos à hidrografia.

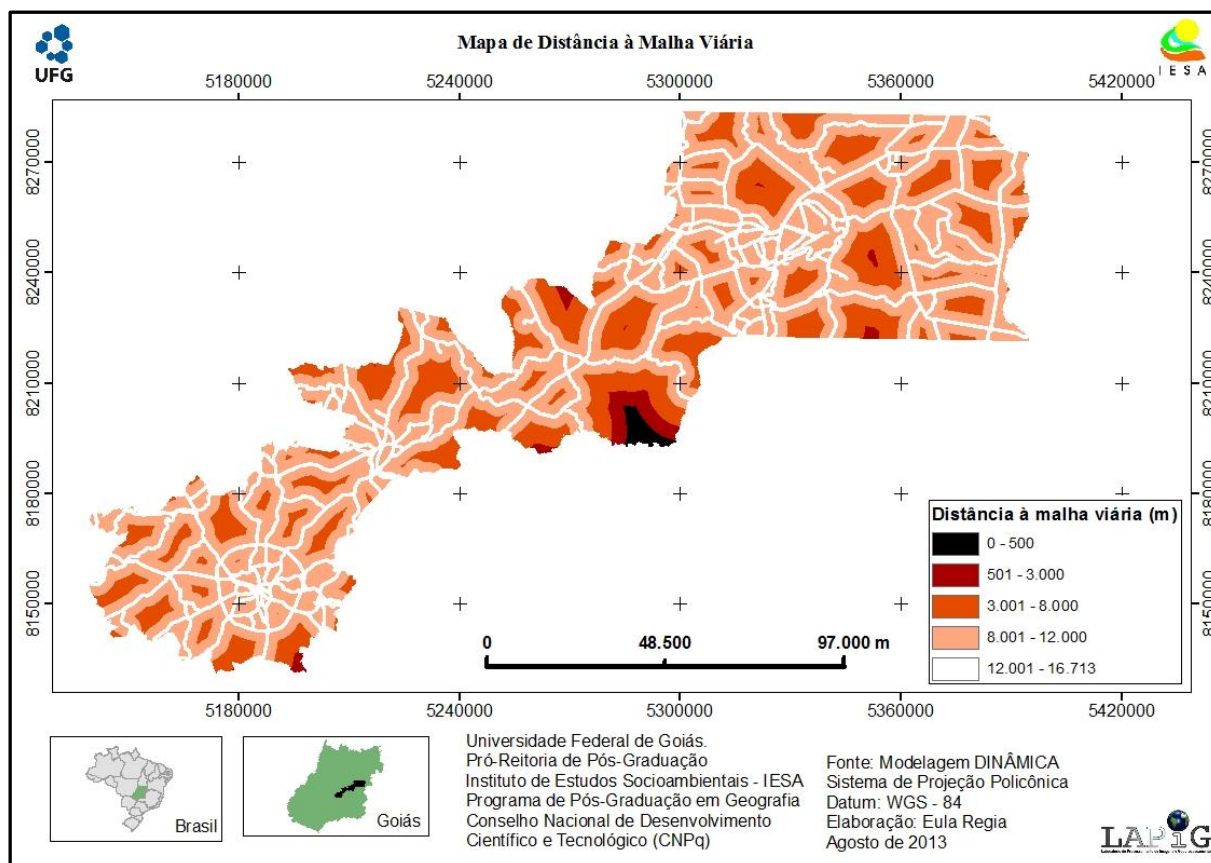


Figura 39 - Mapa gerado pelo cálculo de distância à malha viária.

Todos os mapas de distância posteriormente são conectados ao *container*²¹ de determinação dos pesos de faixas de evidências e ao de determinação dos coeficientes dos pesos de evidências.

4.4.1.3 Determinação dos pesos das faixas de evidências das variáveis de transição

Os pesos das faixas de evidências (áreas favoráveis à mudança) são calculados pelo *container* “Determine Weights of Evidence Ranges” (Figura 40). Seu objetivo é o cálculo dos pesos das faixas das variáveis em escalas contínuas de nível de cinza para aplicação no cálculo de pesos das evidências das variáveis inseridas na modelagem de dados e posterior cálculo das funções de transição para gerar os mapas de probabilidades de cenários e os de cenários futuros simulados.

²¹ Recipientes para executar iterações ou processar dados em determinadas regiões de mapas.

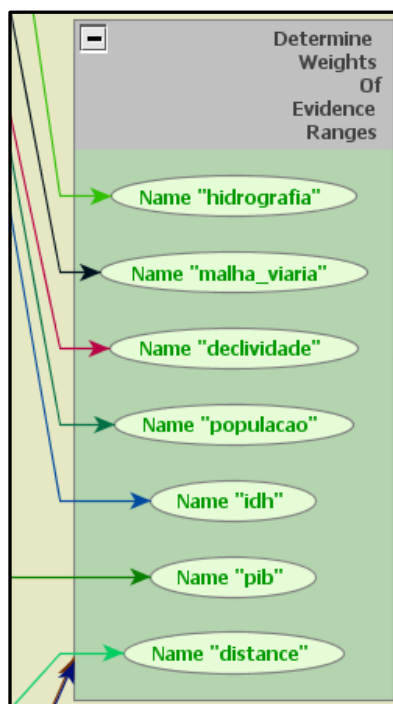


Figura 40 - Fluxograma para determinação dos pesos das faixas de evidências.

Este *container* é editado no *Edit Functor*, janela para inserção de parâmetros das camadas correspondentes aos mapas de entrada - áreas urbanas “t1” e “t2”, das variáveis espaciais dinâmicas e estáticas, mapas de distâncias, para obter os pesos das faixas de evidências das variáveis (Figura 41). Para mapas categóricos é necessário informar apenas a condição (categórico), já os demais necessitam inserir parâmetros para classificação (em mapas de distância, o incremento mínimo equivale à resolução da célula), distância máxima ao longo do intervalo (Deltas máximos e mínimos), e o ângulo de tolerância (mede o ângulo de desvio a partir de uma linha reta).

O algoritmo desse cálculo considera faixas de distâncias de acordo com a estrutura de dados. Analisa uma variação mínima do tom de cinza contínuo ou categórico para construir faixas de distâncias com intervalos mínimos de distância. Os parâmetros para os cálculos dos pesos das faixas de evidências das variáveis definidos no *functor* “Determine Weights of Evidence Ranges” são armazenados no porto *Skeleton*, utilizado no modelo para realização das associações das variáveis com as transições.

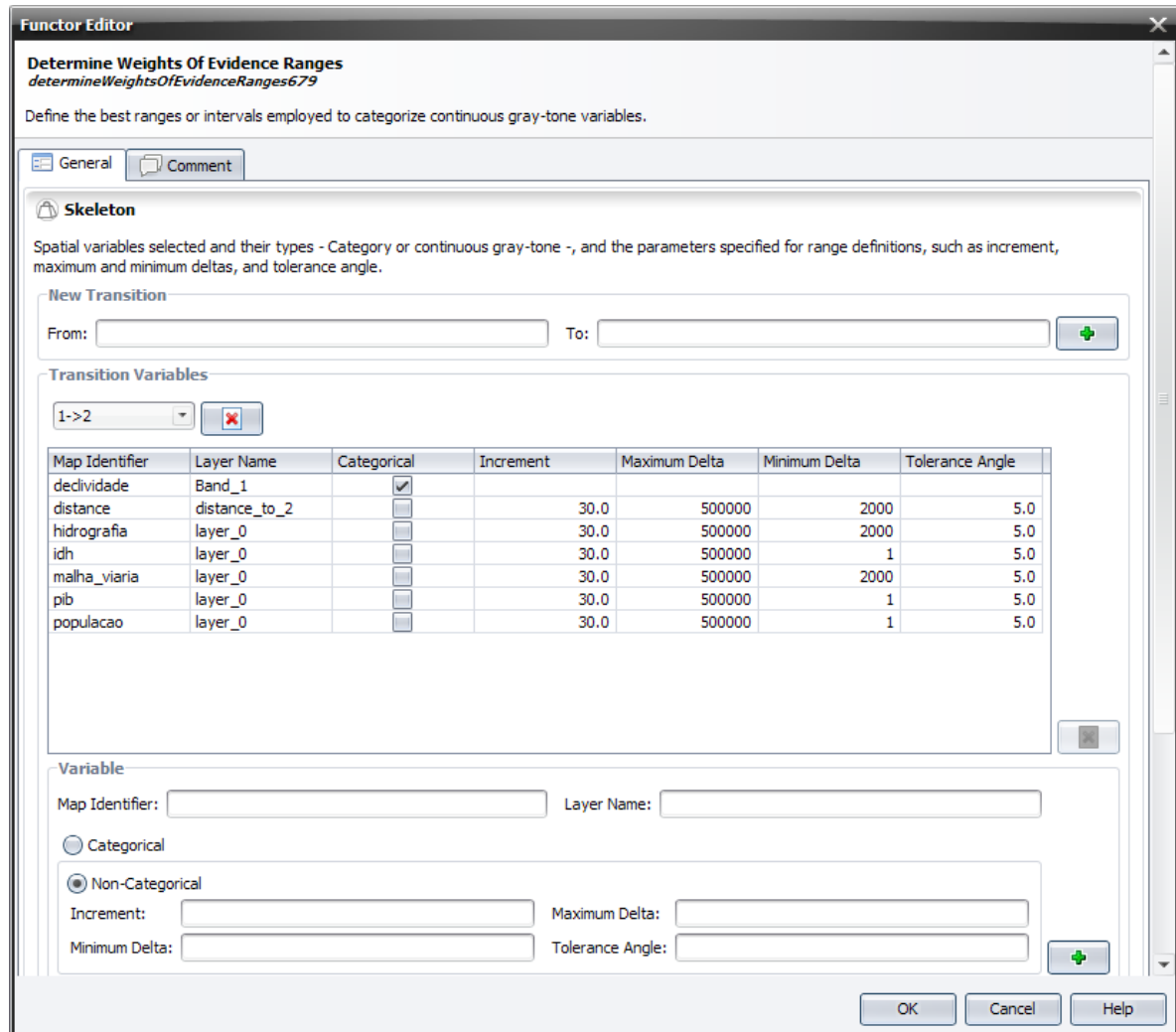


Figura 41 - Determinação dos coeficientes dos pesos de evidências.

Os resultados dos cálculos das faixas distâncias das variáveis são inseridos no *container* que calcula os coeficientes dos pesos das evidências, na etapa seguinte.

4.4.1.4 Determinação dos coeficientes dos pesos das evidências das variáveis de transição

Os coeficientes dos pesos de evidências considera a soma das porcentagens de todas variáveis no processo de geração de mapas de prováveis transições, com formação de áreas favoráveis a mudanças. Tais valores são calculados pelo *container* “Determine of Weights of Evidence Coefficients” (Figura 42).

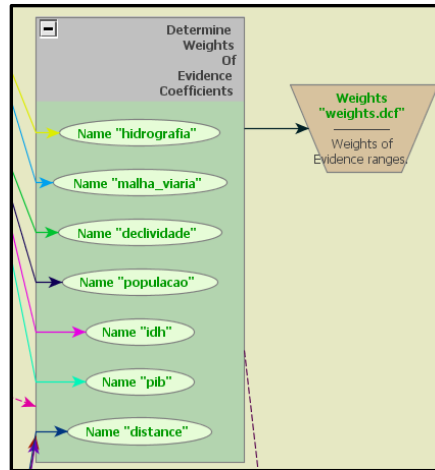


Figura 42 - Fluxograma para determinação dos coeficientes dos pesos de evidências.

Os coeficientes dos pesos das evidências são determinados pela seleção de variáveis espaciais relacionadas a uma transição ou conjunto de transição. O container *Determine of Weights of Evidence Coefficients* é calibrado a partir dos cálculos dos mapas de distância, mapa de declividade, mapas de áreas urbanas “t1” e “t2” e do resultado do *container* “cálculo dos pesos das faixas de distâncias das evidências”, na etapa anterior.

No editor gráfico deste *container* (Figura 43), os valores dos coeficientes dos pesos de evidências podem ser controlados, e no *menu* “Gráfico” pode ser observada uma visão contínua do gráfico.

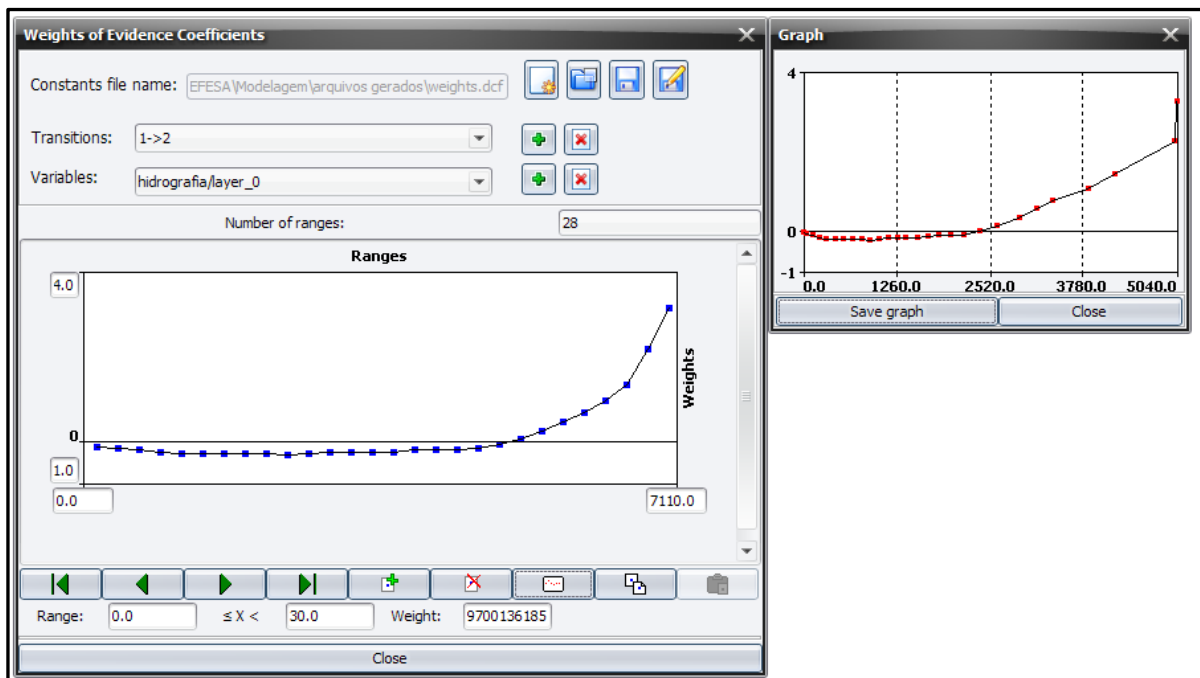


Figura 43 - Visualização do editor gráfico dos pesos de evidências para a variável “hidrografia”.

O resultado dos cálculos dos coeficientes de pesos e evidências das variáveis utilizadas é gravado no arquivo “weights.dcf”. A primeira linha mostrada no arquivo *weights* (Figura 44) contém as faixas para transição, a segunda linha traz a transição e a terceira traz os coeficientes dos pesos de evidências. Porém, uma análise completa dos valores para transição dos coeficientes de pesos e evidências das variáveis só poderá ser feita durante ou após a execução do modelo de dados, pelo *log* gerado (Figura 45).

```

weights.dcf - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
:declividade/Band_1 0:1 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6
1,2 -6.08944 0.524588 0.20971 -0.675999 -1.01817 -1.27469

:distance/distance_to_2 0:60 60:570 570:780 780:1050 1050:1260
1260:1800 1800:1830 1830:2130 2130:2160 2160:2340 2340:2820 2820:2850
2850:3000 3000:3030 3030:3630 3630:4260 4260:4590 4590:5220
5220:5880 5880:6270 6270:6300 6300:7050 7050:7830 7830:8640 8640:9510
9510:10440 10440:11460 11460:12660 12660:14070 14070:15600
15600:17280 17280:19320 19320:21930 21930:25590 25590:30750 30750:42810
42810:55080
1,2 3.59774 2.79399 2.18194 1.88051 1.65445 1.41043 1.21393
1.0961 0.947605 0.867464 0.69943 0.539809 0.463765 0.387555
0.223135 -0.0494742 -0.287365 -0.44832 -0.552437 -0.814537 -1.12068
-1.08926 -1.37334 -1.6872 -2.17473 -2.72024 -2.76354 -3.02634 -
5.68651 0 0 0 0 0 0 0

:hidrografia/layer_0 0:30 30:120 120:210 210:300 300:420 420:540
540:660 660:780 780:900 900:1020 1020:1140 1140:1260 1260:1380
1380:1530 1530:1680 1680:1830 1830:1980 1980:2160 2160:2370 2370:2610
2610:2910 2910:3150 3150:3360 3360:3840 3840:4200 4200:5010
5010:5040 5040:7110
1,2 -0.0645218 -0.0806323 -0.132084 -0.173363 -0.21085 -0.210651
-0.227723 -0.223967 -0.223768 -0.237888 -0.218885 -0.189729 -0.194585
-0.192202 -0.171987 -0.135136 -0.128204 -0.126922 -0.100371 -
0.0106751 0.116812 0.31419 0.529919 0.761358 1.04032 1.40918
2.24424 3.23051

:idh/layer_0 0:90 90:120
1,2 -1.04359 0.147774

:malha_viaria/layer_0 0:30 30:150 150:270 270:390 390:510 510:660
660:810 810:960 960:1110 1110:1260 1260:1440 1440:1620 1620:1800
1800:2010 2010:2130 2130:2340 2340:2580 2580:2850 2850:3150 3150:3510
3510:3930 3930:4170 4170:4290 4290:4890 4890:4920 4920:6060
6060:9330 9330:16740
1,2 0.704994 0.687892 0.665216 0.605021 0.544261 0.489083 0.448703
0.411356 0.336277 0.266995 0.211532 0.151803 0.0454145 -0.124852
-0.299422 -0.430889 -0.534578 -0.58586 -0.635008 -0.668871 -0.701464
-0.92047 -1.16331 -1.4856 -2.19643 -2.64552 -5.85316 0

:pib/layer_0 0:30 30:60 60:150 150:240
1,2 9.61178 8.21057 -3.78527 8.30292

:populacao/layer_0 0:30 30:60 60:90 90:150 150:270
1,2 8.92566 9.49725 8.1044 -4.49004 7.08942

```

Figura 44 - Visualização do editor arquivo “weights.dcf” pelo acessório de bloco de notas do Windows.

Transition: 1->2 Variable: declividade/Band_1					
Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?
0 <= v < 1	5236	1	-6.08943873986405	-6.08988158487926	yes
1 <= v < 2	2549842	317843	0.524588058141262	0.700078427362535	yes
2 <= v < 3	5033862	473943	0.209710305547347	0.368714953893733	yes
3 <= v < 4	4232700	173980	-0.675999198431504	-0.905291540834944	yes
4 <= v < 5	934951	27623	-1.01817187402758	-1.07002372576809	yes
5 <= v < 6	34718	799	-1.27468627913232	-1.27676162046487	yes
	12791309	994189			

Figura 45 - Log da transição da variável “declividade”, gerado na execução da modelagem de dados.

Como exemplo, o *log* gerado durante o processamento do modelo de dados para a transição da variável estática categórica “declividade” (Figura 45) traz as seguintes informações: a coluna “Range” indica as faixas de distância; a coluna “Transitions” indica o tamanho do *buffer* (*distância*) em células; a próxima coluna, também chamada “Transitions”, indica o número de transições ocorridas dentro de cada *buffer*; a coluna “Coefficient” indica os coeficientes obtidos; a coluna “Contrast” indica o valor do contraste; e, por último, segue o resultado do teste de significância estatística na coluna “Significant”.

Nota-se que as linhas na coluna de resultados da primeira “Transitions) possuem valores altos e positivos em todas as classes de declividade, cujas transições se mostram favoráveis à expansão urbana. Ainda na segunda coluna todos os resultados foram positivo para a classe, indicando que esta faixa de declividade se revela bastante favorável à expansão urbana.

Outra coluna importante na observação é a do *Contrast*, pois quanto maior é o valor positivo, maior é a atração, cujo efeito é a associação entre as células autômatas, enquanto os valores próximos de zero não exercem influência sobre a expansão, e os valores negativos demonstram um efeito de repulsão, situação desfavorável à expansão urbana.

Os resultados das transições das variáveis envolvidas no *container* que calcula os coeficientes de pesos de evidências na modelagem de dados do eixo Goiânia-Brasília são inseridos no “porto” *wieghts*, visando calcular e gerar os mapas de probabilidades de transição, na etapa seguinte. Com esse último procedimento finaliza-se a calibração do modelo de dados.

4.4.2 Fase para simulação de Cenários Urbanos.

Para execução das simulações de expansão de manchas urbanas, primeiramente é necessário ajustar e configurar o modelo, gerando mapas de probabilidades de cenários urbanos, considerando as faixas de distância e as taxas dos pesos de evidências das variáveis estáticas e dinâmicas e, ainda, as taxas obtidas no cálculo da matriz de transição, até se obter os cenários simulados em cada iteração.

4.4.2.1 Cálculo dos mapas de probabilidades

O *container* “Calc Weights of Evidence Probability” (Figura 46) calcula as probabilidades das evidências das variáveis influentes na determinação de áreas favoráveis à expansão urbana.

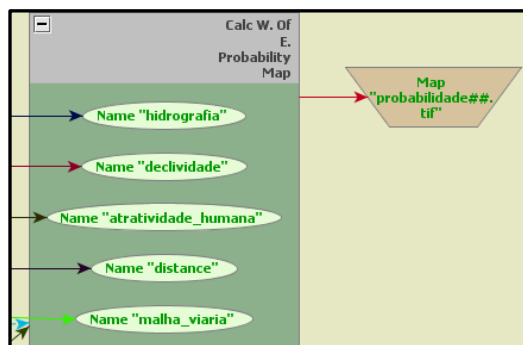


Figura 46 - Fluxograma para determinação das probabilidades pelo container *Calc Weights of Evidence Probability*.

As probabilidades de transição de estado “não urbano” em “urbano” são executadas com base nos cálculos de pesos de evidências e coeficientes das variáveis modeladas. Para este procedimento, o porto²² “weights”, localizado neste *functor*, recebe os resultados dos pesos e evidências e coeficientes das variáveis de transição. A ocorrência das probabilidades depende, ainda, dos mapas de distâncias das variáveis dinâmicas, dos mapas de variáveis estáticas e do mapa de área urbana “t1”.

Ao todo, foram gerados 61 mapas de probabilidades (um para cada ano), a exemplo o mapa da Figura 47; porém, as análises se darão entorno dos mapas de probabilidades para o eixo Goiânia-Brasília dos anos de 1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040 e 2050.

²² Conexões específicas para entrada de dados, como tabelas, mapas, matrizes, expressões matemáticas e constantes.

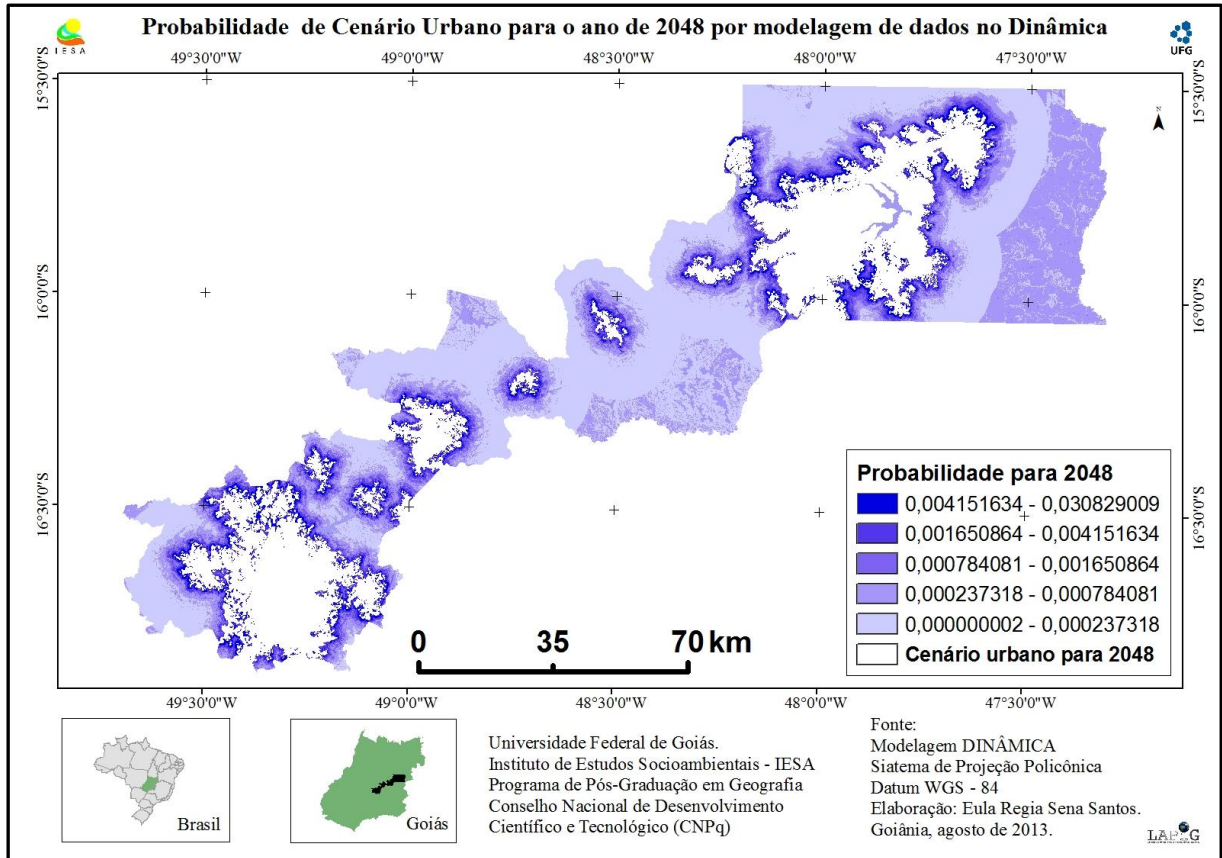


Figura 47 – Probabilidade de cenários por modelagem DINÂMICA EGO.

4.4.2.2 Procedimento para geração de cenários futuros

O DINÂMICA EGO é um simulador de mudanças que contém uma coleção de padrões espaciais, os quais permitem a mudança de estado de células baseada em Autômatos Celulares, que calcula transições célula a célula, considerando sua vizinhança e as variações dos parâmetros de transição (*Expander* e *Patcher*). Assim, baseado nos cálculos obtidos com as variáveis propostas, reproduz-se os padrões espaciais, de modo a expandir ou contrair uma mancha de uma certa classe.

Nos mapas de probabilidades ocorrem as transições baseadas nos critérios definidos pelos parâmetros para faixas de distância e pesos das variáveis influentes nas transformações de mudança de estado (não urbano para urbano), definidas na função *Expander* (responsável pela formação de manchas das áreas urbanas a partir de t1 – 1989, com transição “não urbano para urbano), iniciando-se as simulações.

No algoritmo do *Expander* foram definidos parâmetros para o cálculo da transição, como tamanho médio das manchas (50 ha), tamanho médio da variância (30 ha) e tamanho da

isometria (1,5 ha), que varia entre 0 e 2 – quanto mais próximo de 2, a mancha assume forma mais isométrica.

O *Patcher* recebe os mapas de probabilidades, após terem sido modificados pelo *Expander*, onde é escolhido um conjunto de células passíveis de mudanças para formação de novas manchas. No *Patcher* também foram definidos parâmetros para a transição, como tamanho médio das manchas (30 ha), tamanho médio da variância (30 ha) e tamanho da isometria (1,5 ha).

Para geração de cenários futuros, além do *container* do cálculo de probabilidades das evidências, cujos mapas de saída se transformam em cada iteração, é necessária a inserção de funções importantes na etapa de simulação de cenários (Figura 48), descritas a seguir.

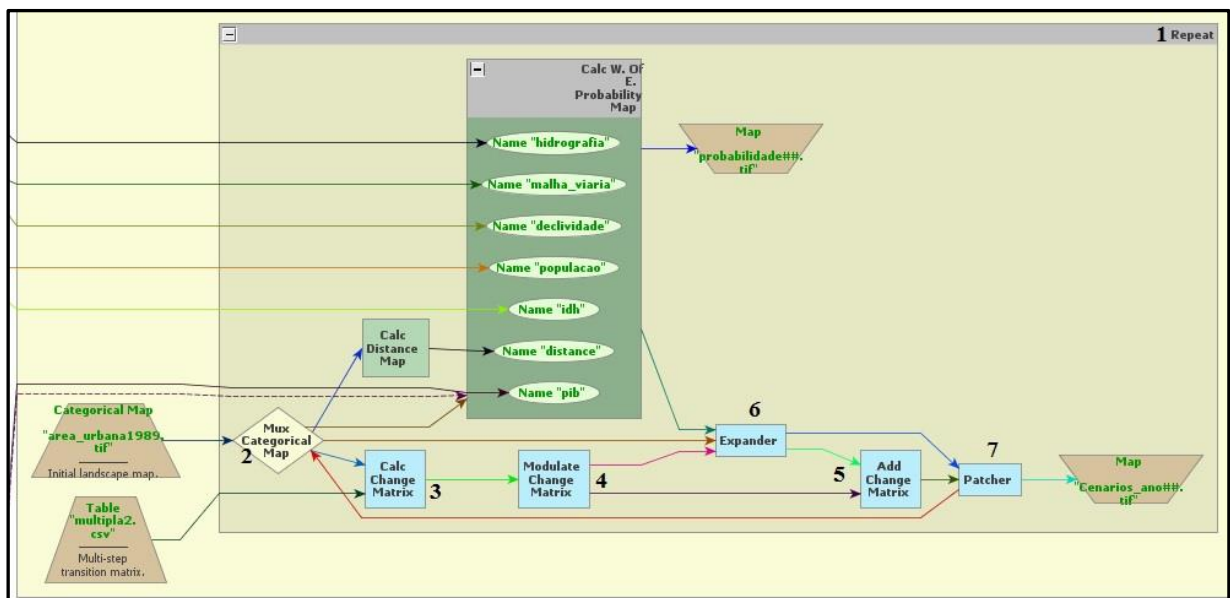


Figura 48 - Funções inseridas no processo para a obtenção de simulação de cenários urbanos.

- 1) **Repeat:** *container* do grupo “Controle”, apresenta um conjunto de *functores* capazes de repetir todo o fluxo de dados num procedimento de iterações. Esta pesquisa considera 61 iterações (entre 1989 a 2050);
- 2) **Mux Categorical Map:** *functor* de “Controle” que, a partir da primeira iteração, alimenta um mapa categórico de saída e repete o processo, realimentando-o a cada iteração, tanto no processo de mapas de probabilidade, quanto no de cenários simulados;

- 3) **Calc Change Matrix**: inserido na categoria de submodelo “Simulação”, este *functor* calcula quantidades de mudanças, multiplicando as taxas de transição das variáveis envolvidas no modelo pelo número de células a serem alteradas, convertendo as células do estado “não urbano” para “urbano”;
- 4) **Modulate Change Matrix**: é um *functor* que pertence ao grupo de “Simulação”, que divide percentuais de mudanças entre os conjuntos de transição das funções *Expander* e *Patcher*;
- 5) **Add Change Matrix**: *functor* pertencente ao grupo de “Simulação”, soma duas matrizes, totalizando a saída com a quantização de mudanças;
- 6) **Expander**: *functor* do grupo “Simulação”, cujo algoritmo de transição expande ou contrai um conjunto de células de uma determinada classe ou categoria;
- 7) **Patcher**: *functor* pertencente ao grupo “Simulação”, cujo algoritmo de transição permite controlar parâmetros de geração de manchas. Este *functor* gera manchas de forma mais isométricas, pela especificação de parâmetros da distribuição, como a média e a variância dos tamanhos. Ele escolhe um conjunto de células em conformidade com suas probabilidades de transição e de combinações pela seleção das células vizinhas ao núcleo escolhido, para formação de um novo conjunto de células.

Foram gerados 61 cenários de expansão urbana – um para cada interação/ano (Figura 49), os quais, assim como os mapas de probabilidades, são analisados para os anos de 1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040 e 2050.

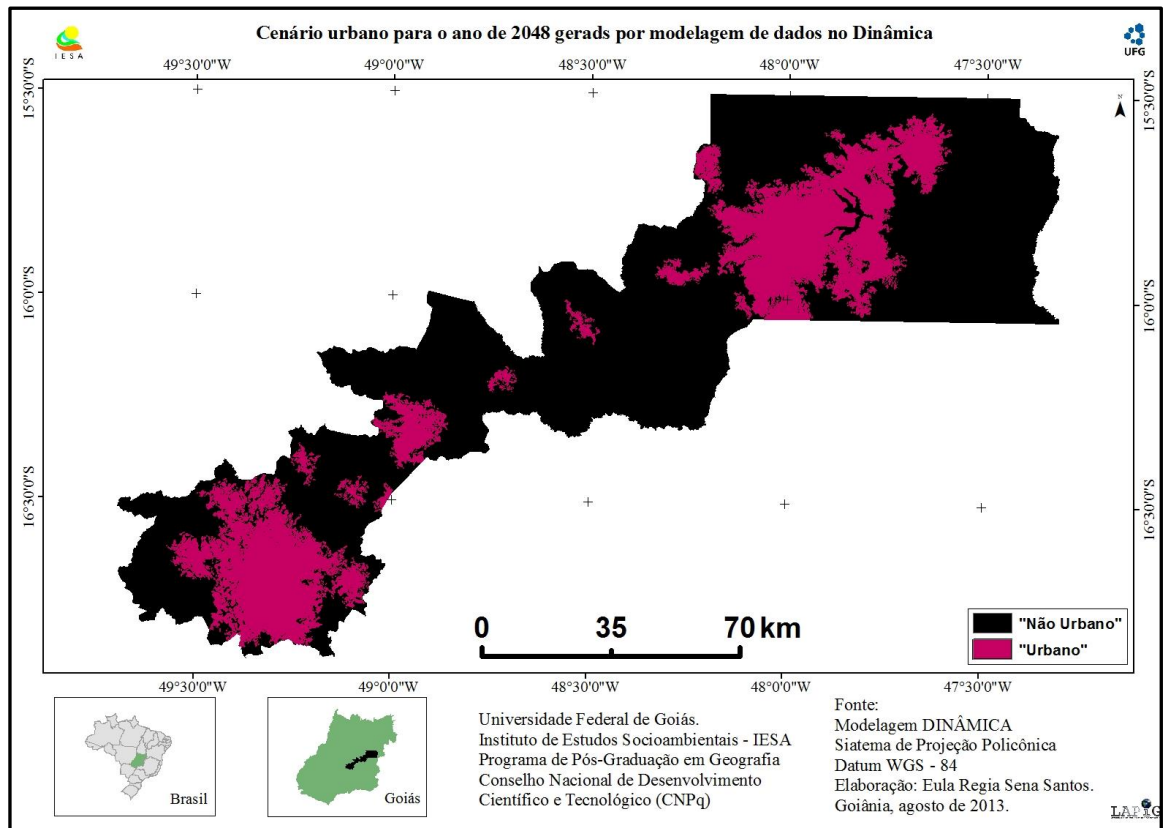


Figura 49 - Cenários simulados por Modelagem de dados no DINÂMICA EGO para a área de estudo para o ano de 2048.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A probabilidade de um evento ocorrer é baseada no teorema de *Bayes* (ALMEIDA, 2003), a transição de um estado “não urbano” para “urbano” é calculada pelo método de pesos e evidências pelo próprio DIÂMICA; ou seja, a partir da tabulação cruzada entre os mapas de transição inicial (1989) “t1” e final (2010) “t2”, e das taxas obtidas para os cálculos de pesos e coeficientes das faixas de evidências com as variáveis explicativas na expansão urbana no eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília, resultando na geração de mapas de probabilidades e de cenários futuros.

Na primeira etapa da modelagem foi calculada a matriz de transição (Tabela 10), determinada com passos de tempo anuais – este período representa a diferença temporal entre os mapas de paisagem final (2010) e inicial (1989), ou seja, de 21 anos.

Tabela 10 - Transição anual dinâmica “não urbano” / “urbano” no eixo Goiânia-Brasília no período de 1989/2010.

Transição Não urbano/Urbano	
Total de células da paisagem inicial	12.791.309
Total de células para transição	994.189
Passo de tempo (anos)	21
Taxa de transição (%)	0,0038526

Na segunda etapa foram definidas as variáveis explicativas para a expansão urbana na região, classificadas em categóricas (com classes temáticas) e não categóricas (sem classes temáticas). Foram selecionadas sete variáveis explicativas para suportar a transição, conforme descritas na tabela 11.

Tabela 11 - Variáveis explicativas da dinâmica da expansão urbana.

Variáveis explicativas da dinâmica urbana do 2º modelo	Tipo
Distance (distância em relação à “t1”)	Dinâmica
Distância à Hidrografia	Dinâmica
Distância à Malha Viária	Dinâmica
Declividade	Estática
População	Estática
PIB	Estática
IDH	Estática

Na tabela 12, são apresentados os parâmetros para definição dos melhores intervalos ou faixas utilizados para categorizar tons de cinza contínuos, das variáveis, para a transição de estado das células.

Tabela 12 - Parâmetros para cálculos de pesos das faixas de evidências.

Nome da variável	Categórica	Incremento	Delta Máximo	Delta Mínimo	Ângulo de Tolerância
declividade	sim				
distance	não	30	500.000	2.000	5.0
hidrografia	não	30	500.000	2.000	5.0
idh	não	30	500.000	1.0	5.0
malha_viária	não	30	500.000	2000.0	5.0
pib	não	30	500.000	1	5.0
populacao	não	30	500.000	1	5.0

O mapa de declividade, por ser um mapa de classe, deve ser atribuído, o estado “categórico”, não podendo inserir outros parâmetros. As demais variáveis, por não possuírem classe, não podem ser consideradas como mapas de categorias, devendo nestas, introduzir parâmetros demais para a transição de estado das células. O incremento é uma medida igual ao tamanho da resolução das células (as células de todas as variáveis estão com 30 m de resolução). Os delta máximo e mínimo são intervalos de distâncias, e o ângulo de tolerância que mede o ângulo de desvio a partir de uma linha reta (em ambos foram utilizados os sugeridos pelo programa, ao criar parâmetros para as variáveis).

Uma vez armazenados os resultados dos parâmetros para os cálculos dos pesos das faixas de evidências de cada variável, segue-se até o porto *ranges* do *container Determine Weights of evidence*, onde as evidências das variáveis dos modelos são calculadas e armazenadas no arquivo *weights.dcfI*, cujos resultados dos valores de intervalos dos pesos de cada variável estão demonstrados nas tabelas (13 a 19) PIB, IDH, População, Declividade, Distância à hidrografia, Distância à variável distância da malha e a variável “distance”, respectivamente conforme especificações a seguir:

Tabela 13 - Peso da variável PIB.

Intervalo/classe	Peso
0 - 30	9,61178
30 - 60	8,21057
60 - 150	-3,78527
150 - 240	8,30292

Tabela 14 - Peso da variável IDH.

Intervalo/classe	Peso
0 - 90	-1,04359
90 - 60	0,147774

Tabela 15 - Peso da variável População.

Intervalo/classe	Peso
0 - 30	8,92566
30 - 60	9,49725
60 - 90	8,1044
90 - 50	-4,49004
150 - 270	7,08942

Tabela 16 - Peso da variável Declividade.

Intervalo/classe	Peso
1 - 2	0,524588
2 - 3	0,20971
3 - 4	-0,675999
4 - 5	-1,01817
5 - 6	-1,27469

Tabela 17 - Peso da variável Distância à Hidrografia

Intervalo/classe	Peso
0 - 30	-0,0645218
30 - 120	-0,0806323
120 - 210	-0,132084
210 - 300	-0,173363
300 - 420	-0,21085
420 - 540	-0,210651
540 - 660	-0,227723
660 - 780	-0,223967
780 - 900	-0,223768
900 - 1020	-0,237888
1020 - 1140	-0,218885
1140 - 1260	-0,189729
1260 - 1380	-0,194585
1380 - 1530	-0,192202
1530 - 1680	-0,171987
1680 - 1830	-0,135136
1830 - 1980	-0,128204
1980 - 2160	-0,126922
2160 - 2370	-0,100371
2370 - 2610	-0,0106751
2610 - 2910	0,116812
2910 - 3150	0,31419
3150 - 3360	0,529919
3360 - 3840	0,761358
3840 - 4200	1,04032
4200 - 5010	1,40918
5010 - 5040	2,24424
5040 - 7110	3,23051

Tabela 18 - Peso da variável Distância à Malha Viária

Intervalo/classe	Peso
0 - 30	0,704994
30 - 50	0,687892
150 - 270	0,665216
270 - 390	0,605021
390 - 510	0,544261
510 - 660	0,489083
660 - 810	0,448703
810 - 960	0,411356
960 - 1110	0,336277
1110 - 1260	0,266995
1260 - 1440	0,211532
1140 - 1620	0,151803
1620 - 1800	0,0454145
1800 - 2010	-0,124852
2010 - 2130	-0,299422
2130 - 2340	-0,430889
2340 - 2580	-0,534578
2580 - 2850	-0,58586
2850 - 3150	-0,635008
3150 - 3510	-0,668871
3510 - 3930	-0,701464
3930 - 4170	-0,92047
4170 - 4290	-1,16331
4290 - 4890	-1,4856
4890 - 4920	-2,19643
4920 - 6060	-2,64552
6060 - 9330	-5,85316
9330 - 6740	0

Tabela 19 - Peso da variável Distance (distância a “t1”)

Intervalo/classe	Peso
0 - 60	3,59774
60 - 570	2,79399
570 - 780	2,18194
780 - 1050	1,88051
1050 - 1260	1,65445
1260 - 1800	1,41043
1800 - 1830	1,21393
1830 - 2130	1,0961
2130 - 2160	0,947605
2160 - 2340	0,867464
2340 - 2820	0,69943
2820 - 2850	0,539809
2850 - 3000	0,463765
3000 - 3030	0,387555
3030 - 3630	0,223135
3630 - 4260	-0,0494742
4260 - 4590	-0,287365
4590 - 5220	-0,44832
5220 - 5880	-0,552437
5880 - 6270	-0,814537

6270 - 6300	-1,12068
6300 - 7050	-1,08926
7050 - 7830	-1,37334
7830 - 8640	-1,6872
8640 - 9510	-2,17473
9510 - 10440	-2,72024
10440 - 11460	-2,76354
11460 - 12660	-3,02634
12660 - 14070	-5,68651
14070 - 15600	0
15600 - 17280	0
17280 - 19320	0
19320 - 21930	0
21930 - 25590	0
25590 - 30750	0
30750 - 42810	0
42810 - 55080	0

Como pode ser percebido ao analisar as tabelas dos pesos e evidências das variáveis para transição de estado das células, que as mais influentes no processamento da modelagem, são PIB, População e *Distance*, por apresentarem os valores altos valores positivos.

As transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas em cada variável com a execução do modelo são passadas ao *log* gerado no processamento da simulação, cujos resultados são demonstrados nas tabelas 20 a 26. De um modo geral resultados relacionados a altos valores positivos revelam uma associação positiva favorável ao à expansão das manchas urbanas. Valores próximos a zero não exercem efeito sobre a expansão urbana. Valores negativos repelem a expansão de manchas urbanas.

A variável PIB, na qual ocorreram 994.189 transições (Tabela 20), com aceitação em todas as faixas para o teste de significância estatística.

Tabela 20 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável PIB.

Intervalos dos pesos	Transição possível	Transição executada	Coefficiente de Peso	Contraste	Significante
0 <= v < 30	888.319	887.614	9,61177782341517	11,8447964280571	sim
30 <= v < 60	74.041	73.803	8,21056736993798	8,28768137747858	sim
60 <= v < 150	11.818.716	22.569	-,78526756502221	-13,1652869267778	sim
150 <= v < 240	10.233	10.203	8,30292307545374	8,31323619257536	sim

Para a variável IDH (Tabela 21) ocorreram 993.238 transições distribuídos entre os intervalos dos pesos, com aceitação favorável no teste de significância estatística.

Tabela 21 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável IDH.

Intervalos dos pesos	Transição possível	Transição executada	Coefficiente de Peso	Contraste	Significante
0 <= v < 90	69.245	69.024	-1,04359478009313	-1,19136904339713	sim
90 <= v < 120	925.113	924.214	0,147774263304005	1,19136904339713	sim

Na variável População (Tabela 22) ocorreram 994.189 transições, com significância favorável no teste de significância estatística. Apresentando altos valores nos Coeficientes de Peso favorecendo a expansão urbana, e também, altos valores de Contraste, significando alto potencial de atração das células .

Tabela 22 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável População.

Intervalos dos pesos	Transição possível	Transição executada	Coefficiente de Peso	Contraste	Significante
0 <= v < 30	147.945	147.712	8,92566464086255	9,08648918901031	sim
30 <= v < 60	797.885	797.175	9,49724792047512	11,1158402717078	sim
60 <= v < 90	36.662	36.531	8,10440255441455	8,14182805887845	sim
90 <= v < 150	11.807.184	11.154	-4,49003675175898	-13,7681871637618	sim
150 <= v < 270	1.633	1.617	7,08942252077791	7,09104893993018	sim

Ocorreram 994.189 transições na variável Declividade (Tabela 23) com significância favorável no teste estatístico, porém, com baixa influência na transição.

Tabela 23 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável Declividade.

Intervalos dos pesos	Transição possível	Transição executada	Coefficiente de Peso	Contraste	Significante
1 <= v < 2	2.549.842	317.843	0,524588058141262	0,700078427362535	sim
2 <= v < 3	5.033.862	473.943	0,209710305547347	0,368714953893733	sim
3 <= v < 4	4.232.700	173.980	-0,675999198431504	-0,905291540834944	sim
4 <= v < 5	934.951	27.623	-1,01817187402758	-1,07002372576809	sim
5 <= v < 6	34.718	799	-1,27468627913232	-1,27676162046487	sim

Ocorreram 994.189 na variável Distância à Hidrografia (Tabela 24) com significância favorável no teste estatístico, mas com baixa influência na transição.

Tabela 24 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável Distância à Hidrografia.

Intervalos dos pesos	Transição possível	Transição executada	Coefficiente de Peso	Contraste	Significante
0 <= v < 30	123.008	9.007	-0,0645217840436521	-0,0651313047565312	sim
30 <= v < 120	624.242	45.031	-0,0806323076791079	-0,0846241688422692	sim
120 <= v < 210	524.923	36.098	-0,132083706629693	-0,1374180468928	sim
210 <= v < 300	522.719	34.589	-0,173362667937197	-0,180209318723871	sim
300 <= v < 420	652.803	41.709	-0,210850477196231	-0,221182370329079	sim

420 <= v < 540	628.927	40.191	-0,210651392451145	-0,220579002229854	sim
540 <= v < 660	627.250	39.448	-0,227723424134478	-0,238346231406363	sim
660 <= v < 780	595.353	37.574	-0,223967121296518	-0,23387602455995	sim
780 <= v < 900	588.018	37.118	-0,223767893881969	-0,233541505029277	sim
900 <= v < 1020	575.609	35.857	-0,237887585361849	-0,247987115469804	sim
1020 <= v < 1140	552.187	35.016	-0,218885090844115	-0,227857925379552	sim
1140 <= v < 1260	545.904	35.575	-0,189729088354785	-0,19751258013965	sim
1260 <= v < 1380	518.699	33.649	-0,194585256999567	-0,202138690522194	sim
1380 <= v < 1530	627.901	40.824	-0,192202459491571	-0,201318322389814	sim
1530 <= v < 1680	582.797	38.614	-0,171987298891748	-0,17959949564063	sim
1680 <= v < 1830	540.140	37.039	-0,135136150157757	-0,140751080040254	sim
1830 <= v < 1980	502.267	34.665	-0,128203590913689	-0,133157491323808	sim
1980 <= v < 2160	536.632	37.081	-0,126921602487762	-0,132178374865798	sim
2160 <= v < 2370	561.495	39.769	-0,10037144809492	-0,104780549345874	sim
2370 <= v < 2610	553.260	42.580	-0,0106751280462276	-,0111554635023412	sim
2610 <= v < 2910	546.271	47.264	0,11681216608032	0,122299889661033	sim
2910 <= v < 3150	334.479	34.601	0,314190241542504	0,32386529192658	sim
3150 <= v < 3360	228.858	28.661	0,529918815313361	0,542055413193319	sim
3360 <= v < 3840	350.845	53.631	0,761358224481808	0,791295665281672	sim
3840 <= v < 4200	152.133	29.297	1,04031837278371	1,05976256439912	sim
4200 <= v < 5010	147.580	37.847	1,40918495748189	1,43865148947903	sim
5010 <= v < 5040	2.285	1.012	2,24423563473059	2,24514615474751	sim
5040 <= v < 7110	44.724	30.442	3,23050661417115	3,26039376369626	sim

Na variável Distância à Malha Viária ocorreram 994.189 (Tabela 25) com significância favorável no teste estatístico para todos os intervalos das faixas, com exceção do último intervalo onde não ocorreu transição, exercendo uma influência intermediária na transição.

Tabela 25 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável Distância à Malha viária.

Intervalos dos pesos	Transição possível	Transição executada	Coefficiente de Peso	Contraste	Significante
0 <= v < 30	88.727	12.928	0,704993785270163	0,711636692694623	sim
30 <= v < 150	597.147	85.744	0,687891567103692	0,733767059910181	sim
150 <= v < 270	579.385	81.591	0,665216008382653	0,707735504895655	sim
270 <= v < 390	509.108	68.066	0,60502109712856	0,637839044674165	sim
390 <= v < 510	515.911	65.425	0,544260831872869	0,573399193538831	sim
510 <= v < 660	626.479	75.697	0,489082826397864	0,520464091724261	sim
660 <= v < 810	590.275	68.829	0,448702829576557	0,475239536003561	sim
810 <= v < 960	560.540	63.236	0,411355633551639	0,434005178841564	sim
960 <= v < 1110	535.285	56.480	0,336276560222682	0,353330999537707	sim
1110 <= v < 1260	514.163	50.980	0,26699455801226	0,279580061626858	sim
1260 <= v < 1440	581.095	54.801	0,211531833450507	0,222592746883313	sim
1440 <= v < 1620	552.935	49.392	0,151802740503627	0,159138703476358	sim
1620 <= v < 1800	517.088	41.906	0,0454145096643682	0,04736640521781	sim
1800 <= v < 2010	565.094	39.123	-0,124852165354514	-0,130314442913252	sim
2010 <= v < 2130	304.703	17.915	-0,299421532648416	-0,305847855024567	sim
2130 <= v < 2340	501.733	26.054	-0,430888566278001	-0,445489849605641	sim
2340 <= v < 2580	524.312	24.671	-0,534577992313583	-0,552725534070417	sim
2580 <= v < 2850	532.838	23.875	-0,585860052548918	-0,605653764432525	sim
2850 <= v < 3150	519.834	22.223	-0,635007475250037	-0,655497130686441	sim
3150 <= v < 3510	534.074	22.103	-0,668871253452473	-0,690756022274091	sim
3510 <= v < 3930	515.709	20.686	-0,701463699739506	-0,72330442694698	sim

3930 <= v < 4170	243.729	7.916	-0,920469706870024	-0,932667084738789	sim
4170 <= v < 4290	109.215	2.802	-1,16331091853984	-1,16954974303187	sim
4290 <= v < 4890	451.023	8.443	-1,48560015993977	-1,51530931537499	sim
4890 <= v < 4920	18.203	169	-2,19643204569619	-2,19779,189,125,402	sim
4920 <= v < 6060	506.791	3.013	-2,64551605125401	-2,68612292412934	sim
6060 <= v < 9330	500.258	121	-5,85316341083585	-5,8963614311544	sim
9330 <= v < 16740	195.655	0	~ 0	~ 0	não

Na variável *Distancie* (distância a “t1) ocorreram 994.189 (Tabela 26) com significância favorável no teste estatístico para todos os intervalos das faixas, sendo esta uma variável de peso na transição, favorável à urbanização, com Contraste intermediário.

Tabela 26 - Transições de estado “não urbano” para “urbano” ocorridas para a variável Distance.

Intervalos dos pesos	Transição possível	Transição executada	Coefficiente de Peso	Contraste	Significante
0 <= v < 60	38.502	29.059	3,59773790314742	3,62660165515085	Sim
60 <= v < 570	502.003	290.860	2,79398980614756	3,12203241256149	Sim
570 <= v < 780	176.286	75.376	2,18194327492184	2,25219740856128	sim
780 <= v < 1050	213.129	75.854	1,88050761034221	1,94816814560799	sim
1050 <= v < 1260	159.283	48.729	1,65445362947433	1,69529392045363	sim
1260 <= v < 1800	416.247	106.846	1,41043375865175	1,49755260160138	sim
1800 <= v < 1830	23.867	5.275	1,21393068213322	1,21767341921515	sim
1830 <= v < 2130	234.383	47.204	1,09609663994037	1,1287469957853	sim
2130 <= v < 2160	22.574	4.031	0,947605508230372	0,950095250381899	sim
2160 <= v < 2340	144.895	24.214	0,867463661092413	0,881838309442241	sim
2340 <= v < 2820	390.079	56.567	0,699430313029876	0,729332821802771	sim
2820 <= v < 2850	25.427	3.212	0,539809443137233	0,541160585427426	sim
2850 <= v < 3000	125.265	14.802	0,463765066958991	0,469357860424314	sim
3000 <= v < 3030	24.291	2.683	0,387555338393762	0,388424355467012	sim
3030 <= v < 3630	506.788	48.298	0,223135054166437	0,233295088995842	sim
3630 <= v < 4260	522.191	38.773	-0,0494741922725385	-0,0515345869337920	sim
4260 <= v < 4590	270.862	16.107	-0,287364955446472	-0,292862391581582	sim
4590 <= v < 5220	513.367	26.221	-0,44831987294014	-0,463762015002695	sim
5220 <= v < 5880	520.280	24.068	-0,552436713963439	-0,570902547935304	sim
5880 <= v < 6270	289.681	10.422	-0,814537326687667	-0,827955550597347	sim
6270 <= v < 6300	21.538	576	-1,12067550959364	-1,2187442986555	sim
6300 <= v < 7050	516.185	14.233	-1,08925790206112	-1,1831865556973	sim
7050 <= v < 7830	506.383	10.582	-1,37333680861884	1,40557189553802	sim
7830 <= v < 8640	501.682	7.703	-1,68719975935147	-1,72219634589041	sim
8640 <= v < 9510	507.278	4.812	-2,17473179439951	-2,2134058345421	sim
9510 <= v < 10440	515.801	2.847	-2,72023698079783	-2,76182416187759	sim
10440 <= v < 11460	500.482	2.646	-2,76353825638538	-2,80398931561775	sim
11460 <= v < 12660	502.453	2.045	-3,02634259273984	-3,06762724531263	sim
12660 <= v < 14070	503.978	144	-5,68650544470496	-5,73000763658136	sim
14070 <= v < 15600	503.409	0	~ 0	~ 0	não
15600 <= v < 17280	502.162	0	~ 0	~ 0	não
17280 <= v < 19320	506.094	0	~ 0	~ 0	não
19320 <= v < 21930	501.396	0	~ 0	~ 0	não
21930 <= v < 25590	501.424	0	~ 0	~ 0	não
25590 <= v < 30750	501.904	0	~ 0	~ 0	não
30750 <= v < 42810	500.147	0	~ 0	~ 0	não
42810 <= v < 55080	79.593	0	~ 0	~ 0	não

O mapa das probabilidades de transições de cada ano proposto está demonstrado nas Figuras 50 a 56, também ampliadas no Apêndice.

Nas áreas centrais destes mapas na tonalidade branca, figuram as células que transitaram de estado “não urbano” para “não urbano” considerando o peso das variáveis envolvidas.

O mapa de probabilidade para geração de cenários do ano de 1990 (Figura 50) apresenta áreas favoráveis à urbanização (tonalidade azul escuro), com destaque para o Distrito Federal.

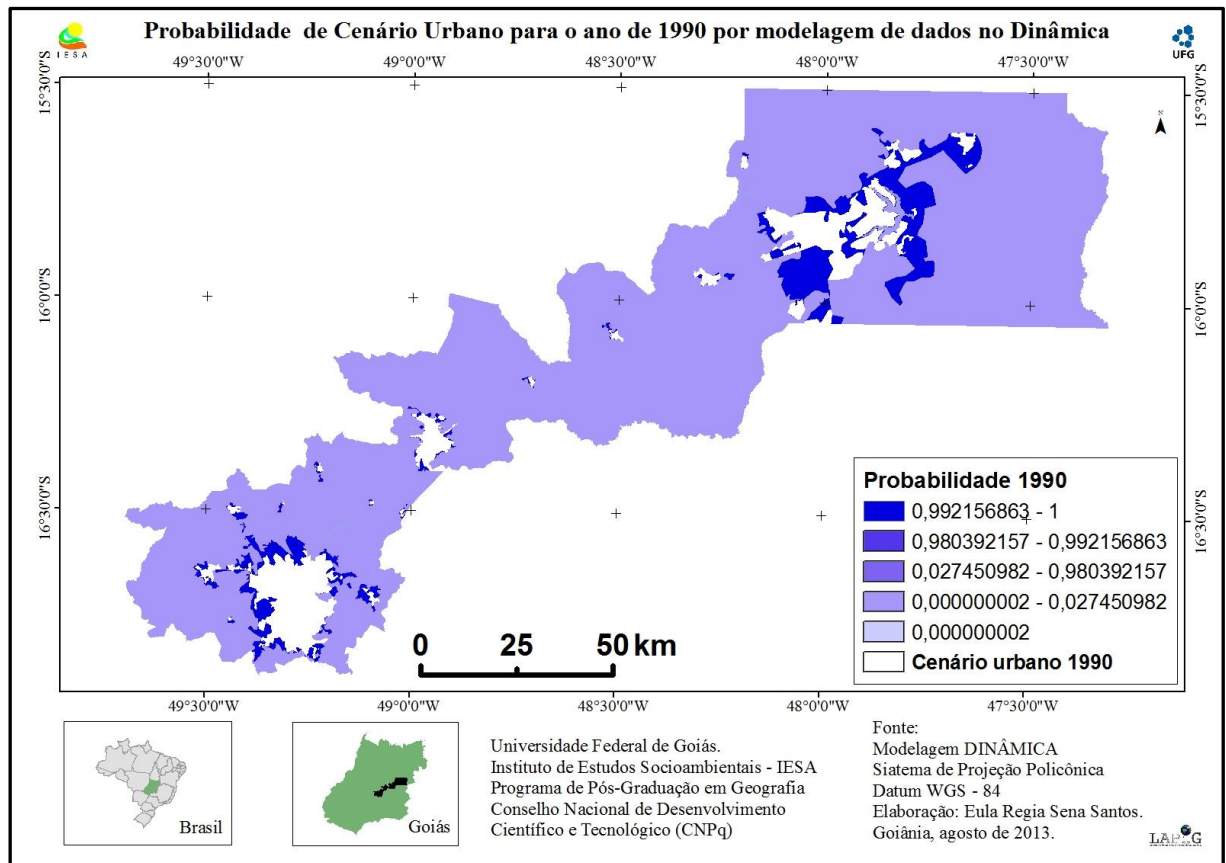


Figura 50 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 1990.

O mapa de probabilidade de cenários para o ano de 2000 (Figura 50) mostra início de urbanização nas áreas que em 1990 eram somente áreas propícias à expansão urbana (pigmentação na tonalidade branca).

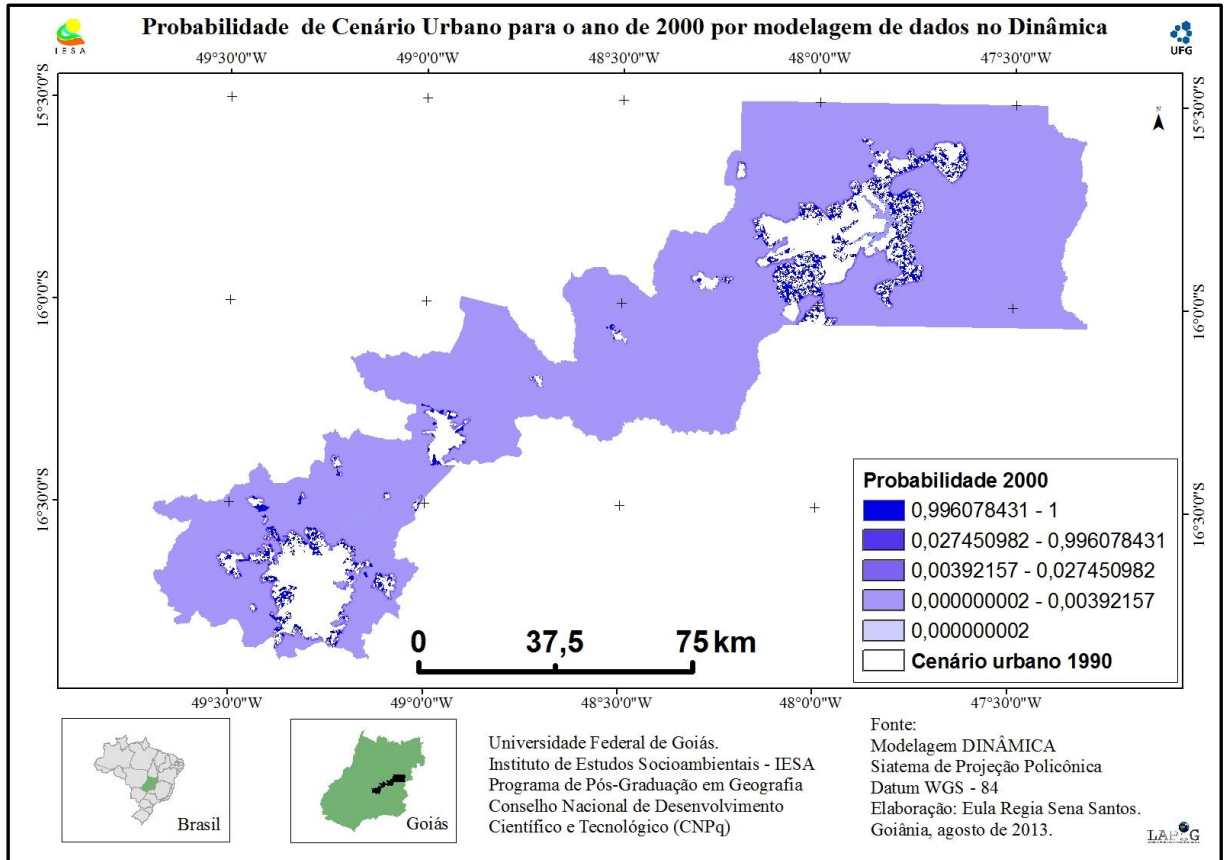


Figura 51 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2000.

O mapa de probabilidade de cenários para o ano de 2010 (Figura 52), revela que as áreas antes favoráveis à expansão apontadas desde 1990, agora estão quase que totalmente urbanizadas. Este mapa mostra poucas áreas favoráveis à expansão urbana.

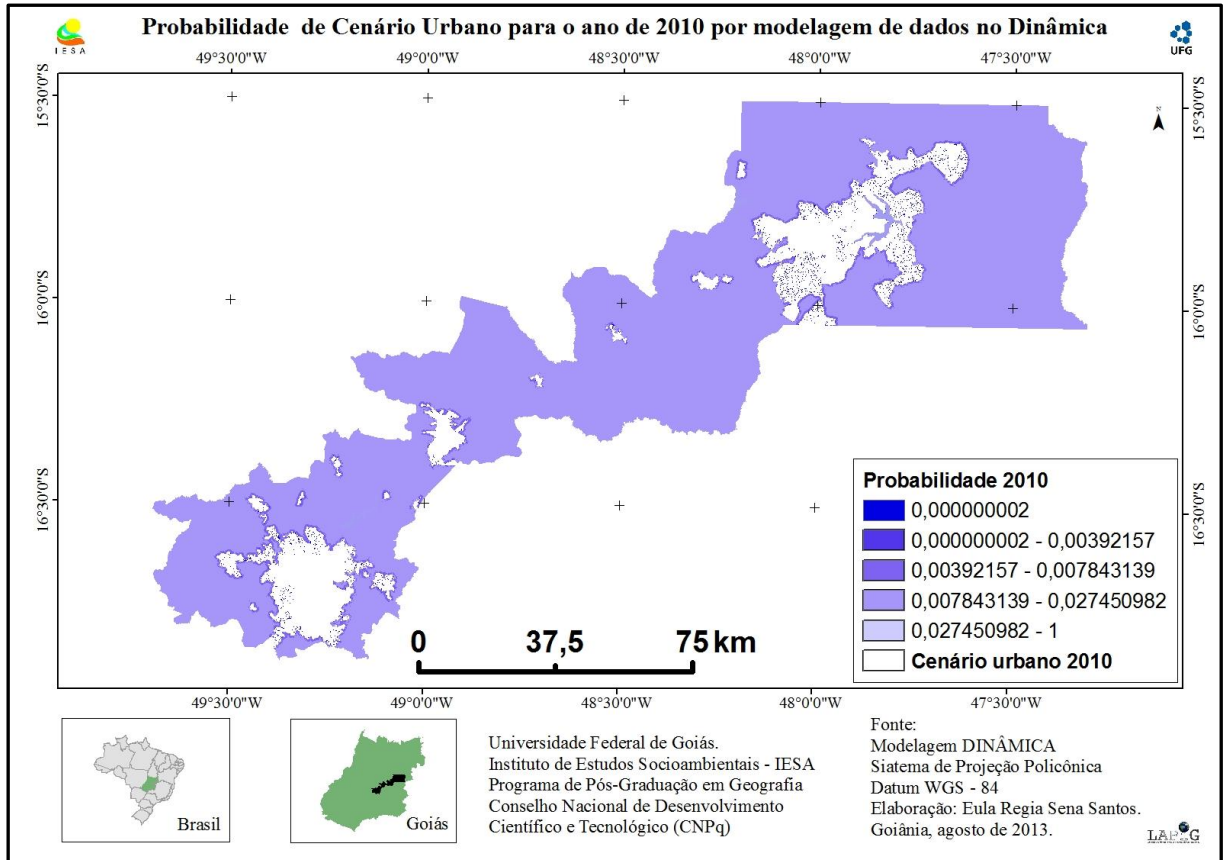


Figura 52 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2010.

O mapa de probabilidade de cenários para o ano de 2020 (Figura 53) revela que áreas apontadas em 1990, como favoráveis à expansão, já estão quase que totalmente adensadas, com destaques para a RMG, Anápolis e Distrito Federal, ainda o início de novas áreas favoráveis à expansão da urbanização a partir das bordas das manchas das localidades.

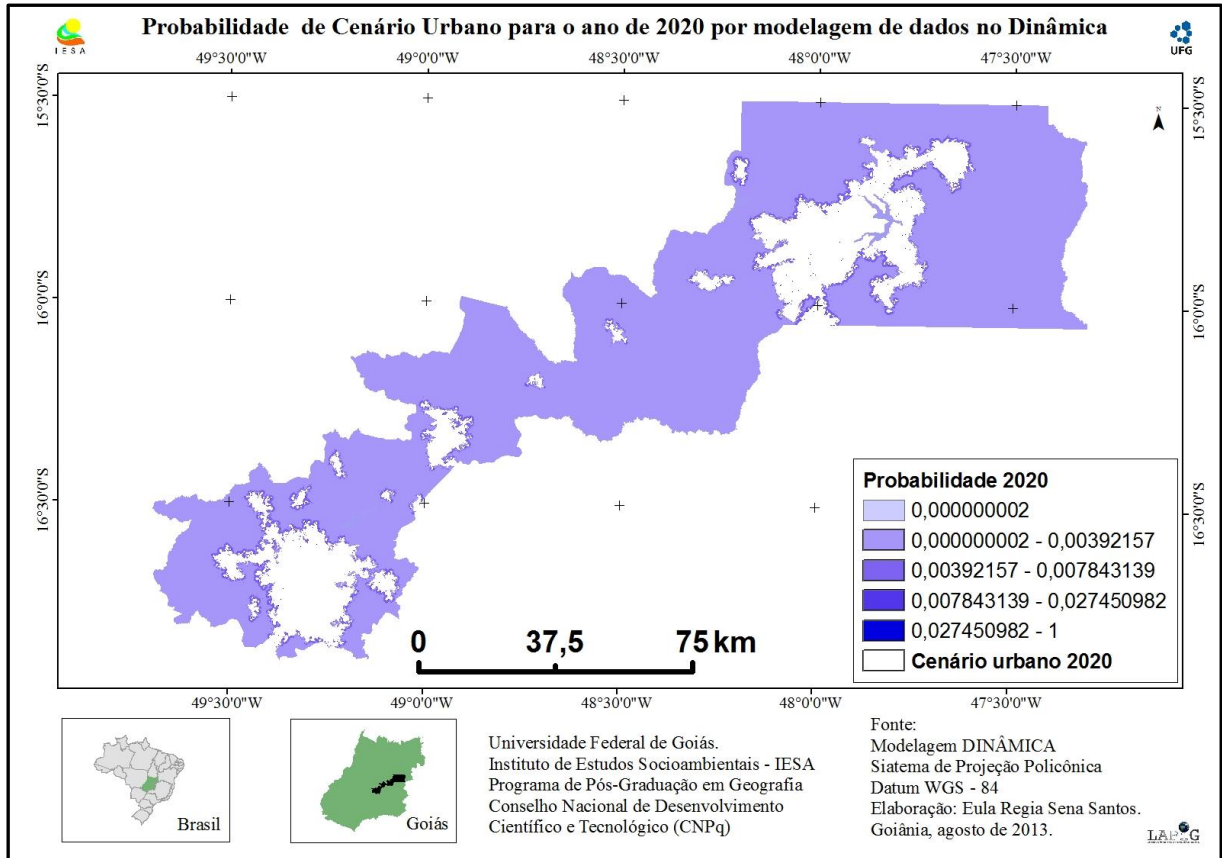


Figura 53 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2020.

O mapa de probabilidade de cenários do ano 2030 (Figura 54, mostra áreas com maior potencial de urbanização, porém as localidades de Abadiânia e Goianópolis, apresentam baixa probabilidade de crescimento urbano (baixa tonalidade de manchas em azul escuro).

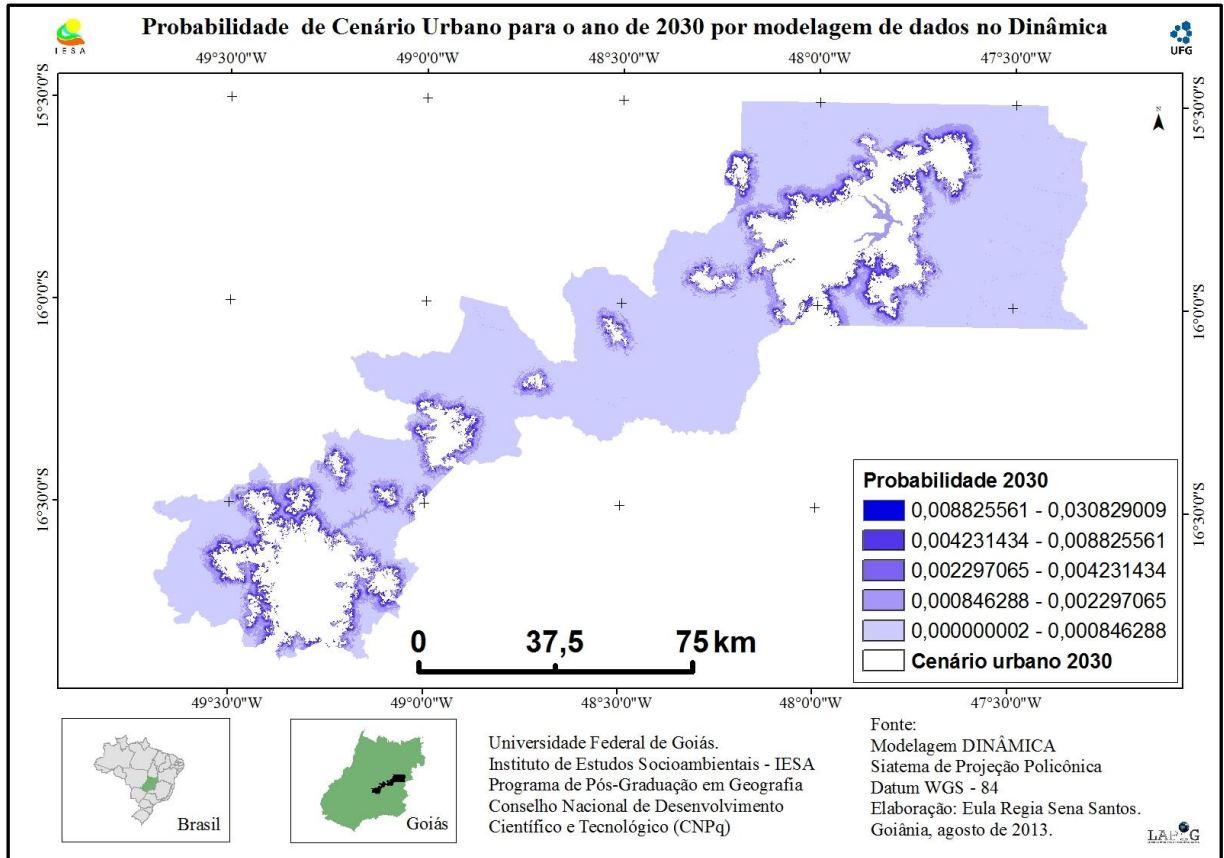


Figura 54 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2030.

Visualmente, o mapa de probabilidade para o ano de 2040 (Figura 56), apresenta menor probabilidade de crescimento urbano comparados às formações de mancha (do mapa de 2030), apontando possível diminuição da probabilidade de crescimento da mancha urbana.

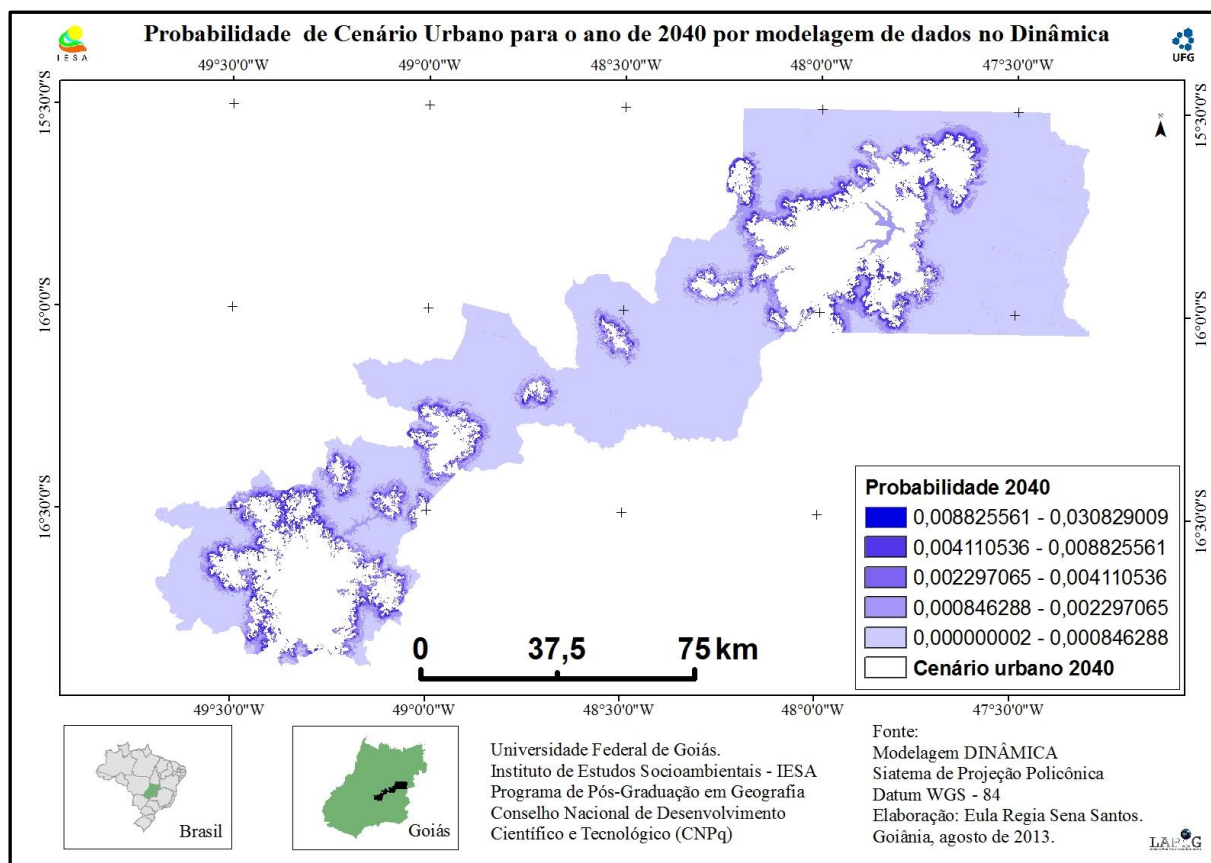


Figura 55 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2040.

No mapa de probabilidade para o ano de 2050 (Figura 56), confirma a diminuição do crescimento urbano na região pesquisada. Também é possível visualizar áreas antes adensadas, sofrerem um processo de fragmentação e contração de manchas urbanas em áreas, antes adensadas, ao comparar com o mapa de 2040.

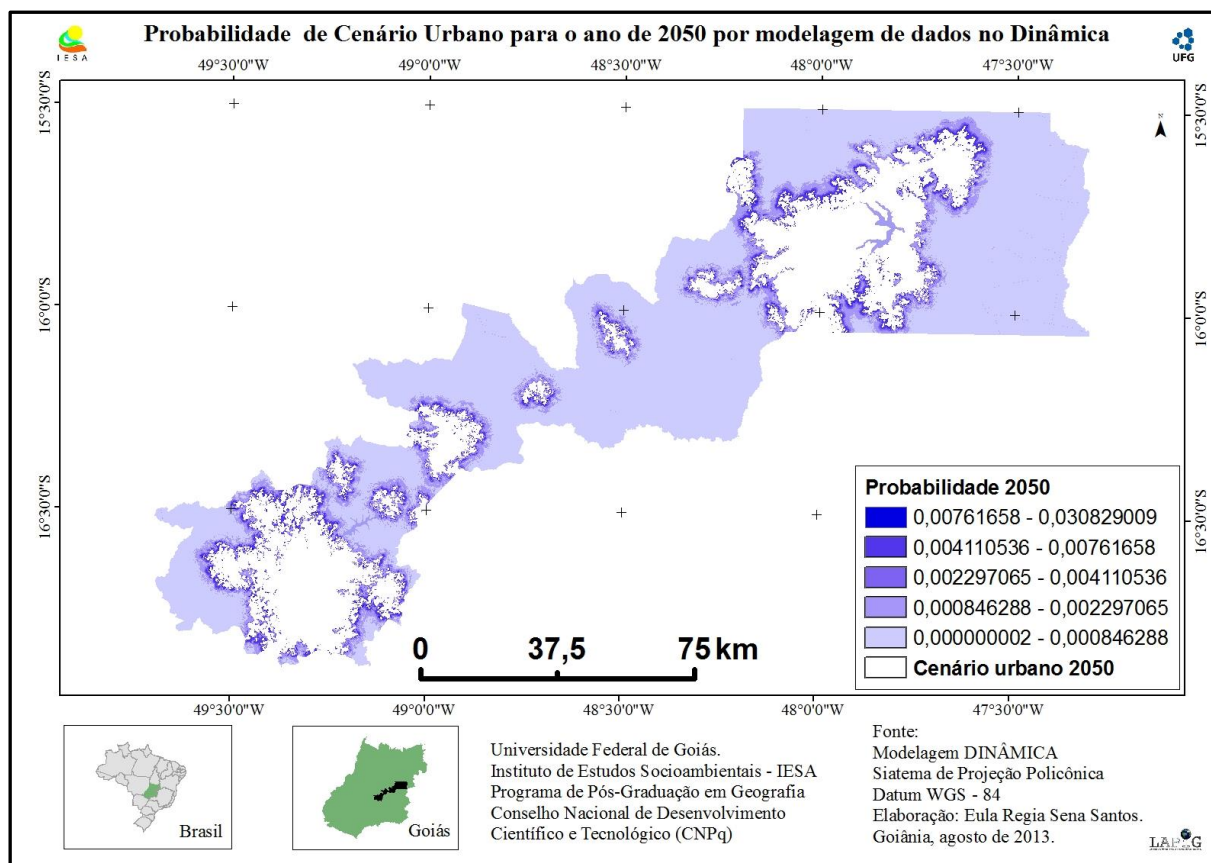


Figura 56 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2050.

Os resultados dos cálculos de matrizes das transições possíveis decorrentes das funções de transição do *Expander* e *Patcher* para expansão e formação de manchas urbanas a partir de t1 (1989) para cada uma das iterações ou passos de tempo (61), estão demonstrados na Tabela 27, também na Figura 57 pode ser observado a tendência de evolução das transições a partir da iteração de 1990 até 2050, no qual é observada a tendência de decrescimento a cada passo de tempo para o *Expander* e *Patcher*.

Tabela 27 - Transições do estado “não urbano” para “urbano” dos 61 passos de tempo para o eixo Goiânia.

Passo de Tempo	<i>Expander</i>	<i>Patcher</i>
1990	9856	39424
1991	9818	39272
1992	9780	39120
1993	9742	38970
1994	9705	38820
1995	9667	38670
1996	9630	38521
1997	9593	38372
1998	9556	38224
1999	9519	38077
2000	9482	37931
2001	9446	37784
2002	9409	37639
2003	9373	37494
2004	9337	37349
2005	9301	37206
2006	9265	37062
2007	9230	36920
2008	9194	36777
2009	9159	36636
2010	9123	36495
2011	9088	36354
2012	9053	36214
2013	9018	36074
2014	8984	35936
2015	8949	35797
2016	8914	35659
2017	8880	35522
2018	8846	35384
2019	8812	35248
2020	8778	35112
2021	8744	34977
2022	8710	34843
2023	8677	34708
2024	8643	34575
2025	8610	34441
2026	8577	34308
2027	8544	34176
2028	8511	34045
2029	8478	33914
2030	8445	33783
2031	8413	33653
2032	8381	33524
2033	8348	33394
2034	8316	33265
2035	8284	33137
2036	8252	33010
2037	8220	32883
2038	8189	32756
2039	8157	32630
2040	8126	32504
2041	8094	32379
2042	8063	32254
2043	8032	32130
2044	8001	32006
2045	7970	31883
2046	7940	31760
2047	7909	31637
2048	7879	31516
2049	7848	31394
2050	7818	31273

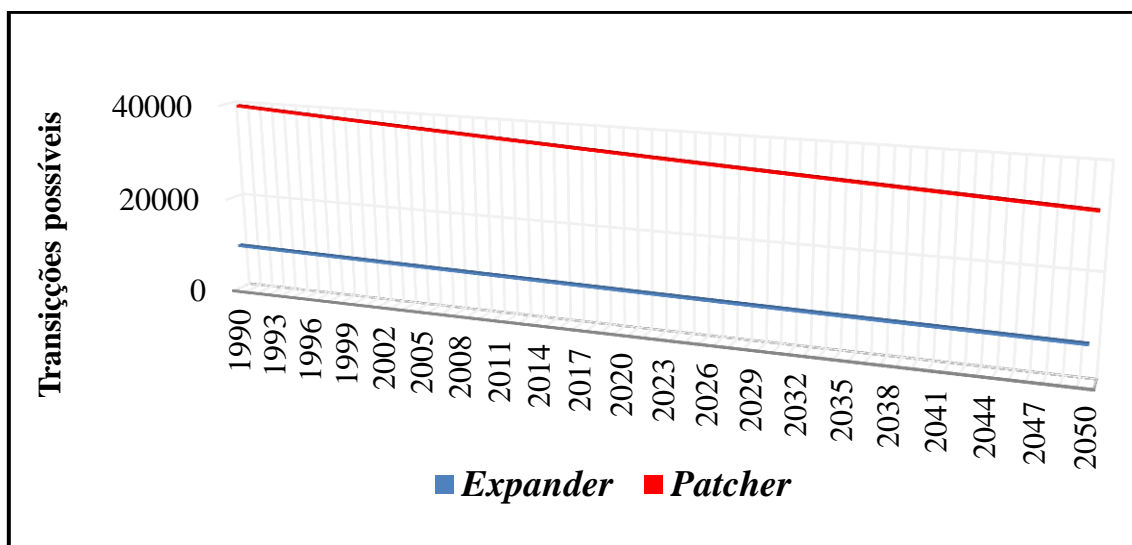


Figura 57 - Evolução do *Expander* e *Patcher* na simulação de cenários para o eixo Goiânia-Brasília para transição de estado "não urbano" para "urbano".

Os Cenários das simulações das áreas urbanizadas para os anos de 1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040 e 2050, são apresentados nas figuras 58 a 64, também no Apêndice.

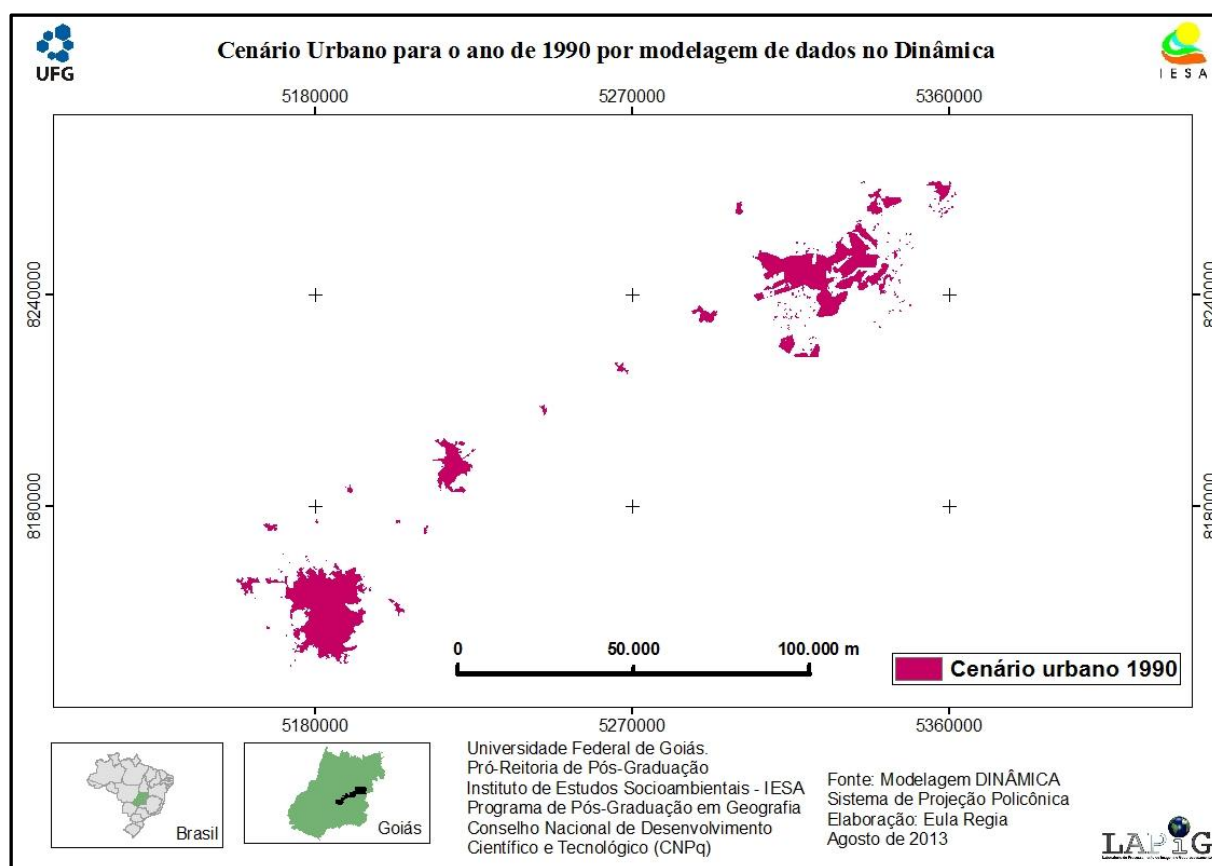


Figura 58 – Cenários da mancha urbana para o ano de 1990, gerado com a simulação no DINÂMICA.

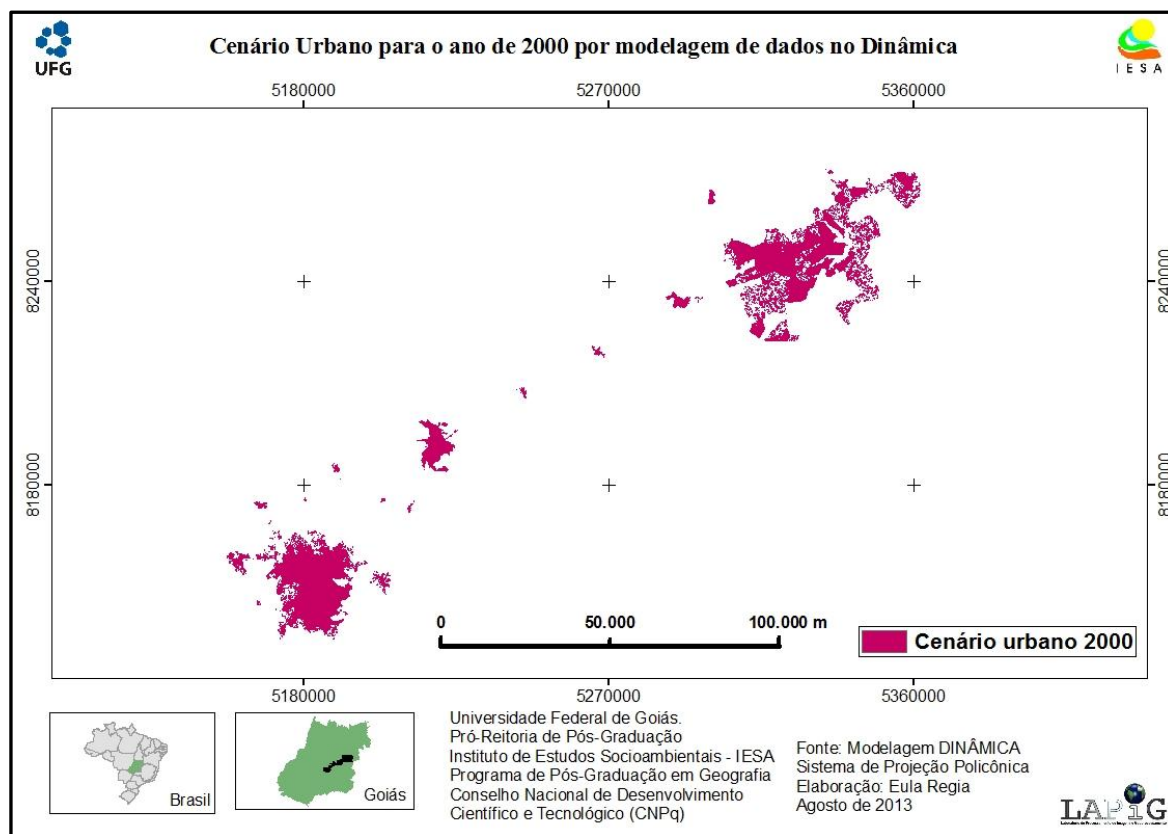


Figura 59 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2000, gerado com a simulação no DINÂMICA.

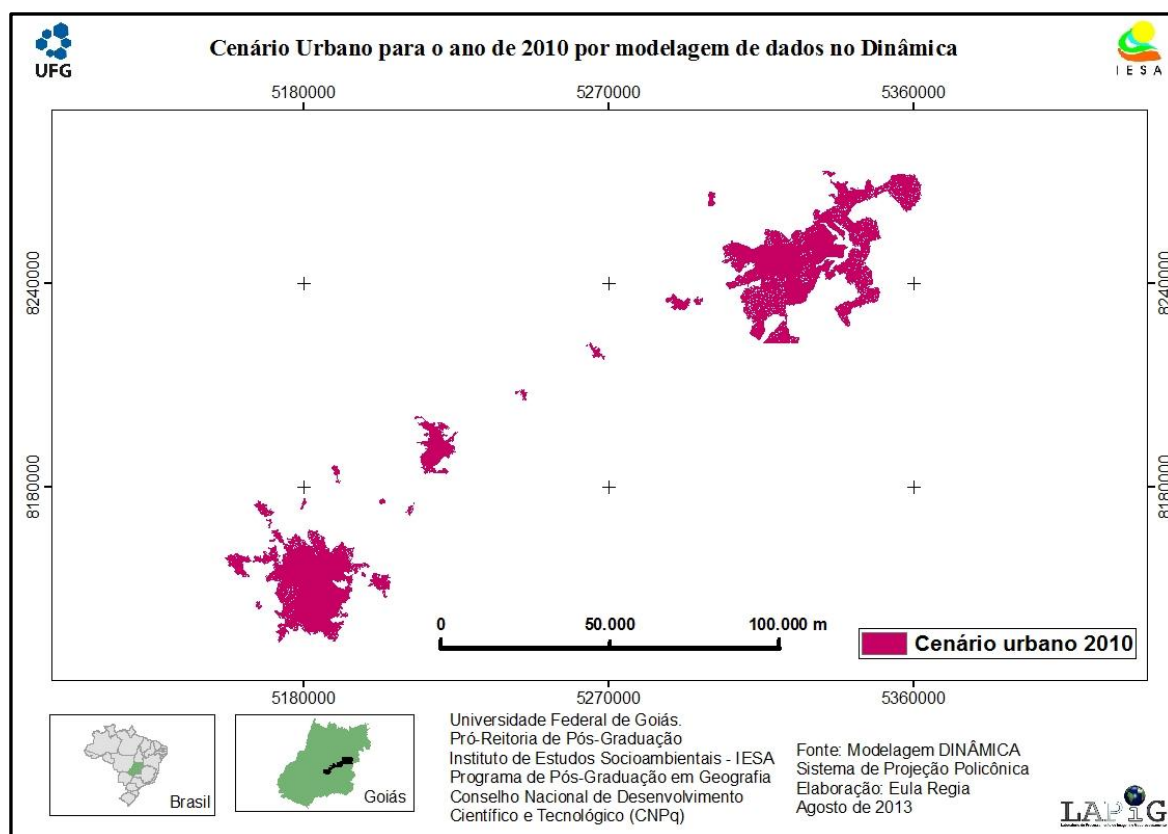


Figura 60 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2010, gerado com a simulação no DINÂMICA.

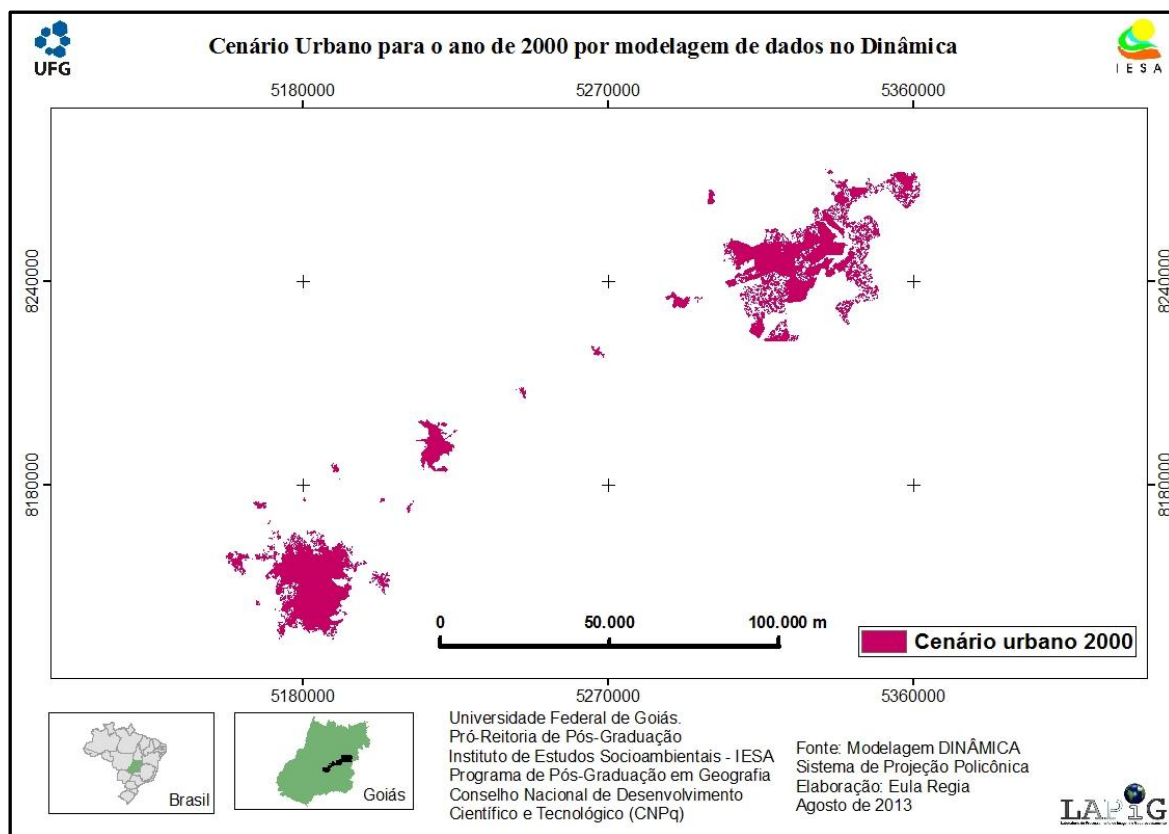


Figura 61 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2020, gerado com a simulação no DINÂMICA.

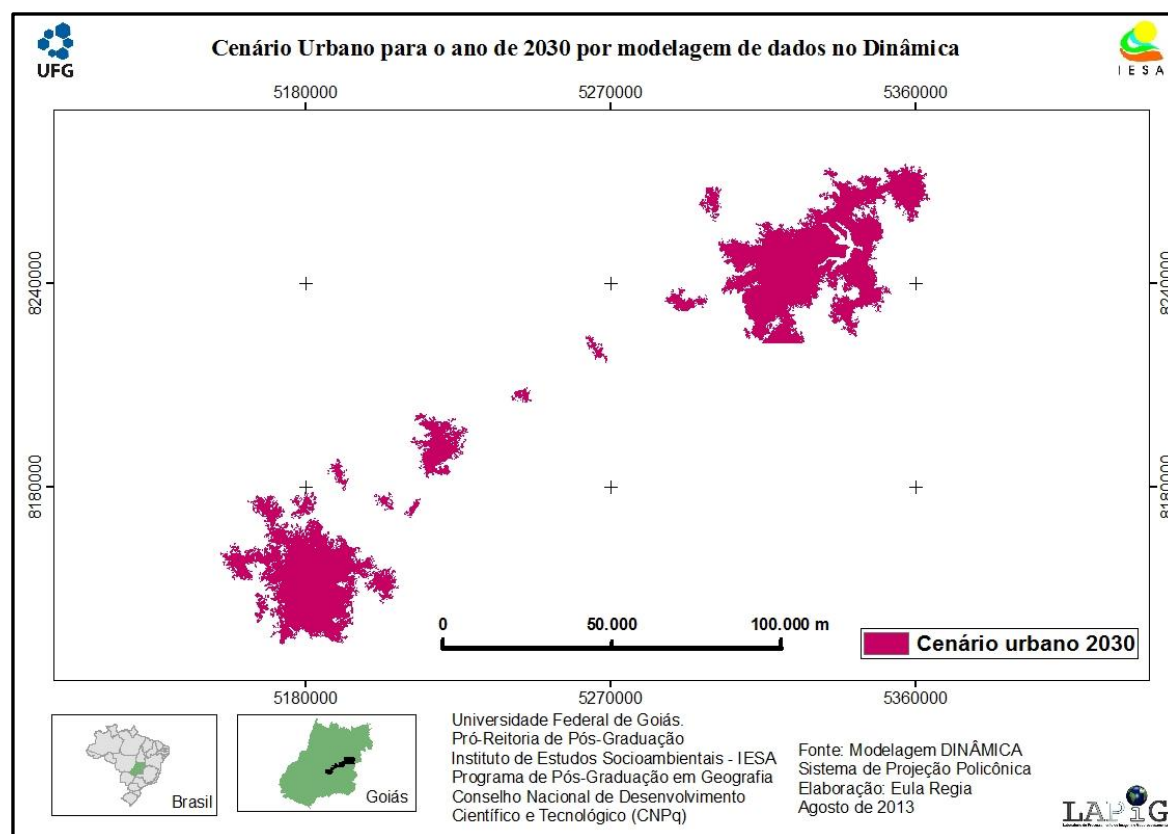


Figura 62 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2030, gerado com a simulação no DINÂMICA.

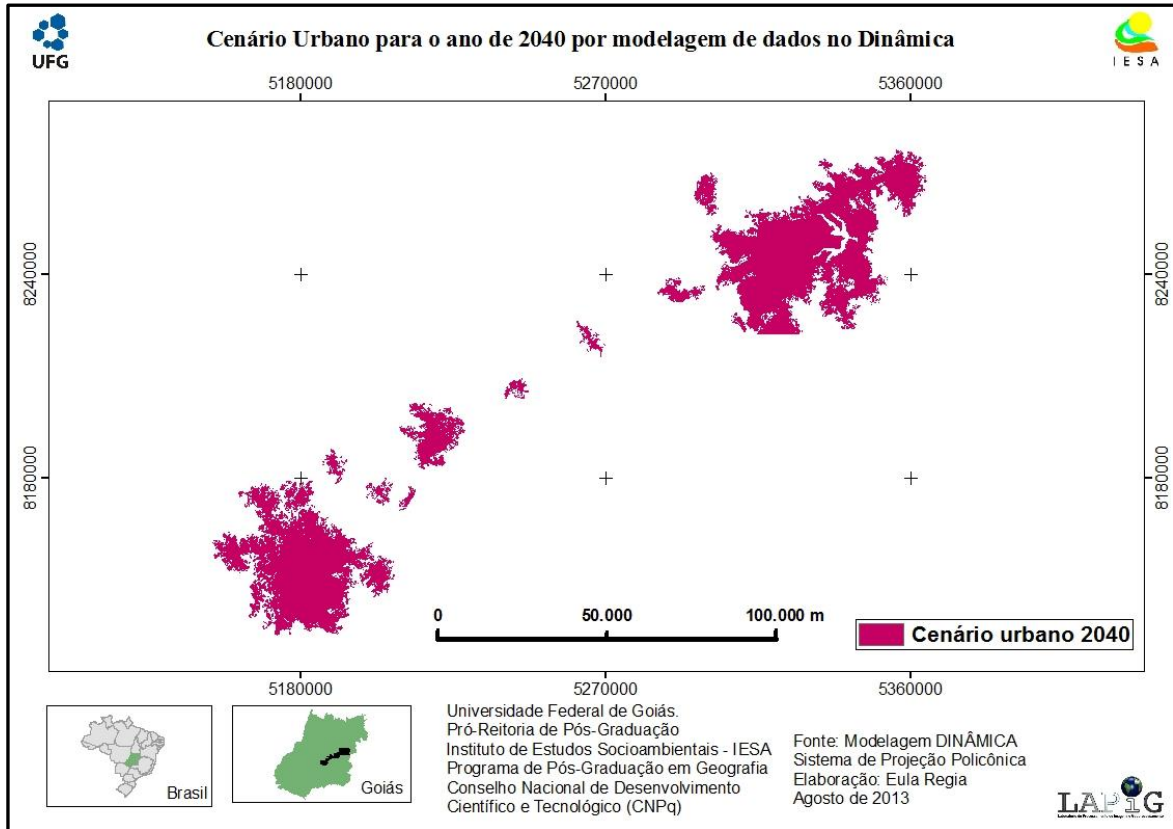


Figura 63 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2040, gerado com a simulação no DINÂMICA.

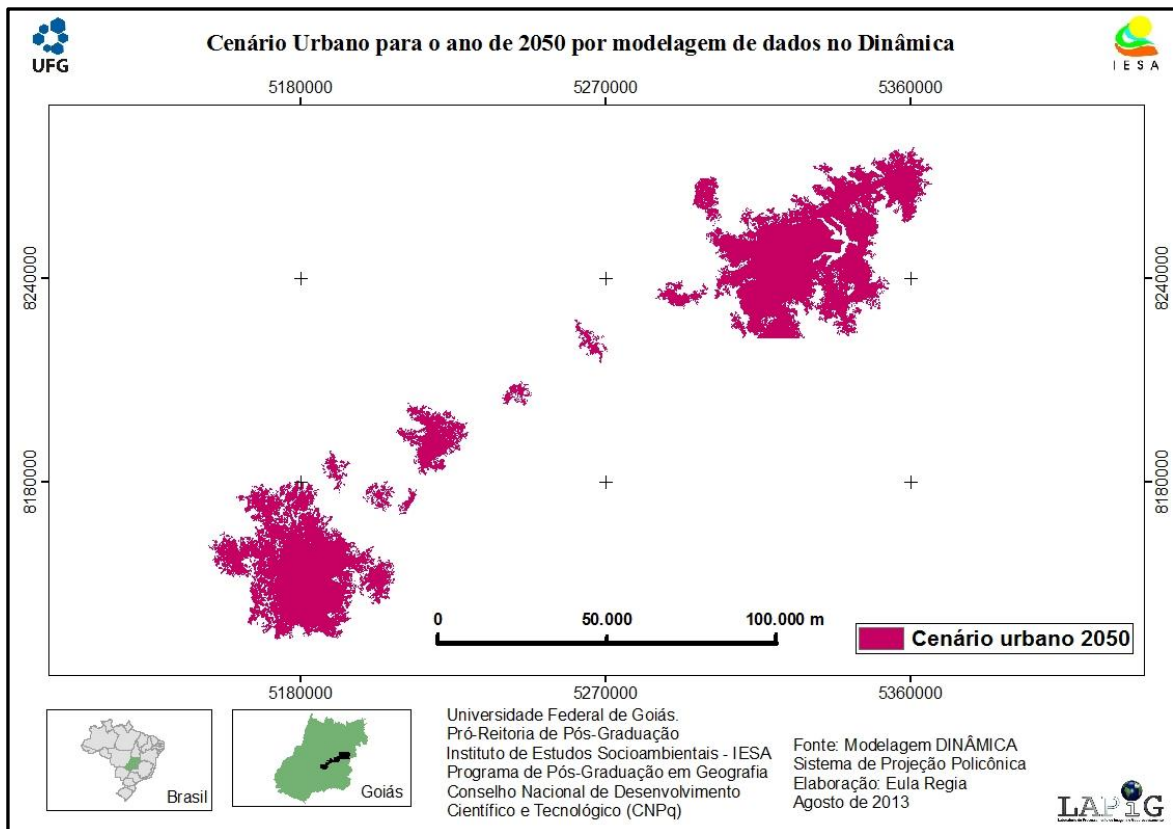


Figura 64 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2050, gerado com a simulação no DINÂMICA.

No mapa “t1”, proveniente da delimitação a partir das imagens Landsat, áreas com tendência à conurbação, entre Goiânia e Trindade, e Goiânia e Aparecida, já eram perceptíveis. Goianira, em 1989, apresentava um bairro isolado próximo ao limite municipal com Goiânia, assim como Senador Canedo, ambos destacados na Figura 65.

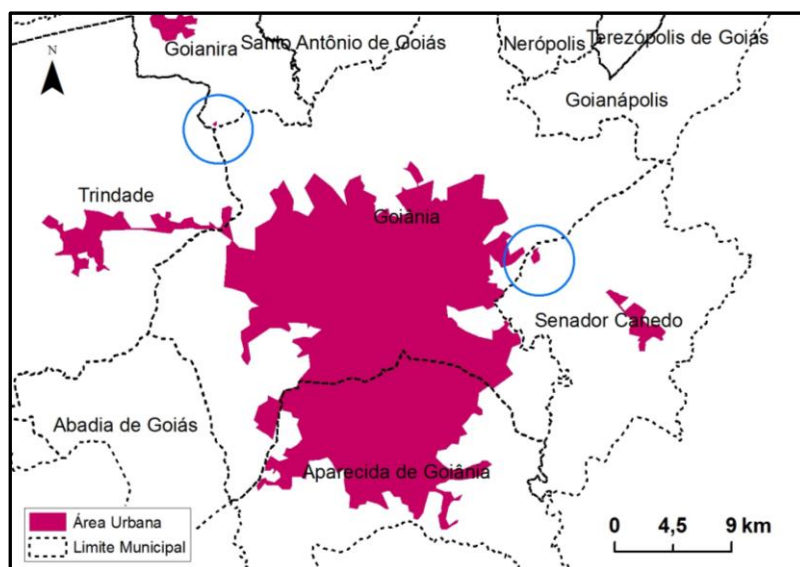


Figura 65 – Ano de 1989 - manchas urbanas – conurbações existentes e bairros isolados.

A partir da simulação, no ano de 1990 se iniciam as formações de novas áreas urbanizadas em Goianira, em direção à Trindade e também à Goiânia; o mesmo processo se repete em Anápolis, em direção à Terezópolis, conforme destaca a Figura 66.

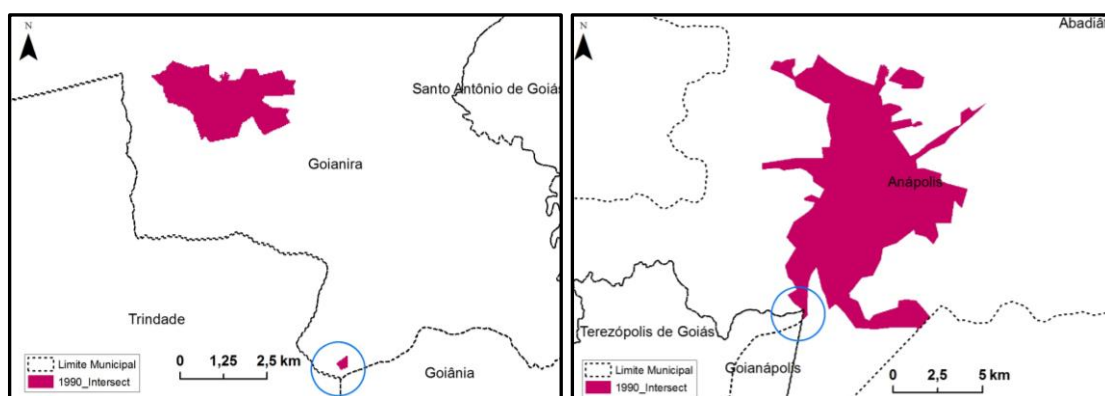


Figura 66 – Expansão de áreas urbanas em 1990 (simulado) em (1) Goianira, Trindade, Goiânia, e (2) em Anápolis, Terezópolis e Goianópolis.

Na simulação, em 2000 é observado na Figura 67 a formação de novas manchas urbanas no Distrito Federal, ocorrência de mancha isolada em direção à cidade de Santo Antônio de Goiás.

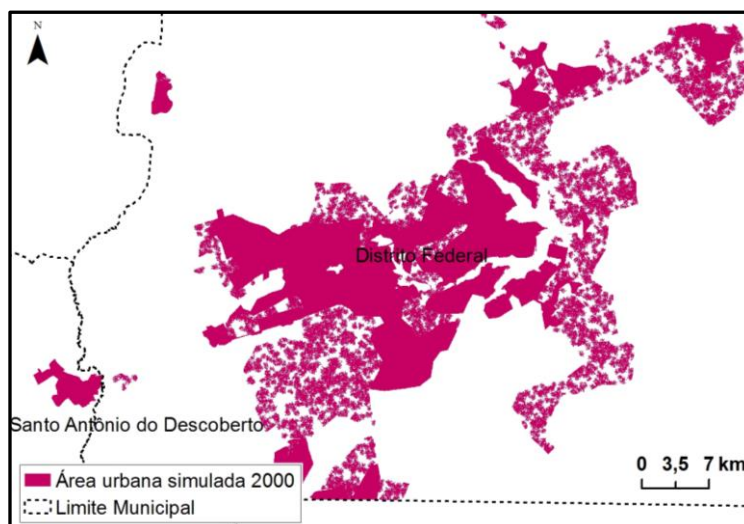


Figura 67 – Simulação de cenários para o ano de 2000 com formação de novas manchas urbanas no Distrito Federal.

Ainda é observado, na simulação do ano 2000 que as formações das manchas tendem a ir em direção às áreas delimitadas por Landsat “t2”, e em 2010 essas manchas são quase que totalmente coincidentes com as Áreas “t2” (Figura 68).

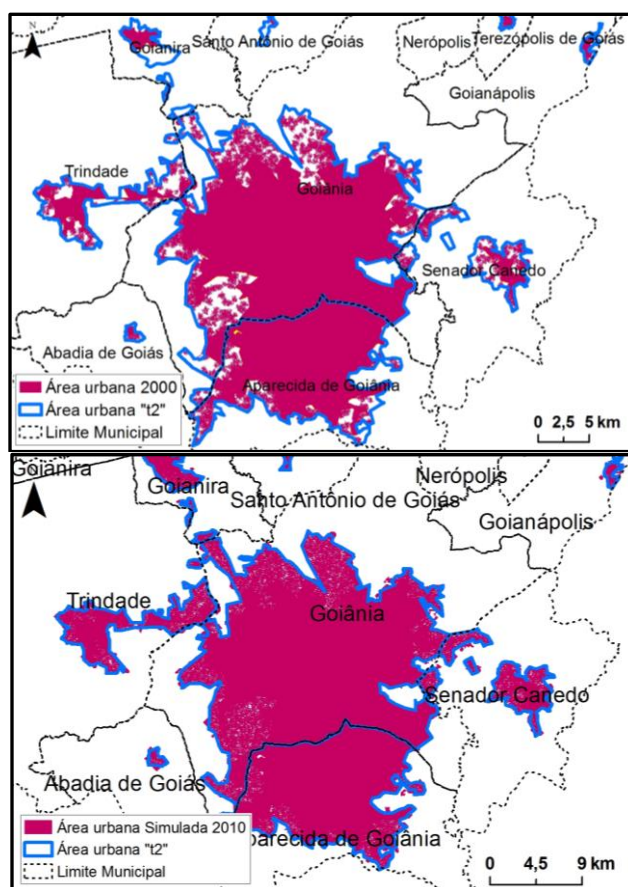


Figura 68 – Cenários de 2000 e 2010 - tendência de formação de manchas urbanas coincidindo com às delimitadas por Landsat “t2”.

A partir da simulação no ano de 2030, se iniciam as formações de novas áreas urbanizadas conurbando Nerópolis com Goiânia, e Terezópolis, também, Terezópolis com Goianápolis, e Anápolis com Terezópolis e com Goianápolis (Figura 69).

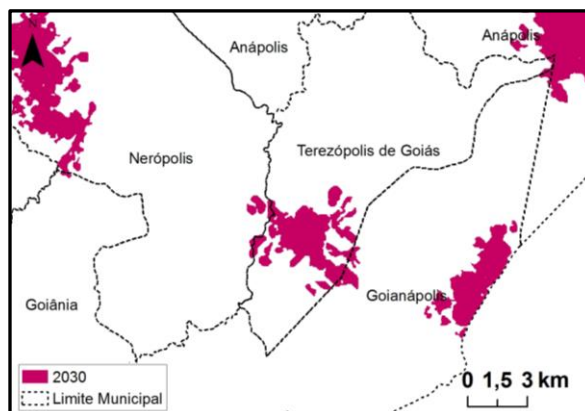


Figura 69 – Cenários da expansão da mancha urbana no eixo Goiânia-Brasília em 2030.

Nos cenários para o ano 2040, tanto o Distrito Federal quanto Anápolis apresenta um grande adensamento urbano, e a RMG além de adensada, bastante conurbada (Figura 70).

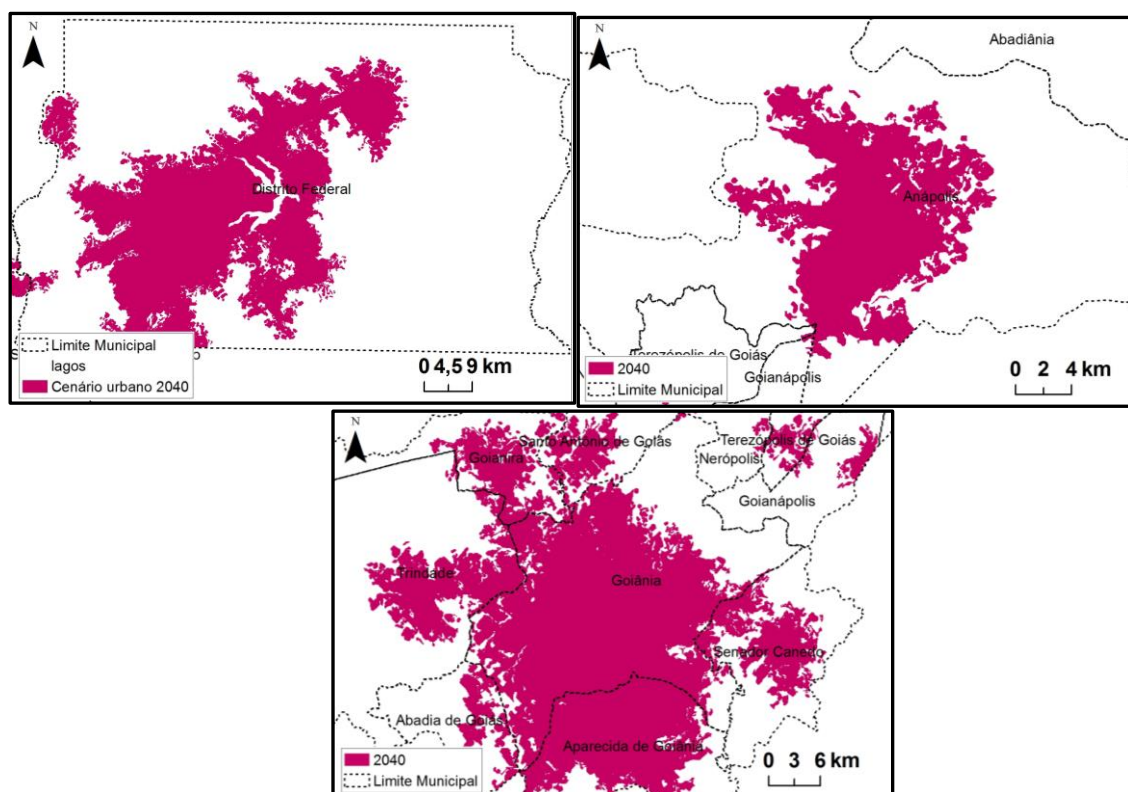


Figura 70 – Cenários da expansão da mancha urbana no eixo Goiânia-Brasília em 2040.

Alexânia e Abadiânia, com um crescimento urbano bem menor que das demais cidades deste eixo, indicam uma baixa probabilidade para o fenômeno da conurbação, como mostra a Figura 71, ao menos até o ano de 2050.

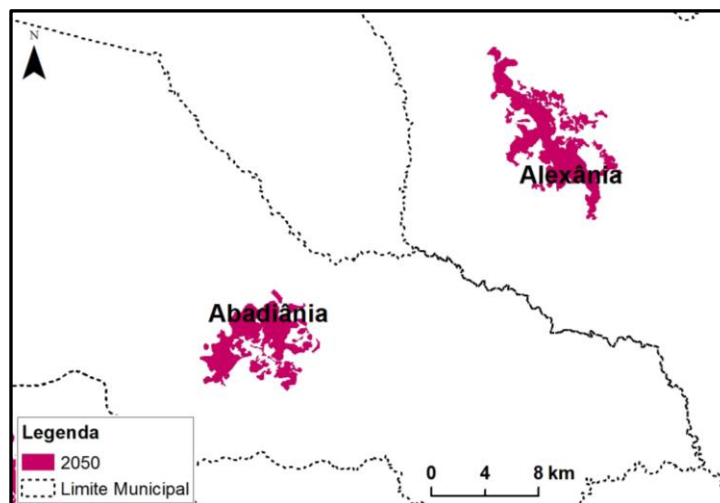


Figura 71 – Cenário da mancha urbana de Abadiânia e Alexânia em 2050.

A partir dos mapas gerados nas simulações, foi calculado o total de área urbana para cada iteração propostas para análise (i.e., 1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040 e 2050). O cálculo de áreas de ocupação das manchas urbanas foi realizado considerando a subtração do crescimento urbano dentro das Unidades de Conservação de Uso Permanente, uma vez que o modelo de dados não contempla esta operação (Figura 72).

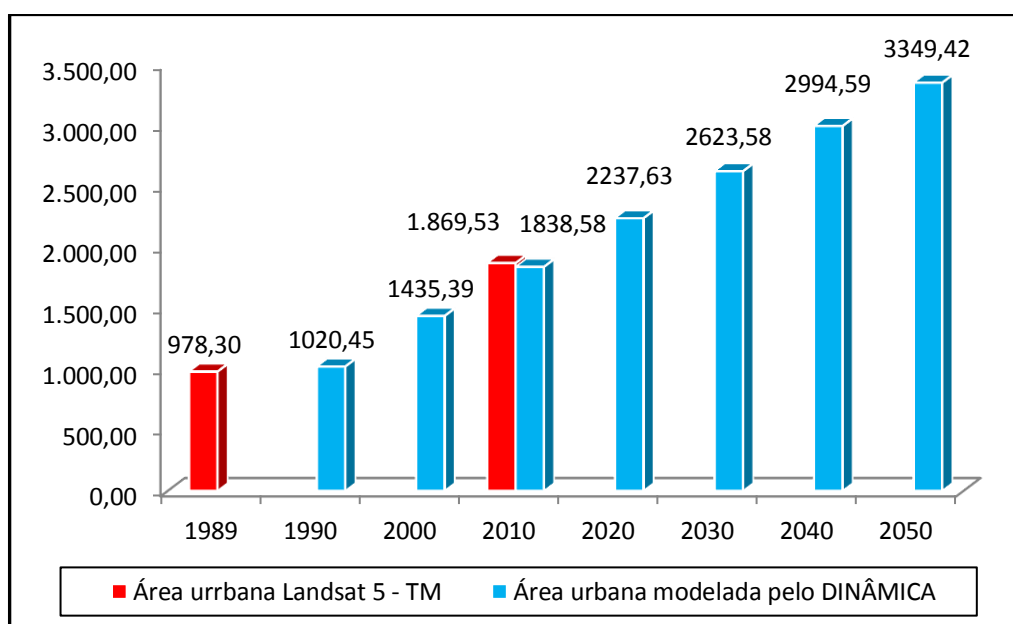


Figura 72 - Comparação da área urbana no eixo Goiânia-Brasília (km²) simulada pelo modelo no DINÂMICA EGO com a interpretação de imagens Landsat 5 – TM (em 1989 e 2010).

Na mesma figura 70 também são apresentados o total de áreas urbanas delimitadas por interpretação visual com imagens Landsat 5 - TM nos anos 1989 (t1) e 2010 (t2).

Foi realizado o cálculo da diferença entre áreas 2010 (1838,58 km²) do cenário simulado e área de t2 (1.869,53 km²) calculada no mapa elaborado por interpretação de imagens Landsat, e obteve uma diferença de 30,94 km², o equivalente a 1,66 % menor que t2 – prevendo uma simulação bem próxima do cenário delimitado por Landsat 5 - TM.

Nos cenários simulados a partir da modelagem no DINAMICA EGO, foi notado que quanto mais próximo for o passo de tempo de t1, maior é o tamanho da área total entre cada década observada.

- 2050 - 2040 = 354,83 km²;
- 2040 - 2030 = 371,00 km²;
- 2030 - 2020 = 385,95 km²;
- 2020 - 2010 = 399,05 km²;
- 2010 - 2000 = 403,20 km²;
- 2000 -1990 = 414,94 km².

Por base na Tabela 28, observa-se que o crescimento relativo da mancha urbana das localidades no ano de 2050 (**em número de vezes** comparadas a seus tamanhos concernentes à “t1” - 1989) por ordem decrescente, classifica-se: Santo Antônio de Goiás (120,46), Abadia de Goiás (65,11), Terezópolis de Goiás (19,77), Goianira (17,75), Senador Canedo (16,20), Nerópolis (14,05), Goianápolis (13,99), Abadiânia (10,02), Trindade (7,96), Alexânia (6,90), Distrito Federal (3,96), Anápolis (2,44), Santo Antônio do Descoberto (2,18), Goiânia (2,09), Aparecida de Goiânia (1,65).

Ainda, baseado nessa tabela foi notado que as áreas dos cenários simulados para o ano de 2010, estão bem aproximadas às de “t2”, com exceção do Distrito Federal que ficou pouco mais abaixo.

Tabela 28 – “t1”, “t2” e áreas urbanas (km²) dos cenários simulados (1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040, 2050).

Localidades	"t1"	Simulação			"t2"	Simulação				
	1989	1990	2000	2010	2010	2020	2030	2040	2050	
Abadia de Goiás	0,71	0,70	1,34	2,06	2,81	9,21	20,73	35,42	47,65	
Abadiânia	2,53	2,73	3,94	4,01	4,87	9,37	12,75	19,24	25,34	
Alexânia	4,77	4,76	5,07	7,67	9,29	13,38	16,52	23,42	32,92	
Anápolis	80,81	81,06	82,04	96,65	100,97	124,05	150,47	172,97	197,18	
Aparecida de Goiânia	127,36	130,26	149,13	163,42	166,15	184,89	196,98	204,35	210,70	
Distrito Federal	448,7	478,05	787,73	1.095,31	1.043,52	1.235,68	1.416,60	1.597,71	1.775,05	
Goianápolis	1,37	1,55	2,10	2,82	3,34	6,31	9,66	15,09	19,17	
Goiânia	261,71	268,88	323,26	376,34	378,56	440,98	490,43	521,91	546,96	
Goianira	5,2	5,61	5,76	14,31	15,63	31,45	54,54	73,67	92,32	
Nerópolis	2,37	2,37	3,53	5,75	5,85	11,93	19,48	26,25	33,29	
Santo Antônio de Goiás	0,48	0,47	0,47	2,11	2,74	11,52	27,59	42,85	57,82	
Santo Antônio do Descoberto	15,85	16,38	16,66	17,60	18,80	23,92	27,91	31,33	34,47	
Senador Canedo	6,46	6,47	21,00	33,74	35,74	57,12	73,83	90,35	104,63	
Terezópolis de Goiás	1,07	1,08	1,34	1,80	2,43	5,86	10,35	15,91	21,15	
Trindade	18,91	19,95	31,85	45,93	47,51	71,73	95,51	123,82	150,47	

Na modelagem em questão, o mapa de Unidades de Conservação (UC) não foi considerado. Assim, uma análise posterior (visando a geração de um cenário ambiental/impactos) foi realizada com os mapas resultantes da simulação.

Com base na análise do Cenário Ambiental a partir do cruzamento do mapa de UC (estadual e federal) com os mapas gerados com a simulação de áreas urbanas do Distrito Federal e localidades pesquisadas, são apresentadas os cenários impactados (em destaque na Tabela 29).

Tabela 29 – Cenário Ambiental da área em pesquisa.

Localidades	"t1"	Simulação			"t2"	Simulação				
	1989	1990	2000	2010	2010	2020	2030	2040	2050	
Abadia de Goiás	0,71	0,70	1,34	2,06	2,81	8,74	19,97	34,54	46,40	
Abadiânia	2,53	2,73	3,94	4,01	4,87	9,37	12,75	19,24	25,34	
Alexânia	4,77	4,76	5,07	7,67	9,29	13,38	16,52	23,42	32,92	
Anápolis	80,81	81,06	82,04	96,65	100,97	124,05	150,47	172,97	197,18	
Aparecida de Goiânia	127,36	130,13	149,01	163,42	166,15	184,77	196,86	204,22	210,58	
Distrito Federal	448,7	470,87	775,36	1.095,31	1.022,81	1.191,73	1.340,21	1.480,77	1.615,62	
Goianópolis	1,37	1,55	2,10	2,82	3,34	6,31	9,66	15,09	19,17	
Goiânia	261,71	268,88	323,26	376,34	378,56	440,98	490,43	521,91	546,96	
Goianira	5,2	5,61	5,76	14,31	15,63	31,45	54,54	73,67	92,32	
Nerópolis	2,37	2,37	3,53	5,75	5,85	11,93	19,48	26,25	33,29	
Santo Antônio de Goiás	0,48	0,47	0,47	2,11	2,74	11,52	27,59	42,85	57,82	
Santo Antônio do Descoberto	15,85	16,38	16,66	17,60	18,80	23,92	27,91	31,33	34,47	
Senador Canedo	6,46	6,47	21,00	33,74	35,74	57,12	73,83	90,35	104,63	
Terezópolis de Goiás	1,07	1,08	1,34	1,80	2,43	5,86	10,35	15,91	21,15	
Trindade	18,91	19,95	31,85	45,93	47,51	71,73	95,51	123,82	150,47	

Nesta análise foi constatada que a UC Serra da Areia, no município de Aparecida de Goiânia, possui uma área de 1,55 km², sendo prevista pelas simulações uma perda de área preservada de 0,12 km², mantendo-se o valor constante em todos os cenários.

A reserva do Parque Estadual Telma Ortegal, em Abadia de Goiás, possui 1,55 km². No processo de simulação, uma possível perda de área preservada de 1,25 km² sobre esta UC, para a década de 2050, impactando em quase 81% de sua totalidade.

No DF foram analisadas 25 UCs, que correspondem a uma área de preservação de 655,67 km², com uma perda de 159,43 km² até década de 2050; sendo as mais afetadas o Parque Nacional de Brasília, Reserva Biológica da Contagem e Estação Ecológica de Águas Emendadas. Em todos os casos analisados, o possível impacto ambiental só ocorrerá se o atual código florestal não for respeitado.

Este modelo de análise espacial abordou uma parcela de uma região que influencia na expansão urbana do eixo Goiânia-Brasília, embora tenha deixado de abordar importantes cidades do entorno do Distrito Federal, que certamente refletem forte influência na urbanização do entorno do DF.

A modelagem dinâmica é uma representação matemática de fenômenos que ocorrem no mundo real, para projetar trajetórias futuras, baseada num conjunto de parâmetros.

Embora os modelos de dados espaciais desempenhem importante papel na simulação de cenários do ambiente urbano, como um meio de contribuir com políticas públicas de governanças urbanas, esta metodologia deve ser empregada com cautela, pois modelos espaciais

não refletem as mudanças do contexto socioeconômico ou mesmo político da dinâmica futura de ocupação urbana, e sim, simulam prováveis trajetórias de mudanças.

O emprego de variáveis socioeconômicas em modelos espaciais exige a conversão de valores em taxas, fato este, que pode incorrer em erros na expressão dos fenômenos, uma vez representados por uma taxa para cálculos de probabilidade na predição de cenários futuros.

Não basta apenas encontrar uma formulação que expresse o crescimento urbano através de taxas, mas saber como configurar conjuntos dos melhores parâmetros para categorizar variáveis empregadas na previsão da trajetória dos cenários.

As variáveis empregadas na modelagem influenciaram na projeção de cenários futuros da expansão urbana na área de pesquisa, em especial o ano de 2010, ficando bem aproximado da vetorização por interpretação visual da imagem Landsat 5 – TM, não somente na forma das manchas como também, dos tamanhos das áreas formadas. Sendo as variáveis socioeconômicas mais influentes PIB e População, qual apresentaram intervalos com altos valores positivos nos cálculos de pesos, para áreas de influência favoráveis à urbanização.

Com base nesse cenário, áreas como a RMG, Anápolis, Distrito Federal e seu entorno, demandam maior atenção do poder público, uma vez que, nessas regiões há projeções de uma intensa urbanização futura, requerendo com projetos que possam assegurar a demanda por água, expansão da malha viária, projetos de parcelamento do solo urbano com a valorização de ocupação de vazios entre municípios, e preservando áreas frágeis, ou de importância para equilíbrio dos ecossistemas, e, gerar demanda por serviços.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a geração de cenários para o eixo Goiânia-Brasília traga implícito algumas limitações de ordem técnica e conceitual, incluindo o próprio modelo e as bases de dados utilizadas (às vezes aquém da escala cartográfica necessária), tal estudo foi o primeiro do gênero para uma região de enorme impacto econômico e ambiental no país, devendo o mesmo contribuir para futuras investigações sobre a expansão urbana e seus fenômenos decorrentes, entre estes o processo de conurbação.

Os vetores de crescimento urbano obtidos neste estudo apontam as tendências de expansão da mancha urbana neste importante eixo de desenvolvimento. Entre estas tendências, destaca-se o adensamento da RMG, Distrito Federal (e seu entorno), sendo estas as regiões do eixo que requerem maior atenção nas próximas décadas para o planejamento da temática urbana, incluindo políticas públicas voltadas para o abastecimento de água, saneamento (inclusive para o tratamento adequado ao lixo / aterros sanitários), transporte (rodovias e ferrovias), comércio (indústrias e serviços) e moradias.

Especificamente sobre a modelagem, esta levou em consideração a proximidade de áreas previamente urbanizadas, a probabilidade de conversão do solo, considerando as evidências e pesos de variáveis tidas como importantes na dinâmica das paisagens urbanas. Ao analisar o crescimento populacional na região pesquisada, nota-se, em média, um decréscimo nas taxas de crescimento da população urbana nas últimas décadas, enquanto o crescimento populacional em determinadas cidades tem exercido grande poder de atração humana, principalmente em áreas com polos industriais e administrativos.

Embora os mapas sejam estáticos, retratando a etapa inicial da modelagem, os processos decorrentes das simulações são dinâmicos à cada iteração, sendo a probabilidade de mudança também considerada em cada transição. Da mesma forma, os produtos das simulações se baseiam numa dada realidade, a qual será projetada a partir de parâmetros pré-estabelecidos. Assim, os mapas resultantes das simulações representam tendências, que podem ou não se concretizar. Ainda assim, a aplicação do conceito de autômatos celulares é considerada, conforme destacado neste estudo, como uma das melhores ferramentas para simulação cenários urbanos futuros e seu necessário planejamento.

Sugere-se, por fim, a continuidade destes estudos, que adotem novas plataformas de pesquisa (semelhantes em essência ao DINAMICA), explorando novas técnicas, variáveis e

parâmetros, não simplesmente com o intuito comparativo, pois as simulações modificam-se a cada ajuste nas variáveis ou parâmetros, mas visando novos padrões espaciais de expansão e novas possibilidades de cenários. Por outro lado, os próximos exercícios de modelagem devem incorporar mecanismos que impeçam (ou ilustrem) a simulação da expansão urbana em Unidades de Conservação ou em Áreas de Preservação Permanente, através da adoção do código florestal entre as variáveis explicativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASIL. 2012. **Governo federal vai colaborar na ampliação do Aeroporto de Goiânia, diz prefeito.** Notícia em - 31/10/2012. Disponível em - <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2012-10-31/governo-federal-vai-colaborar-na-ampliacao-do-aeroporto-de-goiania-diz-prefeito>. Acesso em - 13/11/2012.

AGUIAR, Marilton Sanchotene de DIMURO, Graçaliz Pereira COSTA, Fábila Amorim da. **Modelos matemáticos baseados em autômatos celulares para geoprocessamento.** In Notas em Matemática Aplicada. Republicação em formato de e-book do livro original do mesmo título publicado em 2004 nesta mesma série pela SBMAC. e-ISSN 2236-5915. Volume 10, 2012, SBMAC, São Carlos, SP, Brasil, 2012. Disponível em- http://www.sbmac.org.br/arquivos/notas/livro_10.pdf. Acesso em- 03/08/2012 às 12-46.

AOUN, Samira. **Produto Interno Bruto do Brasil e de São Paulo no Período 1995 a 2005.** Análises e Indicadores do Agronegócio v.3, n.5, maio 2008. ISSN 1980-0711. Disponível em - <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-37-2008.pdf>. Acesso em - 28/12/2012.

BORGES, Karla A. V.; DAVIS, Clodovel A. Jr.; LAENDER, Alberto H. F.. Modelagem conceitual de dados geográficos. CASANOVA, Marco Antônio; CÂMARA, Gilberto; VINHAS, Lúbia; V. QUEOROZ, Gilberto Ribeiro de. (Org.). . in- **Bancos de Dados Geográficos.** Editora MundoGEO, Curitiba, 2005. Cap. 3. (2005, p. 93).

BRASIL. 2011. Ministério dos Transportes. Principais Obras – **Ferrovia Norte Sul.** Disponível em - <http://www.transportes.gov.br/obra/conteudo/id/36518>. Acesso em - 10/08/2011.

BRASIL. 1953, **Lei 1.803, 1.953.** Autoriza o Poder Executivo a realizar estudos definitivos sobre a localização da nova Capital da República. Disponível em - <http://legis.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=82184&norma=108739>. Acesso em - 08/10/2012.

BRASIL. 2000, **Lei 9.985, 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Disponível em - http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em - 21/09/2012.

BRASIL. 2006, EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2ª edição, 1ª impressão (2006). Brasília, DF. Disponível em - http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Livro+SBCS_2-ed_000fzvhmj5j02wx5ok0q43a0rx9wj0bm.PDF. Acesso em- 09/09/2012.

BRASIL. 2007, IBGE - Instituto brasileiro de Geografia e Estatística. Manuais Técnicos em Geociências número 4. **Manual técnico de pedologia** – 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em - http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ManuaisdeGeociencias/Manual%20Tecnico%20de%20Pedologia_2%20edicao.pdf Acesso em - 21/09/2012.

BRASIL. 2012, ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Governos firmam acordo para estudos de implantação do trem Brasília- Anápolis-Goiânia**. Notícia 28/06/2012. Disponível em- <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/16878.html>. Acesso em- 09/09/2012.

ALKHEDER, Sharaf; WANG, Jun; SHAN, Jie. **Change detection - cellular automata method for urban growth modeling**. In. VII Symposium Remote Sensing- From Pixels to Processes. Enschede, The Netherlands May 8-11, 2006. Volume XXXVI Part 7 -WG VII/5- Processing of Multitemporal Data and Change Detection. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Disponível em- <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part7/PDF/237.pdf>. Acesso em- 09/05/2012.

ALMEIDA, Cláudia Maria de. Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento- simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil. Tese de Doutorado do Curso da Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. INPE, 2003. Disponível em- <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.18.07.29/doc/publicacao.pdf> 18/05/2012.

ALVES, José Eustáquio Diniz; CAVENAGHI, Suzana. **Tendências demográficas, dos domicílios e das famílias no Brasil**. 2012. UERJ. (pagina 1 de 33). Disponível em - http://www.ie.ufrj.br/aparte/pdfs/tendencias_demograficas_e_de_familia_24ago12.pdf Acesso em - 02/01/2013.

ARRAIS, Tadeu Alencar. **Desvendando a “arena política” - os limites do discurso da competitividade do eixo de desenvolvimento Goiânia-Brasília**. XIV Encontro Nacional de Geógrafos. 16 a 21 de julho de 2006 – Rio Branco – AC. 2006. Disponível em - www.observatoriogeogoiias.com.br. Acesso em - 9/11/2011.

ARRAIS, Tadeu Pereira; PINTO, José Vandério Cirqueira. **Integrar para segregar- uma análise comparativa do tecido urbano-regional de Goiânia e Brasília**. X Colóquio Internacional de Geocrítica. Barcelona, 26 – 30 de maio de 2008, Universidade de Barcelona. Disponível em- <http://www.ub.edu/geocrit/-xcol/307.htm>. Acesso em- 20/07/2011.

BDE-GOIÁS. Banco de Dados Estatísticos do Estado de Goiás. **Sistema de informações estatísticas relativas ao Estado de Goiás** . Disponível em- <http://www.seplan.go.gov.br/sepin/bde/>.

BEZERRA, Luiza Maria Capanema; CLEPS, João Jr. **O desenvolvimento agrícola da região Centro-Oeste e as transformações no espaço agrário do estado de Goiás**. - Caminhos de Geografia - revista on line, ISSN 1678-6343, junho de 2004, Página 29. Disponível em - <http://www4.fct.unesp.br/ceget/t17.pdf>. Acesso em - 16 - 08/2012.

BRITO, Fausto; SOUZA, Joseane de. **Expansão urbana nas grandes metrópoles - o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza**. *São Paulo Perspec.* [online]. 2005, vol.19, n.4, pp. 48-63. ISSN 0102-8839. Disponível em - <http://www.scielo.br/pdf/spp/v19n4/v19n4a03.pdf>. Acesso em - 17/05/2013.

CÂMARA. Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. Gilberto Câmara, Clodoveu Davis e Antônio Miguel Vieira Monteiro.(org.) **in-**

introdução à ciência da geoinformação. INPE, São José dos Campos, 2001. cap. 2. Disponível em - <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>. Acesso em - 08/08/2012.

CAMPOS, Itami F.; BERNARDES, Genilda D'Arc. Goiânia - Sociabilidade na **Periferia**. Ciências Humanas em Revista, v. 2, n. 1. Ed. UFG - Goiânia, 1991. Disponível em - <http://www.itamicampos.com/artigos/Goiania/GOIANIASOCIABILIDADENAPERIFERIA.pdf>. Acesso em - 19/07/2011.

CAVALCANTI, Marcelo Antunes; BARREIRA, Celene Cunha Monteiro Antunes. **Ações da Sudeco no desenvolvimento do Centro-Oeste no estado de Goiás.** Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 179-191, jul./dez. 2011. DOI 10.5216/bgg.V31i2.16852. Disponível em - <http://www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/16852>. Acesso - 03/12/2012.

CEREJA, Newton. **Visões em sistemas de informação geográficos – modelo e mecanismos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 1996. Disponível em - <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000118274&fd=y>. Acesso em - 08/08/2012.

CLARKE, Keith C.; GAYDOS, Leonard J. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS- long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. International journal Geographical Information Science , 1998 , vol. 12 , no. 7, p. 699- 714. Disponível em - http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Pub/SLEUTHpapers_Nov24/Clarke_Gaydos_1998.pdf. Acesso em 09/05/ 2012.

COELHO, José Braga; BARREIRA, Celene Cunha Monteiro Antunes. **GOIÁS - uma fronteira aberta. II encontro de grupos de pesquisa.** Universidade Federal de Uberlândia – UFU - Instituto de Geografia – IG - laboratório de geografia agrária – Lagea. Uberlândia – MG 2006. Disponível em - <http://w3.ufsm.br/engrup/iiengrup/pdf/t27.pdf>. Acesso em - 16/08/2012.

COSTA, José Pedro Oliveira Henriques. **Criação de cenários de expansão urbana com recurso a autômatos celulares no apoio e gestão territorial- Cabeceiras de Basto (Norte de Portugal).** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 2010 n. p. 126. Disponível em - <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/55682/2/TESEMESJOSEPEDROCOSTA000126217>. Pdf. Acesso 24/03/2012.

DIAS, Lidiane Tomaz. **Modelagem dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do lago Paranoá–DF- 1998-2020.** 2011. n. p. 144 Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas da Universidade de Brasília. Disponível em - http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/9968/1/2011_LidianeTomazDias.pdf. Acesso em - 09/05/2012.

DINÂMICA EGO. *Software* **DINÂMICA EGO** – Environment for Geoprocessing Objects. Disponível em - <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>. Acesso em - 25/09/2011.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. **Fundamental of database systems**. 6th ed. Menlo Park, CA- Addison-Wesley, 2010. 1200 p. ISBN-13- 978-0-136-08620-8. Disponível em- [http://www.cse.hcmut.edu.vn/~ttqnguyet/DatabaseSystem/Fundamentals_of_Database_Systems,_6th_Edition_\(0136086209\).pdf](http://www.cse.hcmut.edu.vn/~ttqnguyet/DatabaseSystem/Fundamentals_of_Database_Systems,_6th_Edition_(0136086209).pdf). Acesso em- 08/08/2012.

FERREIRA, Manuel; MIZIARA, Fausto; BRITALDO, S. Soares Filho; FERREIRA, Laerte Guimarães Jr. **Modelagem da dinâmica dos desmatamentos no bioma cerrado - cenários e perspectivas para a conservação - APÊNDICE C**. in Modelagem da Dinâmica de Paisagem do Cerrado. Tese de doutorado apresentada na Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás (UFG), 2009. Disponível em- www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/lapig/publicacoes/0163.pdf. Acesso em - 28/09/2012.

FERREIRA, Manuel E.; FERREIRA, Laerte Guimarães Jr.; MIZIARA, Fausto; SOARES-Filho, Britaldo S. **Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome- future scenarios and perspectives for conservation**. Journal of Land Use Science, (2012).

GODOY, Marcela Maria Guimarães. **Modelagem da Dinâmica de Ocupação do Solo no Bairro Savassi**, Belo Horizonte, Brasil. 2004 n. p. 84 Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Geografia da . Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em- http://www.csr.ufmg.br/dinamica/community/godoy_2004.pdf. Acesso em- 16/03/2012 às 00-25.

GOIÁS. SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. PDA - **Plano Diretor de Alexânia**. Disponível em - http://www2.seplan.go.gov.br/seplan/down/planodiretor/PD_Alexania.pdf. Acesso em- 01/09/2012.

GOIÁS. 2003. SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. Disponível em - [http - //www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/rank/2003/sencanedoC.htm](http://www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/rank/2003/sencanedoC.htm). Acesso em - 07/09/2012.

GOIÁS. 2003 b. SEGPLAN. Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento; Superintendência de Estatísticas, Pesquisa e Informações Socioeconômicas. **Goiás em Dados 2003**. Disponível em [http - //www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/GoDados/2003/aspectosfisicos.htm](http://www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/GoDados/2003/aspectosfisicos.htm). Acesso em - 04/01/2013.

GOIÁS. 2008, SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. **Governador quer todo empenho para a construção do Alcoolduto**. Notícia. Disponível em - [http - //www2.seplan.go.gov.br/seplan/print.php?cd_noticia=488](http://www2.seplan.go.gov.br/seplan/print.php?cd_noticia=488). Acesso em - 15/04/2011.

GOIÁS. 2010, SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. **REGPLAN - Regiões de Planejamento do Estado de Goiás 2010**. Disponível em- <http://www.seplan.go.gov.br/sepin/down/regplan2010.pdf>. Acesso em 10/08/2011 às 16 - 43.

GOIÁS. 2011. AGEKOM - Agência Goiana de Comunicação. **Gasoduto até Uberaba aquecerá mercado goiano**. Notícia em 17/03/2011. Disponível em - [http - //www.projetos.goias.gov.br/noticias/index.php?idMateria=99392&tp=positivo](http://www.projetos.goias.gov.br/noticias/index.php?idMateria=99392&tp=positivo). Acesso em - 15/04/2011.

GOIÁS. 2011_b, SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. **Política e Gestão Estratégica**. Publicação - Projeto para implementação do Núcleo de Inteligência e

Prospectiva Estratégica (NIPE) e elaboração do Plano Estratégico de Longo Prazo - “Plano Goiás 2030”. Imprensa no Brasil, 2011.

GOIÁS. 2011_c. Lei Complementar nº 90, de 22 de dezembro de 2011. **ICMS Ecológico**. Disponível em - [http - //www.gabinetecivil.go.gov.br/pagina_leis.php?id=10159](http://www.gabinetecivil.go.gov.br/pagina_leis.php?id=10159). Acesso em - 20/07/2012.

GOIÁS. 2012, SEGPLAN – Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. **Obras do Aeroporto de Cargas de Anápolis em ritmo acelerado**. Notícia em - Obras do Aeroporto de Cargas de Anápolis em ritmo acelerado. Notícia em - 21/09/2012. Disponível em - [http - //www.segplan.go.gov.br/post/ver/144999/obras-do-aeroporto-de-cargas-de-anapolis-em-ritmo-acelerado](http://www.segplan.go.gov.br/post/ver/144999/obras-do-aeroporto-de-cargas-de-anapolis-em-ritmo-acelerado). Acesso em - 13/11/2012.

GORDON. Robert. J. **Macroeconomia**. Tradução de Eliane Kanner. 7ª Edição – Porto Alegre - Bookman, 2000.

HOGAN, Daniel Joseph ; CARMO, Roberto Luiz do; AZEVEDO, Adalberto Mantovani Martiniano de; GAMA, Isa; DARCIÉ, Carolina; DELGADO, Célio Cristiano. Um Breve Perfil Ambiental da Região Centro-Oeste. **in** - Joseph Hogan; Roberto Luiz do Carmo, José Marcos Pinto da Cunha e Rosana Baeninger (Orgs.). **Migração e Ambiente no Centro-Oeste**. Núcleo de Estudos da População. Proponex . Campinas - NEPO /UNICAMP, 2002. Disponível em - [http - //www.nepo.unicamp.br/textos/publicacoes/livros/migracao_centro2/04pronex_02_I_dinamica_de_ocupacao.pdf](http://www.nepo.unicamp.br/textos/publicacoes/livros/migracao_centro2/04pronex_02_I_dinamica_de_ocupacao.pdf). Acesso em - 13/08/2012.

IBGE. - Instituto brasileiro de Geografia e Estatística. **Séries Estatística Históricas - Censo Demográfico 1950-2010**. Disponível em - [http - //serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD91&t=populacao-presente-recenseada-residente-por-situacao-de-domicilio-ruralurbana](http://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD91&t=populacao-presente-recenseada-residente-por-situacao-de-domicilio-ruralurbana). Acesso em - 11/08/2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens Landsat 5 TM**. Disponível em- <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

_____. **Topodata. Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Disponível em- <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>.

IPEADATA . Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Banco de Dados do IPEA** Disponível em- <http://www.ipeadata.gov.br/>.

LAPIG. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. **Imagens DMSP - OLS**. Disponível em- www.lapig.iesa.ufg.br.

ŁOPATKA, A.; SIEBIELEC G; ŻUREK, A.; GŁUSZYNSKA, M.; H. DELDEN, STUCZYNSKI, VAN & T.. **Baseline scenario analysis – Modeling future urban sprawl in pilot cities**. 2010. Disponível em- http://www.urban-sms.eu/fileadmin/inhalte/urbansms/pdf_files/final_results/20_Urban_sprawl_modeling_baseli ne.pdf. Acesso em - 16/05/2012.

MELLO, João Manuel Cardoso de. **O capitalismo tardio** - contribuição à revisão crítica da formação e do desenvolvimento da economia brasileira. 8. ed. São Paulo, SP - Editora Brasiliense, 1982.

MONTEIRO, Angelise Valladares. **A dinâmica de mudanças estratégicas** - estudo de multicasos em institutos de pesquisa. 1999. Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em - <[http - //www.eps.ufsc.br/teses99/monteiro/](http://www.eps.ufsc.br/teses99/monteiro/)>. Acesso em - 12/07/2012.

MOTTA, Diana Meirelles da. **Dinâmica Urbano-Regional - rede urbana e suas interfaces**. Organizadores - Rafael Henrique Moraes Pereira, Bernardo, Alves Furtado. IPEA, Brasília, 2011.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Estado de las ciudades de américa latina y el caribe 2012 - rumbo a una nueva transición urbana**. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, ONU-Habitat - 2012. Disponível em - [http - //www.onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=362&Itemid=18](http://www.onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=362&Itemid=18) Acesso em - 01/01/2012.

PEDROSA, Bianca Maria; CÂMARA, Gilberto. Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento. Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (eds.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN- 85-7383-260-6). Cap. 6. Disponível em- [http-//www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap6-dinamica.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap6-dinamica.pdf). Acesso em- 01/02/2012 às 18-52-34.

PINTO, José Vandério Cirqueira. **Periodização de Aparecida de Goiânia - da forma embrionária às novas funcionalidades no espaço fragmentado**. Boletim Goiano de Geografia, 29, n. 1 - 87-106, 2009. Disponível em - www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/7111/5036. Acesso em - 17/05/2013.

PNUD. 2011. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Sustentabilidade e igualdade - Um futuro melhor para todos**. Relatório de Desenvolvimento Humano, 2011. Disponível em - [http - //www.pnud.org.br/hdr/arquivos/rdh2011/IDH%20Brasil%20-%20Nota%20Explicativa.pdf](http://www.pnud.org.br/hdr/arquivos/rdh2011/IDH%20Brasil%20-%20Nota%20Explicativa.pdf). Acesso em - 12/01/2013.

RAMBALDUCCI, Marcos J. G. **Análise de Cenários Econômicos**. Apostila - 2008. Disponível em - [http - //pessoal.sercomtel.com.br/rambalducci/posgraduacao/economiaparaexecutivo/ApostilaAnaliseCenariosEconomicos.pdf](http://pessoal.sercomtel.com.br/rambalducci/posgraduacao/economiaparaexecutivo/ApostilaAnaliseCenariosEconomicos.pdf). Acesso em 28/12/2012.

ROCHA, Jorge.; SOUSA, Paulo Morgado; TENEDÓRIO, José António. **Geosimulação e Análise Espacial- Redes Neurais e Autômatos Celulares na Previsão de Alterações nos Padrões de Uso e Ocupação do Solo**. Inforgeo, Lisboa, v. 16, n. 17. Edições Colibri, 2001/02 p.123-137, 2001. Disponível em- [http-//200.17.137.109-8081/xiscanoe/downloads/publicacoes/redes-neurais-artificiais-e-automatos-celulares/j_rocha.pdf](http://200.17.137.109-8081/xiscanoe/downloads/publicacoes/redes-neurais-artificiais-e-automatos-celulares/j_rocha.pdf). Acesso em- 03/08/2012.

RODRIGUES, Juciano Martins. **População, Sociedade e Território - Tempo de Urbanização em Goiás**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado em Estudos

Populacionais e Pesquisas Sociais (ENCE/IBGE), Rio de Janeiro, Junho de 2006. 2006. Disponível em - http://www.lep.ibge.gov.br/ence/pos_graduacao/mestrado/dissertacoes/pdf/2006/juciano_martins_rodrigues_TC.pdf. Acesso em - 20/07/2011.

SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Banco de dados agregados**. Disponível em- <http://www.sidra.ibge.gov.br/>.

SIEG. Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás. **Banco de dados online**. Disponível em- www.sieg.go.gov.br

SILVA, Ardemiro de Barros. **Sistemas de informações geo-referenciadas** - conceitos e fundamentos. Campinas, SP - Ed. da Unicamp, 2003.

SOARES-FILHO Britaldo Silveira; CERQUEIRA, Gustavo Coutinho; ARAÚJO, William Leite; VOLL, Eliane. **Modelagem de Dinâmica de Paisagem- Concepção e Potencial de Aplicação de Modelos de Simulação baseados em Autômato Celular**. (2003). Disponível em- http://www.csr.ufmg.br/csr/publicacoes/dinamica_ac.pdf. Acesso em- 23/03/2012.

SOARES-FILHO, B.S., PENNACHIN, C.; CERQUEIRA, G. **DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in Amazonian colonization frontier**. Ecological Modelling, v.154, p. 217-234, 2002. Disponível em- <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/cursos/modelling/dinamica.pdf>. Acesso em- 03/08/2012.

SOUZA, Jorge Luiz de. ARAÚJO, Herton Ellery. **Deflator implícito**. Desafios do Desenvolvimento. Revista de informações e debates do IPEA. Ano 4 . Edição **37** - 10/11/2007. Disponível em- http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2140:catid=28&Itemid=23. Acesso em 05/06/2013.

STAMM, Cristiano; WADI, Yonissa Marmitt; STADUTO, Jefferson Andronio Ramundo. São as cidades médias responsáveis pelo espraiamento espacial da riqueza nacional? **Rede Brasileira de Estudos sobre Cidades Médias – REDBCM REDES**, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 2, p. 66-91, maio-ago. 2010. Disponível em - <http://150.161.23.3/arquivos/bibliografia/1019-5110-1-pb%5B1%5D.pdf>. Acesso em - 05/08/2011.

TAFNER JUNIOR, Armando Wilson; SILVA, Fábio Carlos da. **expansão da fronteira agropecuária do Oeste paulista para a Amazônia** - a trajetória dos negócios da família Ometto e seus desdobramentos no Mato Grosso. Anais da IV Conferência Internacional de História Econômica & VI Encontro de Pós-Graduação em História Econômica. Cidade Universitária - São Paulo / SP, 2012. Disponível em - http://cihe.fflch.usp.br/sites/cihe.fflch.usp.br/files/Armando_Tafner%20&%20Fabio%20Carlos%20da%20Silva.pdf. Acesso em - 17/05/2013.

TRENTIN, Gracieli. **A expansão urbano-industrial do município de Americana - SP- geotecnologias aplicadas à análise temporal e simulação de cenário**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus de Rio Claro - SP, 2008. Disponível em- <http://www.unesp.br>

[//www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137004P0/2008/trentin_g_me_rcla.pdf](http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137004P0/2008/trentin_g_me_rcla.pdf). Acesso em: 09/07/2011.

VALERIANO, Márcio de Morisson. Topodata- **Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Inpe. São José dos Campos. 2008. Disponível em- <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso em- 09/09/2012.

VASCONCELLOS, Marco A. S.; GARCIA, Manuel E. Fundamentos de Economia. 3ª.ed. São Paulo - Saraiva, 2009.

VIEIRA, Cilane da Rosa; ALBERT, Carla Estefania; BAGOLIN, Izete Pengo. **Crescimento e Desenvolvimento Econômico do Brasil - Uma análise comparativa da desigualdade de renda per capita dos níveis educacionais**. Disponível em - [http - //www3.pucrs.br/pucrs/ppgfiles/files/faceppg/ppge/texto_3.pdf](http://www3.pucrs.br/pucrs/ppgfiles/files/faceppg/ppge/texto_3.pdf). Acesso em - 28/12/2012.

YACOUBI, S. EL; JAI, A. EL . **Cellular Automata Modelling and Spreadability**. Mathematical and Computer Modelling 36 (2002) 1059-1074. Pergamon. 2002. DOI 10.1016/S0895-7177(02)00259-5. Disponível em - [http - //ac.els-cdn.com/S0895717702002595/1-s2.0-S0895717702002595-main.pdf?_tid=49cbbf58-3c99-11e2-9b9b-00000aab0f26&acdnat=1354464164_be2a02df33a52448435f89efada9598f](http://ac.els-cdn.com/S0895717702002595/1-s2.0-S0895717702002595-main.pdf?_tid=49cbbf58-3c99-11e2-9b9b-00000aab0f26&acdnat=1354464164_be2a02df33a52448435f89efada9598f) 1-s2.0-S0895717702002595-main.pdf. Acesso em - 02/12/2012.

APÊNDICE

Mapas Ampliados

Figura 29 - Mapa das Unidades de Conservação Permanente da área de pesquisa.....	126
Figura 50 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 1990.....	127
Figura 51 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2000.....	128
Figura 52 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2010.....	129
Figura 53 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2020.....	130
Figura 54 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2030.....	131
Figura 55 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2040.....	132
Figura 56 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2050.....	133
Figura 58 – Cenários da mancha urbana para o ano de 1990, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	134
Figura 59 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2000, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	135
Figura 60 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2010, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	136
Figura 61 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2020, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	137
Figura 62 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2030, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	138
Figura 63 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2040, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	139
Figura 64 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2050, gerado com a simulação no DINÂMICA.....	140

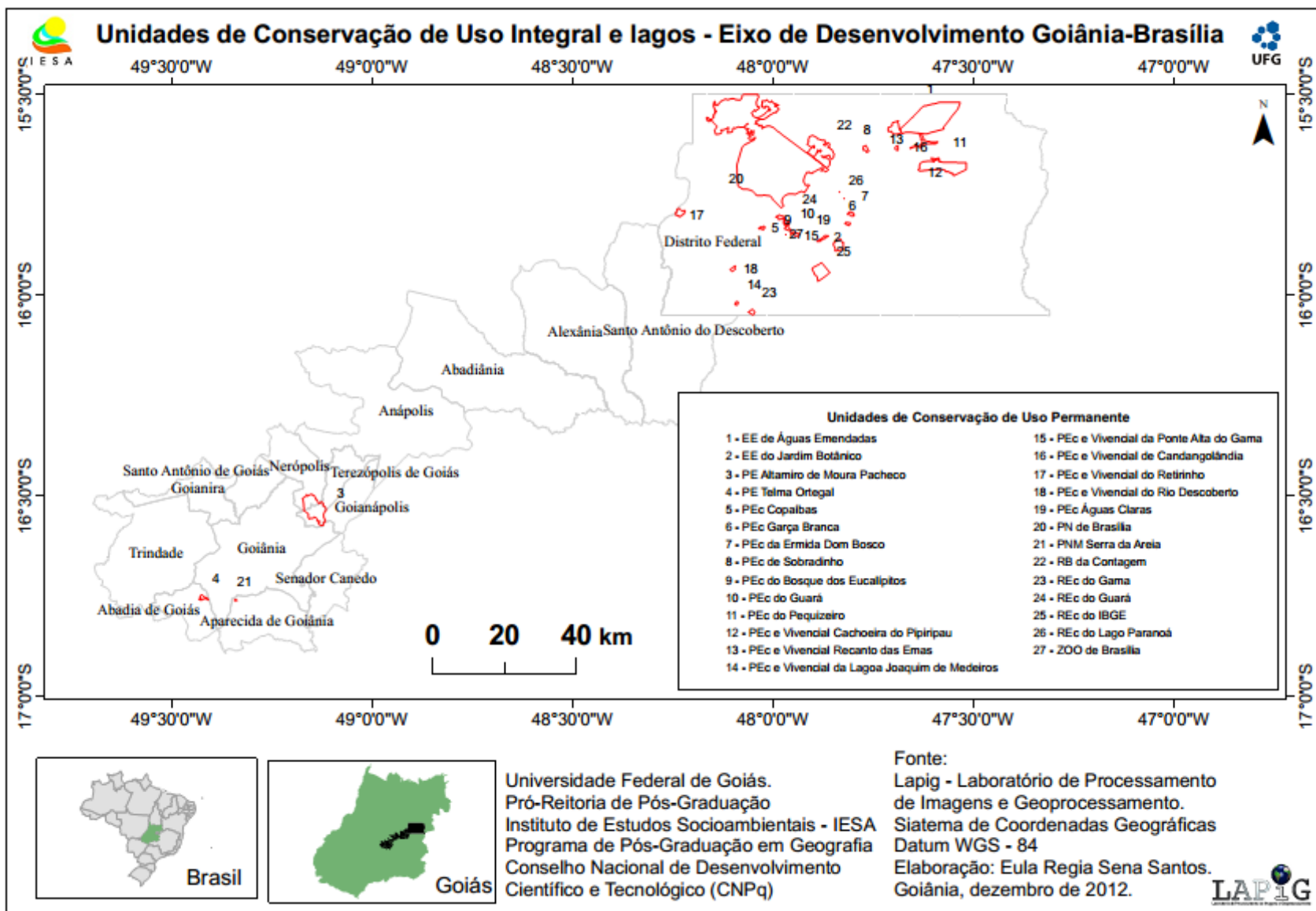


Figura 29 - Mapa das Unidades de Conservação Permanente da área de pesquisa

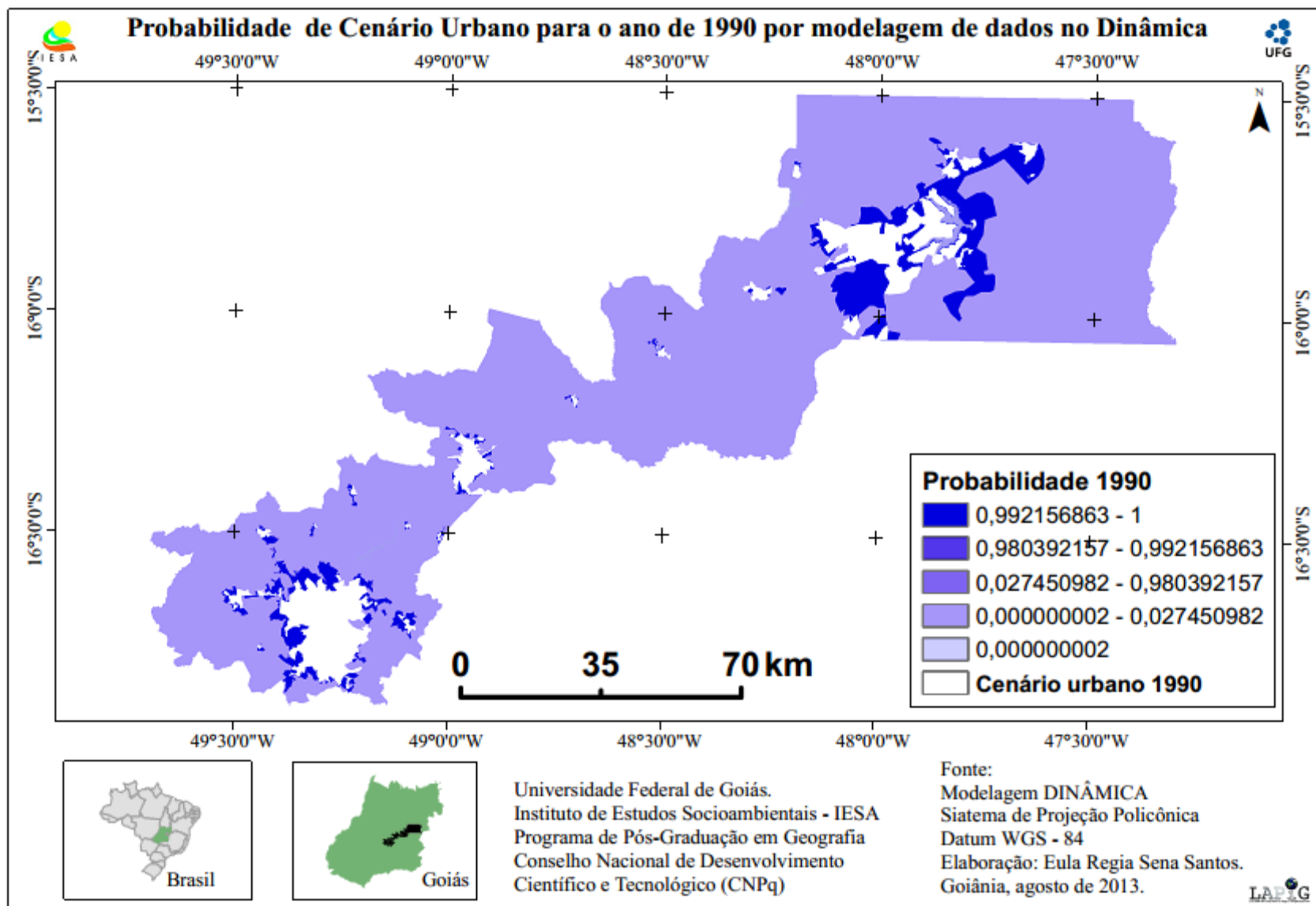


Figura 50 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 1990.

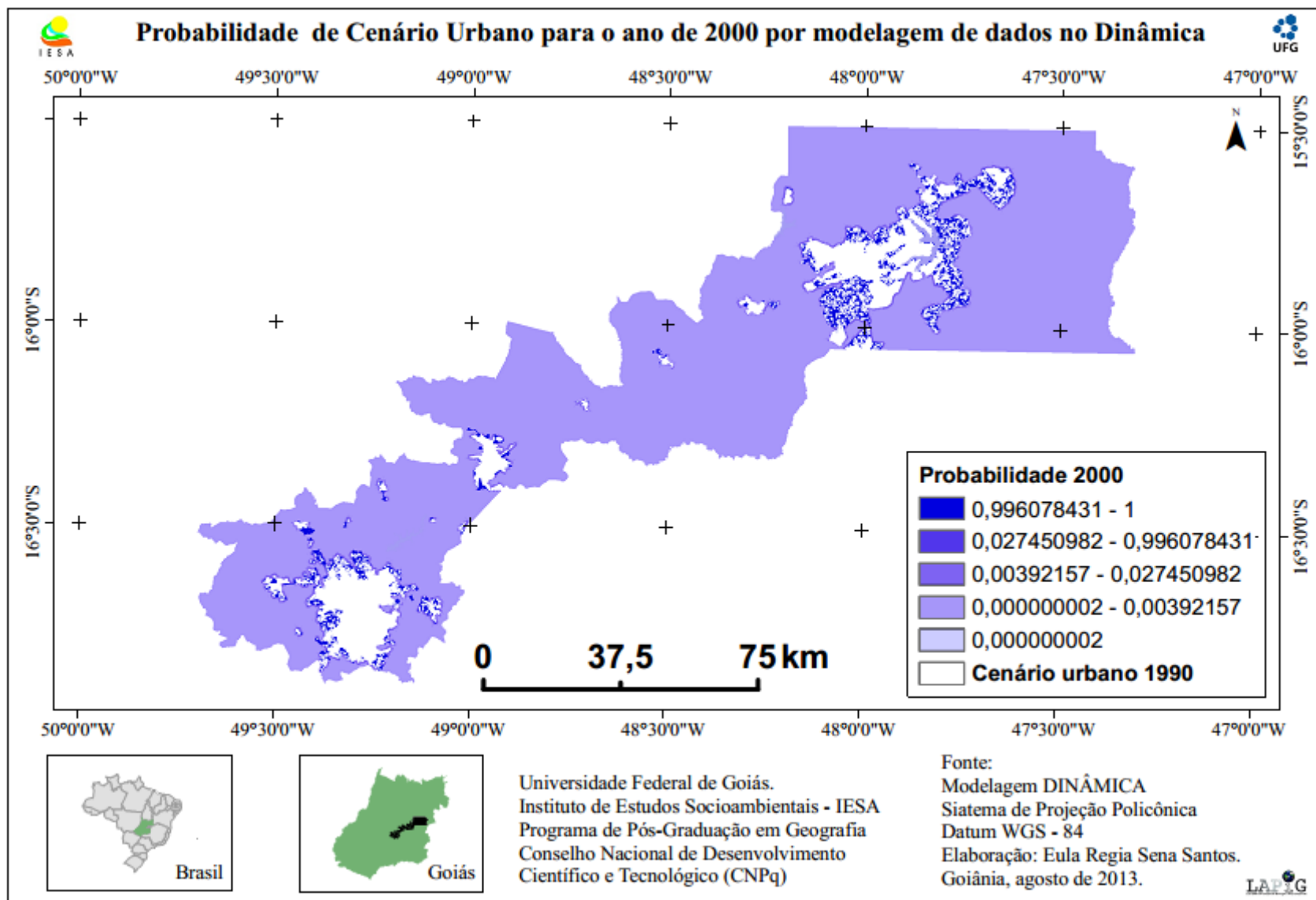


Figura 51 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2000.

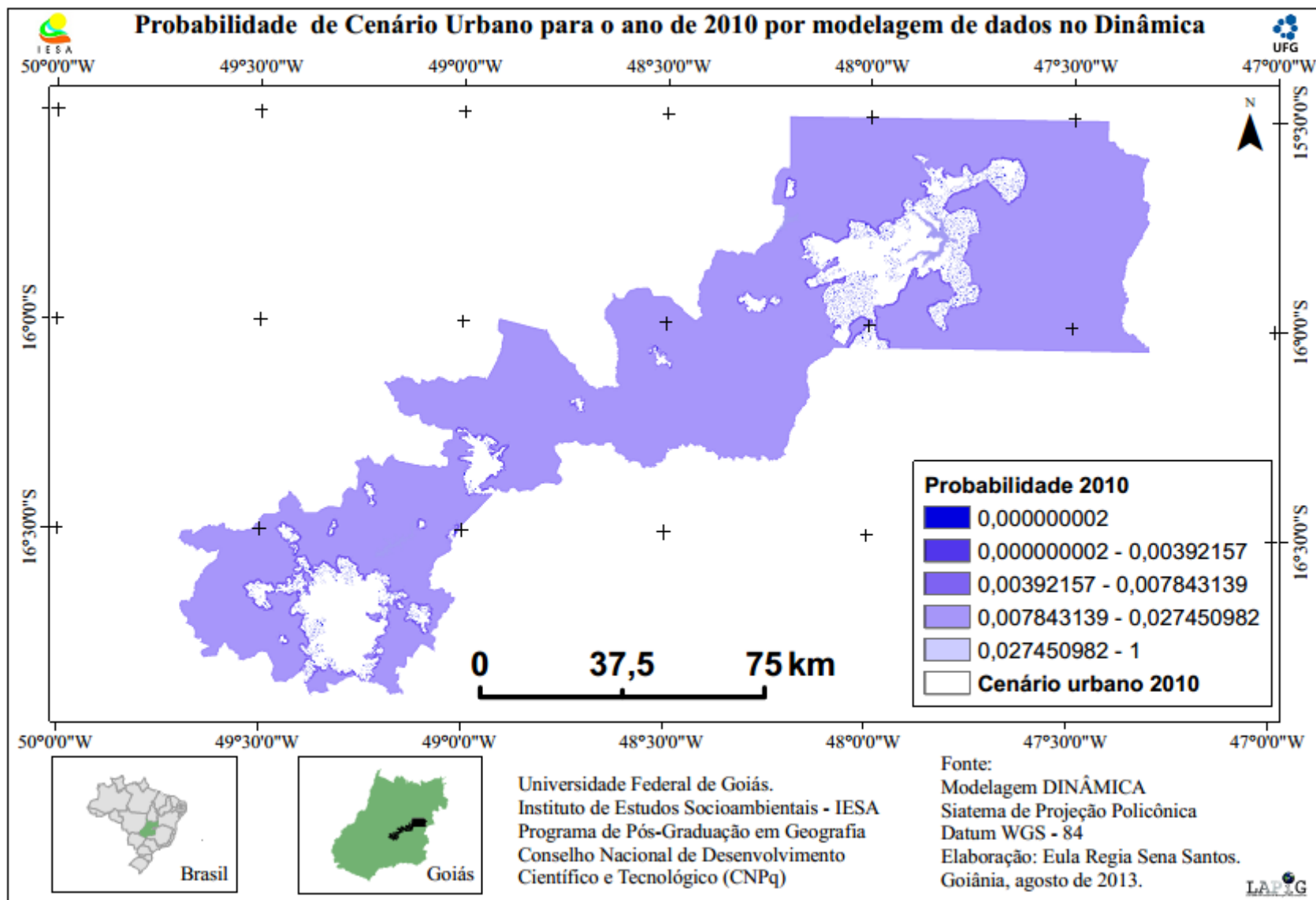


Figura 52 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2010.

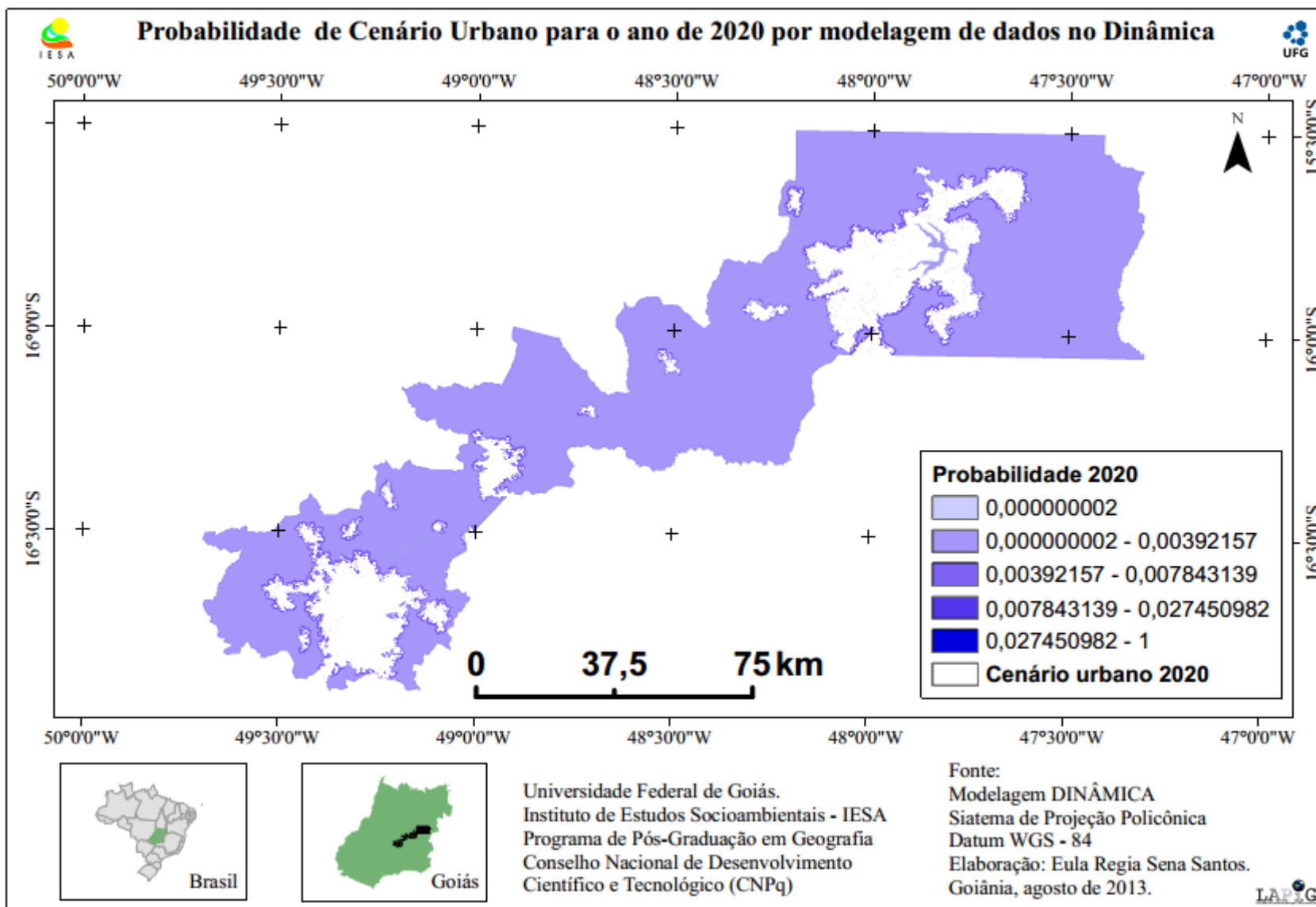


Figura 53 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2020.

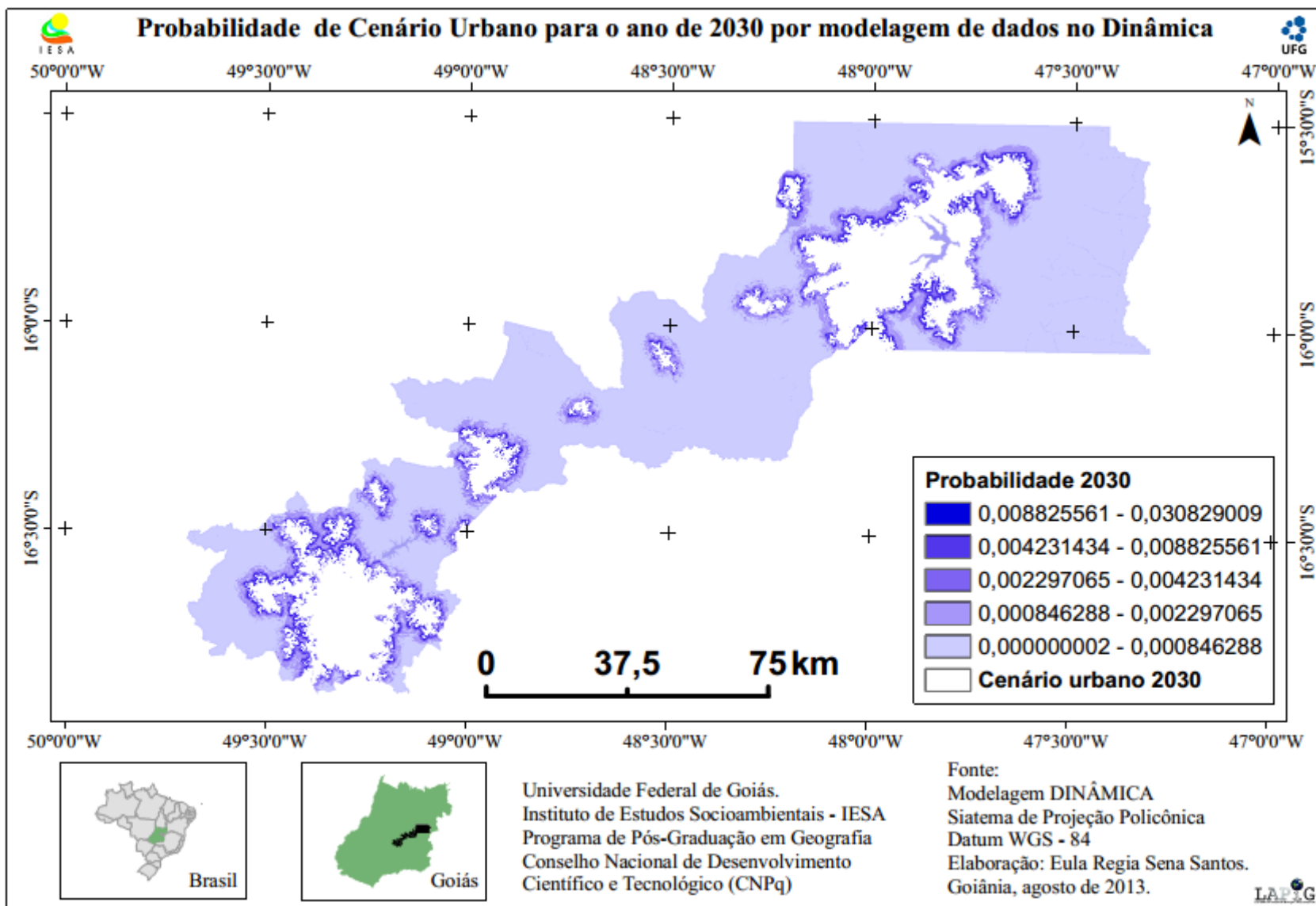


Figura 54 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2030.

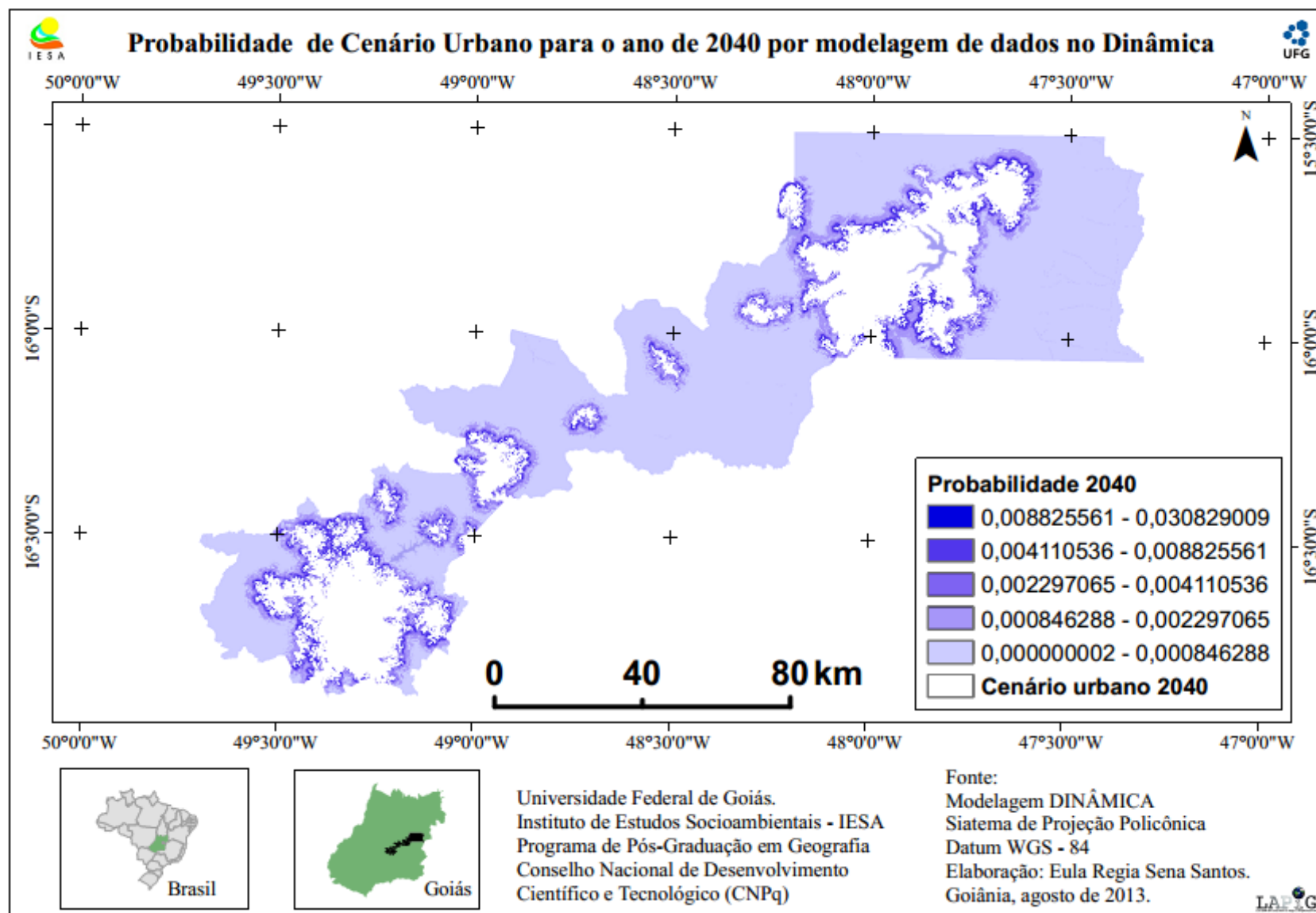


Figura 55 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2040.

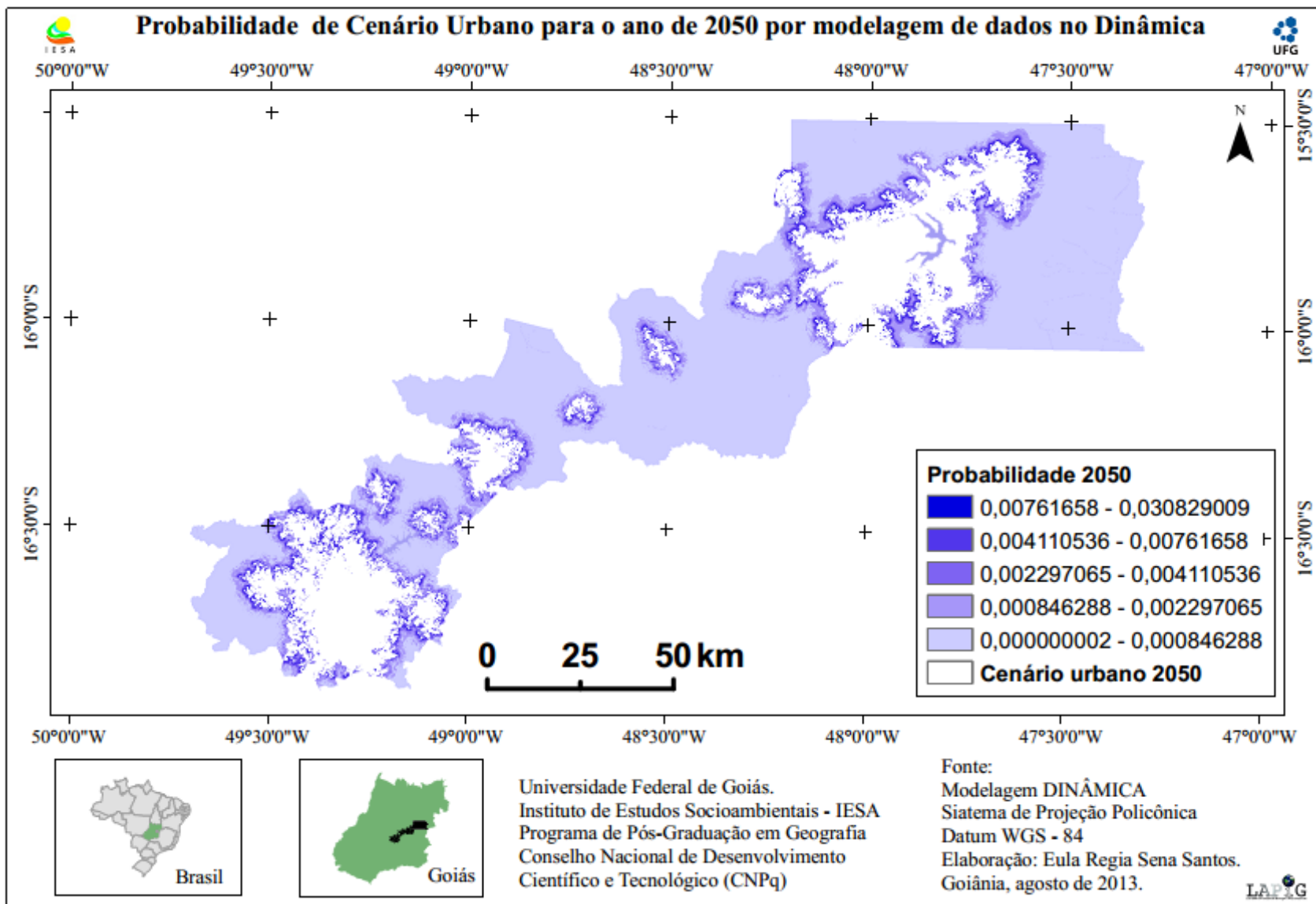


Figura 56 – Probabilidades de cenários gerados na simulação para o ano de 2050.

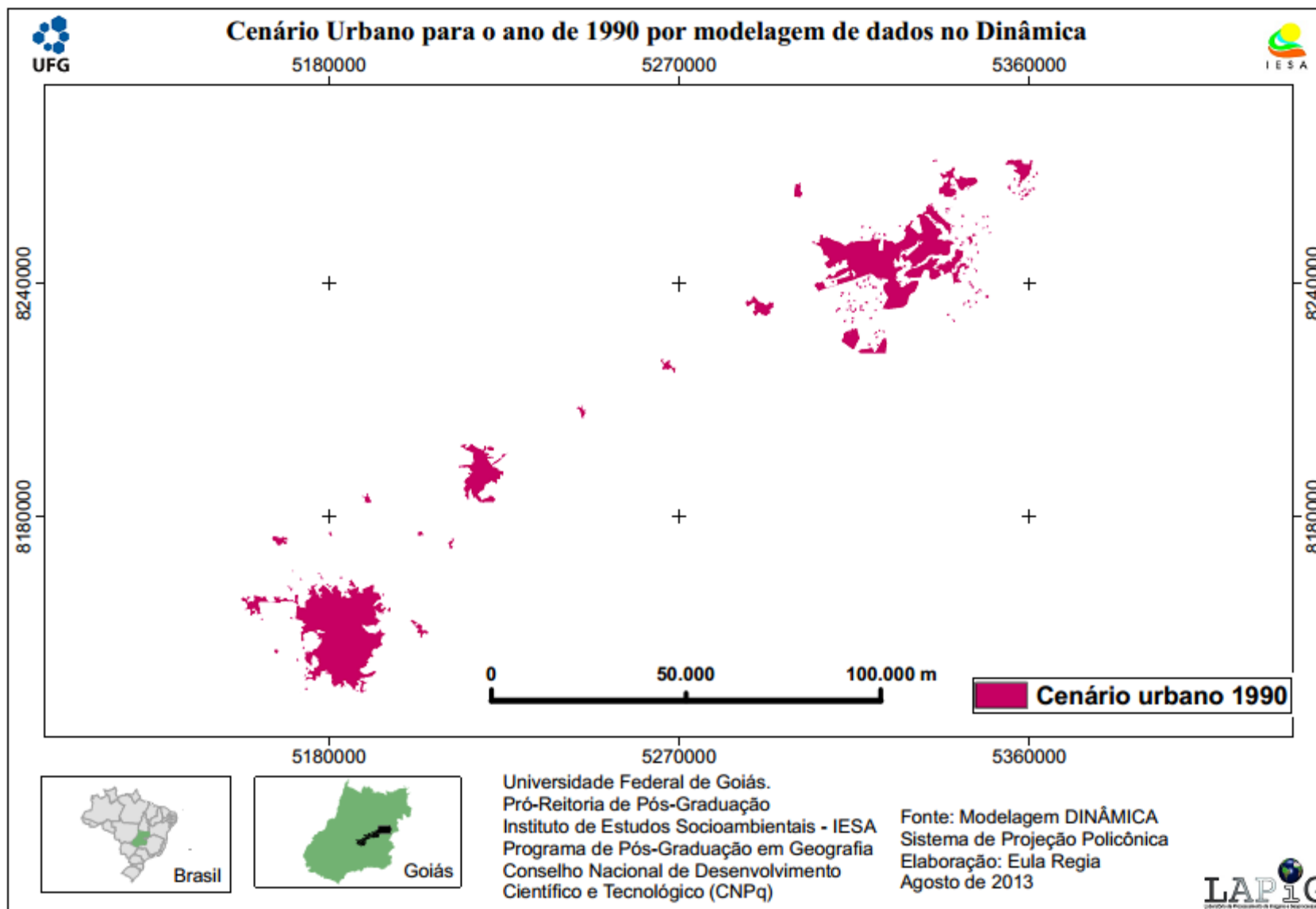


Figura 58 – Cenários da mancha urbana para o ano de 1990, gerado com a simulação no DINÂMICA.

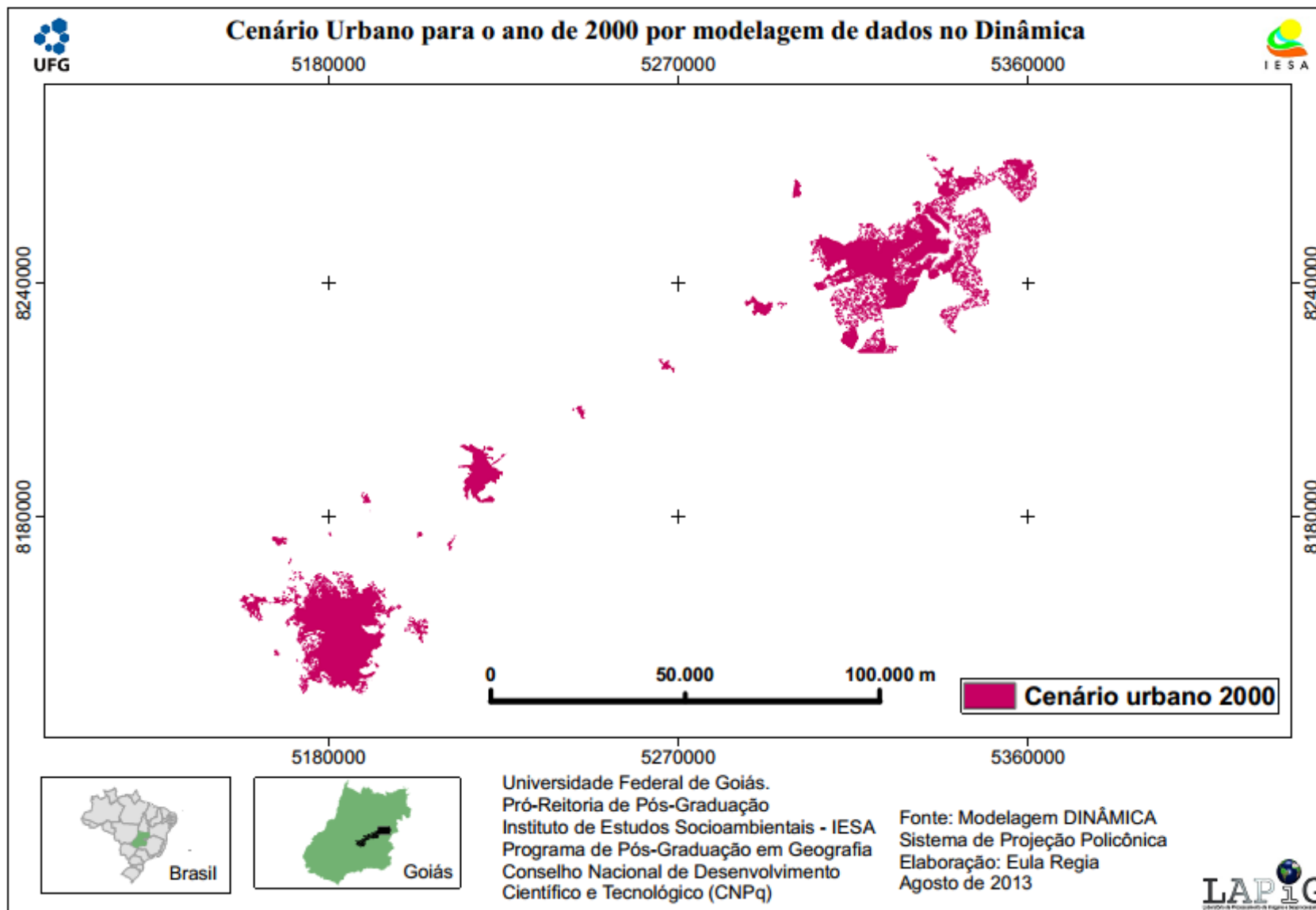


Figura 59 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2000, gerado com a simulação no DINÂMICA.

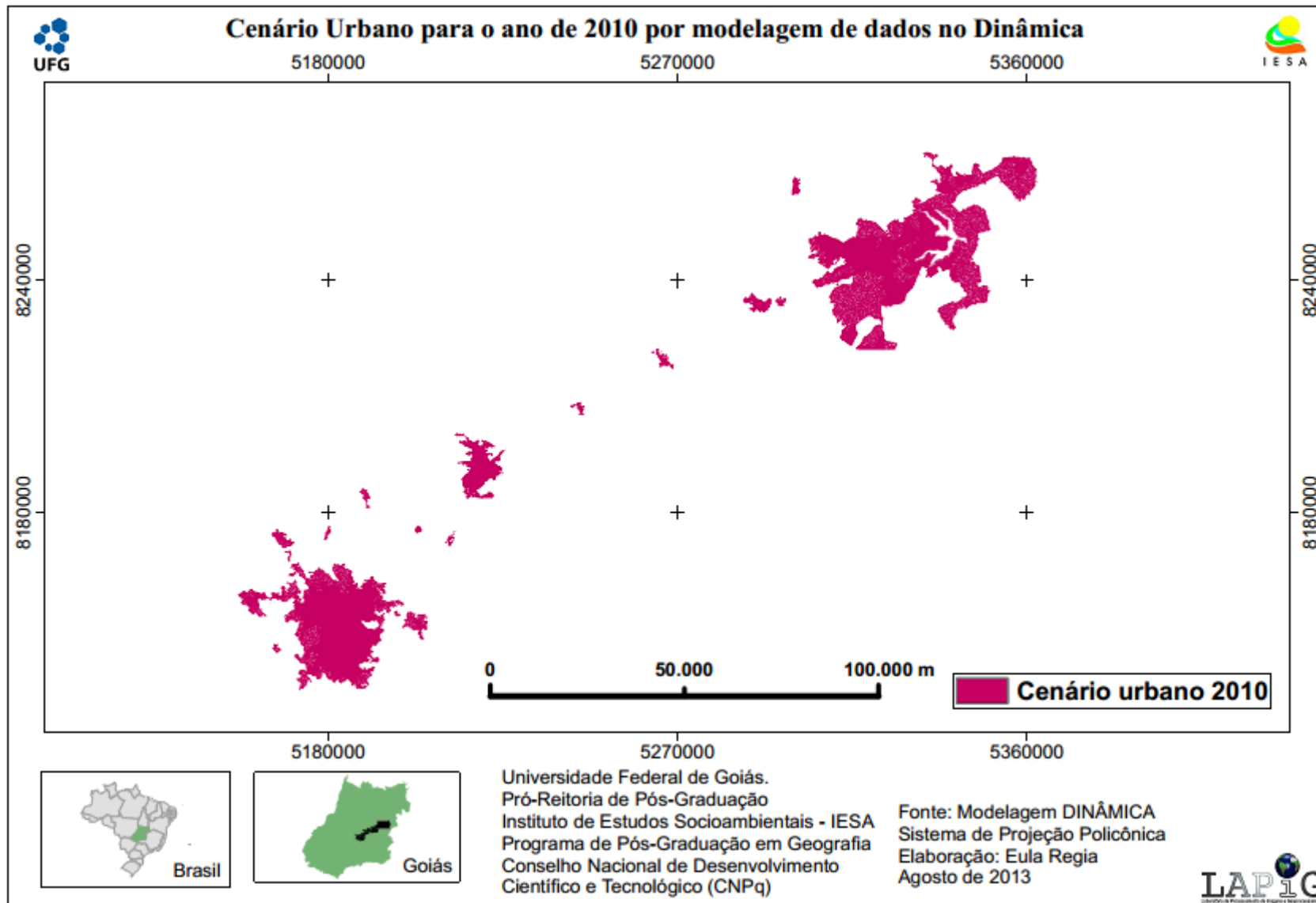


Figura 60 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2010, gerado com a simulação no DINÂMICA.

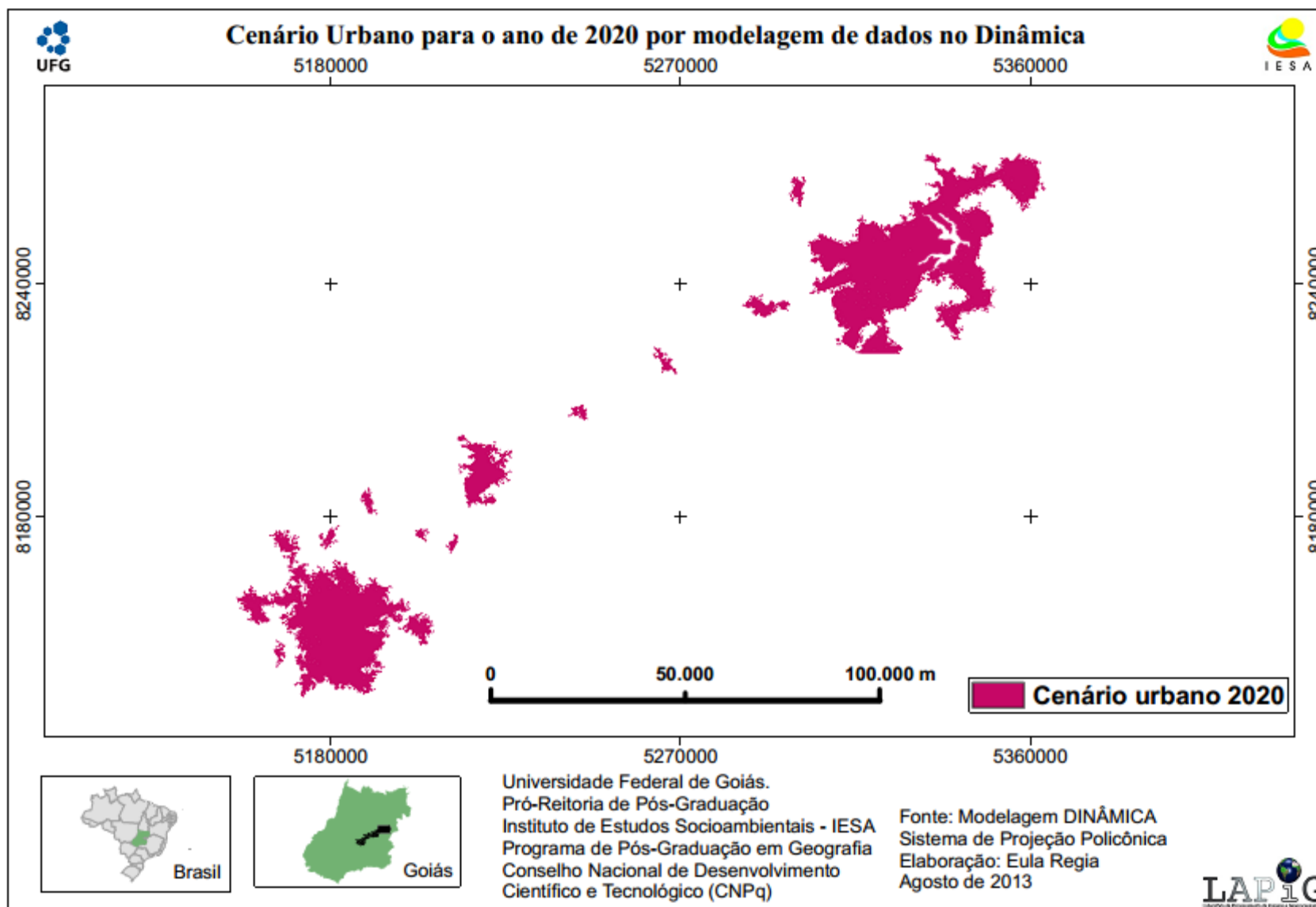


Figura 61 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2020, gerado com a simulação no DINÂMICA.

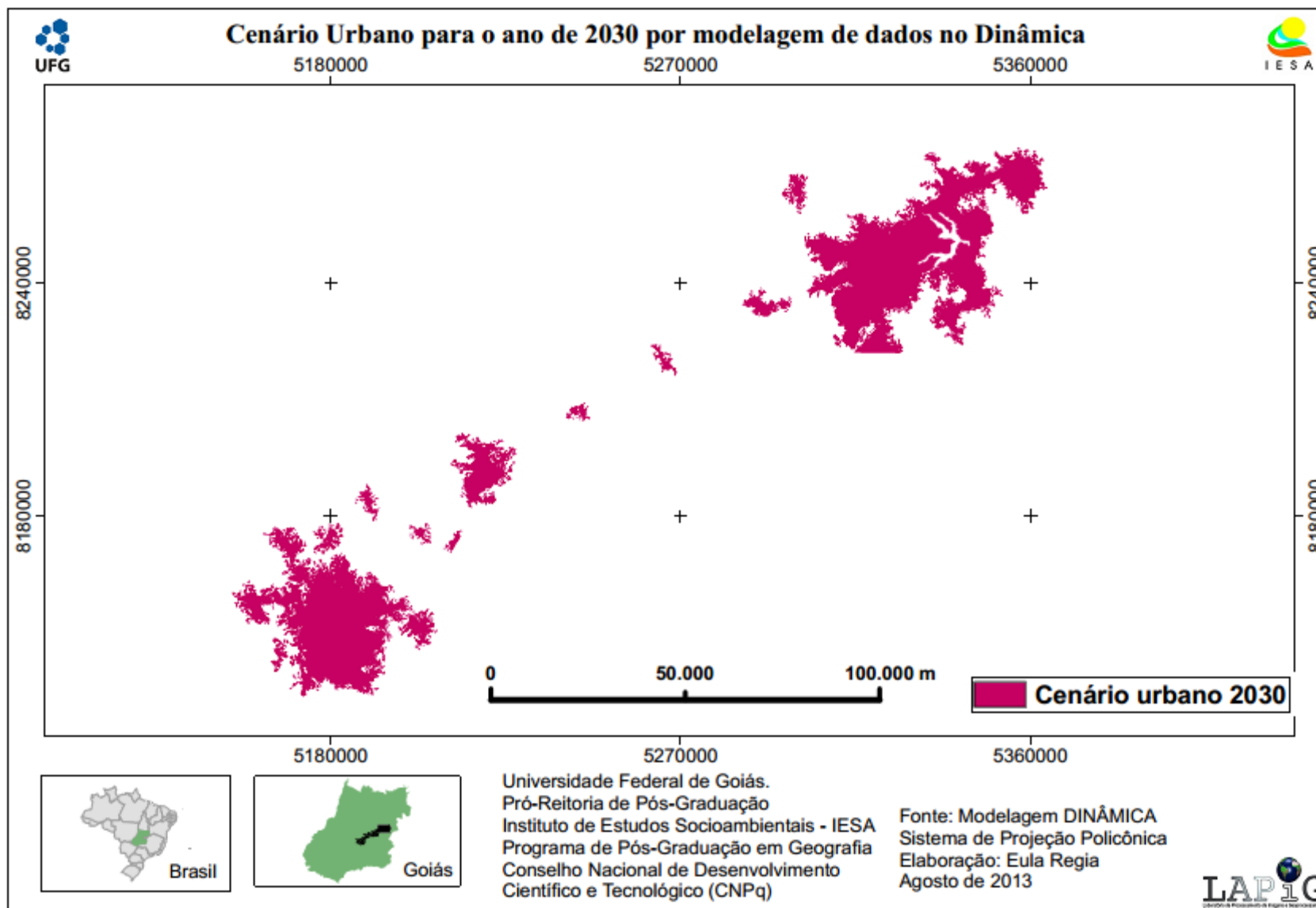


Figura 62 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2030, gerado com a simulação no DINÂMICA.

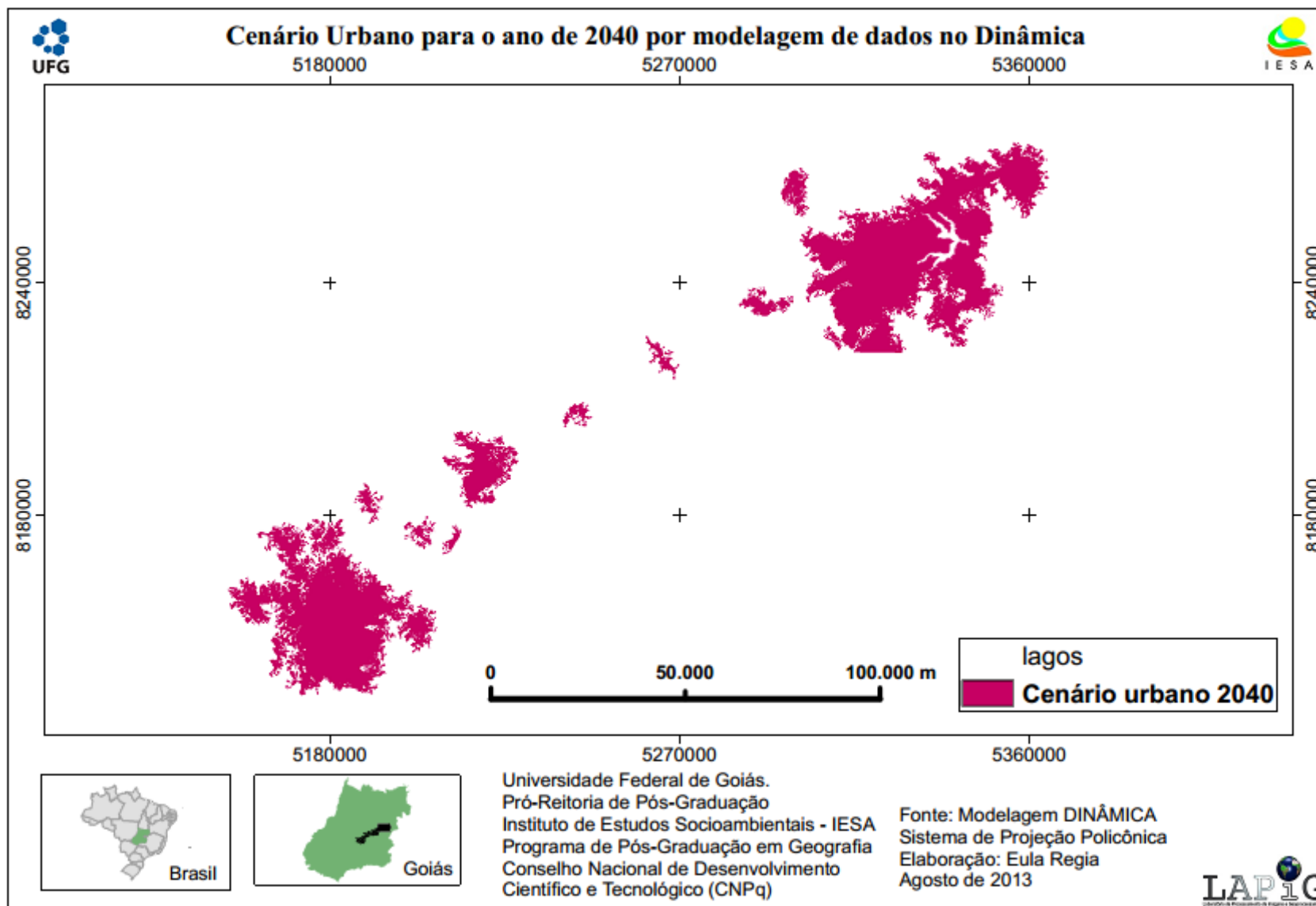


Figura 63 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2040, gerado com a simulação no DINÂMICA.

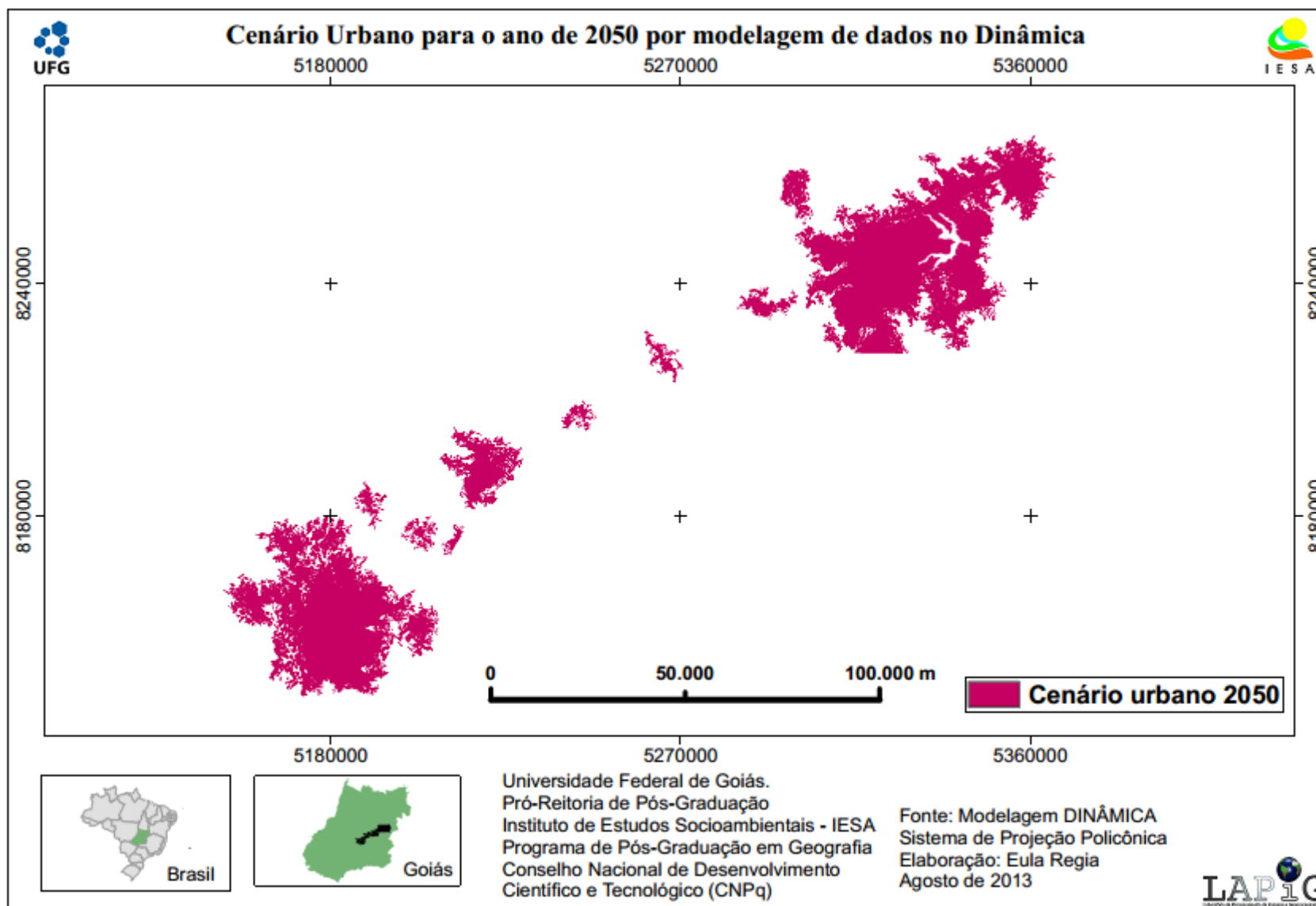


Figura 64 – Cenários da mancha urbana para o ano de 2050, gerado com a simulação no DINÂMICA.