

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**MODELAGEM DINÂMICA DE USO E COBERTURA
DA TERRA DA BACIA DO ARROIO GRANDE - RS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mariele Coletto Furlan

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

MODELAGEM DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA DO ARROIO GRANDE – RS.

Mariele Coletto Furlan

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Geomática, área de concentração Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geomática**.

Orientador: Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FURLAN, Mariele Coletto
Modelagem Dinâmica de Uso e Cobertura da terra da
bacia do Arroio Grande - RS / Mariele Coletto FURLAN.-
2012.
129 f.; 30cm

Orientador: Rudiney Soares PEREIRA
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Geomática, RS, 2012

1. Modelagem Dinâmica 2. Uso e cobertura da terra 3.
Dinamica EGO I. PEREIRA, Rudiney Soares II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Departamento de Engenharia Rural
Curso de Pós-Graduação em Geomática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

MODELAGEM DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA DO
ARROIO GRANDE – RS.

elaborada por
Mariele Coletto Furlan

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Rudiney Soares Pereira, Dr.
(Presidente/Orientador)

Ana Caroline Paim Benedetti, Dr^a. (UFSM)

Roberto Cassol, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 28 de setembro de 2012.

“Os objetivos e contingências são, sim, importantes. Mas elas existem em um futuro e em um passado, além do reino sensorial. A prática, o caminho da maestria, existe apenas no presente. Você pode ver, ouvir, cheirar, sentir. Amar o platô é amar o agora eterno, é desfrutar dos picos de progresso e dos frutos da realização, e então com serenidade aceitar o novo platô que o aguarda logo após.”
George Leonard

Aos meus avôs Acides Coletto in memoriam e Domingos Furlan in memoriam e minhas avós Maria Eunice Araújo Coletto e Melita Kleinert Furlan.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho. A CAPES pelo apoio financeiro. Ao meu orientador Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira pela oportunidade e pelo apoio ao longo desta etapa de minha formação. À Prof. Dr^a Ana Caroline Paim Benedetti pelo auxílio com o aplicativo Dinamica EGO ao longo deste trabalho. Aos colegas e parceiros do Laboratório de Sensoriamento Remoto – LABSERE, e da Pós-graduação em Geomática pela convivência enriquecedora e constante apoio durante a realização deste trabalho. Aos meus Pais por acreditarem incondicionalmente nesta jornada; Ao meu namorado por sempre me apoiar e não me deixar abater. Aos amigos que sempre torceram por mim, e a todos que de alguma maneira contribuíram para minha formação e para concretização deste trabalho.

A todos meu sincero Muito Obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-graduação em Geomática

Universidade Federal de Santa Maria

MODELAGEM DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA DO ARROIO GRANDE – RS.

AUTORA: MARIELE COLETTO FURLAN

ORIENTADOR: PROF. DR. RUDINEY SOARES PEREIRA

Data e local da defesa: Santa Maria, 28 de setembro de 2012.

Situada na região central do Rio Grande do Sul, a bacia do Arroio Grande localiza-se na transição da Depressão Central para o Planalto Meridional. Pertencendo a microrregião geográfica de Santa Maria, a área da bacia abrange parcialmente quatro municípios: Silveira Martins, Itaara, Santa Maria e Júlio de Castilhos. Estudos realizados na área evidenciaram, nas últimas duas décadas, uma tendência local de aumento das áreas florestais e das atividades agrícolas e a diminuição das áreas de campo. Este trabalho teve como objetivo modelar a dinâmica de uso e cobertura da terra ocorrida em dois períodos de tempo: 1991- 2002 e 2002-2011, e realizar a simulação de cenários até o ano de 2020. Para elaboração dos mapas temáticos de uso e cobertura da terra foram classificadas imagens dos sensores *TM* e *ETM+* dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 7*. O processo de modelagem foi realizado no aplicativo Dinamica EGO através dos métodos: Cadeias de Markov, Pesos de Evidência e Autômatos Celulares. Os mapas simulados para os anos de 2002 e 2011, quando comparados com os mapas reais, alcançaram índices de similaridade satisfatórios. O cenário simulado para o ano de 2020 apresentou percentuais de mudanças de uso e cobertura significativamente menores do que os verificados para os períodos anteriores, prevendo aumentos de 2,64% e 4,38%, para as áreas florestais e agrícolas, respectivamente, e uma diminuição das áreas de campo na ordem de 8,19%. Esta dinâmica pode indicar uma estagnação nas áreas de cultivo agrícola, pois não há grandes extensões de terra adequadas para o avanço da agricultura, principal propulsor da evolução observada no período de estudo, nas regiões com maior vocação agrícola, como nas proximidades de Silveira Martins, nas várzeas do Arroio Grande e em áreas do planalto meridional, correspondentes a Júlio de Castilhos.

Palavras-chave: modelagem espacial dinâmica, classificação digital de imagens, Dinamica EGO.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-graduação em Geomática

Universidade Federal de Santa Maria

DINAMIC MODELING OF LAND USE AND LAND COVER OF WATERSHED OF ARROIO GRANDE – RS.

AUTHOR: MARIELE COLETTI FURLAN

LEADER: PROF. DR. RUDINEY SOARES PEREIRA

Date and place of defense: Santa Maria, september 28, 2012.

Located on the mid-region of Rio Grande do Sul, the watershed of the Arroio Grande lies on the transition of the Central Depression to the Southern Plateau. Belonging to the geographic micro-region of Santa Maria, the watershed area partially covers four municipal districts: Silveira Martins, Itaara, Santa Maria and Júlio de Castilhos. Studies on the area showed, on the last two decades, a local increase tendency of the forest areas, rural activities and a decrease of the field areas. This work had as objective, modeling the dynamics of use and covering of land occurred in two periods of time: from 1991 to 2002 and from 2002 to 2011; and to perform the simulation of scenarios until the year of 2020. To elaborate the thematic maps of land cover and use, images the satellites Landsat 5 and Landsat 7 were classified. The modeling process was performed by the Dinamica EGO app through these methods: Markov Chain, Weights-of-Evidence and Cellular Automata. The simulated maps to the years of 2002 e 2011, when compared with real maps, reached satisfactory similarities indexes. The simulated scenery for the year of 2020 presented significant less percentages of changing of the use and cover than those verified for the previous periods, predicting increase of 2,64% and 4,38% to the forest and rural areas respectively, and a decrease of the field areas about 8,19%. This dynamic may indicate stagnation in the agricultural cultivation areas, because there are no great extensions of proper land for the agricultural advance, which is the main propeller of the observed evolution in the study period, on the regions of greater agricultural vocation, as it is on the proximities of Silveira Martins, in the floodplain of Arroio Grande and in Southern Plateau areas, corresponding to Júlio de Castilhos.

Key words: dynamic spatial modeling, digital classification of images, Dinamica EGO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização da bacia hidrográfica do Arroio Grande – RS.....	21
Figura 2. Arquitetura de um Sistema de Informação Geográfica. Fonte: CÂMARA; QUEIROZ (1999).....	26
Figura 3. Duas formas de realizar a detecção de mudança de uso e cobertura utilizando sensoriamento remoto.....	29
Figura 4. Fluxograma dos procedimentos metodológicos utilizados.	43
Figura 5. Edição da legenda numérica no aplicativo IDRISI.	48
Figura 6. Operação “ <i>Crosstab</i> ” no aplicativo IDRISI.	48
Figura 7. Cálculo dos intervalos para categorização das variáveis contínuas.	51
Figura 8. “ <i>Calc Reciprocal Similarity</i> ”: validação do modelo.	54
Figura 9. Áreas das classes temáticas de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande em 1991, 2002 e 2011.....	56
Figura 10. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1991	57
Figura 11. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2002	58
Figura 12. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2011	59
Figura 13. Gráfico da evolução da área plantada de soja 1991-2002-2010, no município de Silveira Martins.....	62
Figura 14. Gráfico da evolução da área plantada de soja 1991-2002-2010, no município de Santa Maria.....	63
Figura 15. Gráfico da evolução das áreas plantadas em hectare para os cultivos de milho, soja e trigo em Júlio de Castilhos.	64
Figura 16. Gráfico da evolução das áreas plantadas em hectare para os cultivos de milho, soja e trigo em Itaara..	65
Figura 17. Gráfico das transições de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande.	66
Figura 18. Mapa das transições de uso e cobertura da terra de 1991 à 2002 da bacia do Arroio Grande – RS.	67
Figura 19. Mapa das transições de uso e cobertura da terra de 2002 à 2011 da bacia do Arroio Grande – RS.	68
Figura 20. Representação dos mapas de probabilidade de transição das classes de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande, 1991 para 2002.	74

Figura 21. Representação dos mapas de probabilidade de transição das classes de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande, 2002 para 2011.	75
Figura 22. Representação das variáveis estáticas utilizadas nos modelos de simulação.	77
Figura 23. Mapas de Similaridade: (A) por decaimento constante e (B) por decaimento exponencial.....	79
Figura 24. Mapas anuais de simulação do uso e cobertura da terra para os anos de 2012 a 2019 na bacia do Arroio Grande.	81
Figura 25. Mapa da simulação do uso e cobertura da terra para o ano de 2020 na bacia do Arroio Grande – RS.	82
Figura 26. Gráfico da evolução de uso e cobertura da bacia do Arroio Grande com os anos de 1991, 2002, 2011 e a simulação para o ano de 2020.....	83
Figura 27. Representação dos mapas de probabilidade de transição para o modelo 2011-2020.	85
Figura 28. Mapa das transições de uso e cobertura da terra de 2011 para 2020 da bacia do Arroio Grande – RS.	86
Figura 29. Gráfico produção de soja (mil toneladas) no Rio Grande do Sul e Brasil para as safras de 1990/91, 2001/02 e 2010/11.....	124
Figura 30. Gráfico da área plantada de soja no Rio Grande do Sul e Brasil para as safras de 1990/91, 2001/02 e 2010/11.....	124
Figura 31. Gráfico da produção (mil toneladas) de Arroz no Rio Grande do Sul e Brasil para as safras de 1990/91, 2001/02 e 2010/11.....	125
Figura 32. Gráfico da área plantada de arroz no Rio Grande do Sul e Brasil para as safras de 1990/91, 2001/02 e 2010/11.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Imagens de satélite utilizadas no trabalho.....	44
Tabela 2. Áreas das classes temáticas de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande em 1991, 2002 e 2011.	56
Tabela 3. Matrizes de transição de passo simples (<i>Single Step</i>) e de passos múltiplos (<i>Multi Step</i>) para a série temporal 1991 – 2002.	70
Tabela 4. Matrizes de transição de passo simples (<i>Single Step</i>) e de passos múltiplos (<i>Multi Step</i>) para a série temporal 2002-2011.	70
Tabela 5. Índices por janelas de similaridade pela função de decaimento exponencial e função de decaimento constante para as simulações de 2002 e 2011.	78
Tabela 6. Área Total das Classes simuladas para 2020.	83
Tabela 7. Matriz de conversão de Classes do ano de 2011 para a simulação do ano de 2020 (ha).....	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classes de transições de uso e cobertura da terra adotadas.....	47
Quadro 2. Tipologias de uso e cobertura identificadas na área de estudo.....	45

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	37
Equação 2	38
Equação 3	39
Equação 4	39
Equação 5	39
Equação 6	41
Equação 7	41
Equação 8	51
Equação 9	52

LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

Apêndice A. Mapa de declividade e mapa hipsométrico da bacia do Arroio Grande 99	
Apêndice B. Gráficos dos Pesos de Evidência de cada variável utilizada em todas as transições consideradas para os períodos analisados (1991-2002 e 2002-2011). .100	
Apêndice C. Programação em LEGAL para mapas de transição de uso e cobertura da terra.....	118
Anexo I. Gráficos das áreas cultivadas e da produção em toneladas de soja e arroz no Rio Grande do Sul e no Brasil.....	124
Anexo II. Tabela da área plantada e quantidade produzida da lavoura temporária.	126

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

CA – Cellular Automata

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

EGO – Environment for Geoprocessing Objects

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LABSERE – Laboratório de Sensoriamento Remoto

LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico

NASA – National Aeronautics and Space Administration

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
3.1 Geotecnologias e geoinformação.....	24
3.1.1 Geoprocessamento e SIG.....	25
3.1.2 Análise espacial em Sistemas de Informação Geográfica	27
3.1.3 Sensoriamento remoto aplicado ao estudo de mudanças de uso e cobertura da terra.....	28
3.1.4 Interpretação e classificação de imagens	30
3.2 Modelagem dinâmica e o aplicativo Dinâmica EGO	31
3.2.1 Modelos Dinâmicos de simulação espacial.....	32
3.2.2 Modelagem aplicada à dinâmica de uso e cobertura da terra.....	34
3.2.3 Modelagem de uso e cobertura da terra no aplicativo Dinamica EGO.....	35
3.2.3.1 Calibração: Matrizes de transição e Pesos de Evidência.....	36
3.2.3.1.1 Matrizes de transição	36
3.2.3.1.2 Cadeias de Markov	37
3.2.3.1.3 Pesos de Evidência.....	38
3.2.3.2 Execução: Autômatos celulares	39
3.2.3.3 Validação: função de decaimento exponencial e função de decaimento constante	40
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
4.1 Criação do Banco de Dados Geográfico.....	42
4.1.1 Aquisição e Processamento Digital das Imagens	42
4.1.2 Mapas das Variáveis Estáticas	45
4.1.3 Elaboração dos mapas das transições de uso e cobertura da terra	46
4.2 Utilização do aplicativo IDRISI	47

4.3 Aplicativo ERmapper.....	49
4.4 Modelagem dinâmica de uso e cobertura da terra: utilização do aplicativo DINAMICA EGO.....	49
4.4.1 Calibração do modelo no aplicativo Dinamica EGO.....	50
4.4.2 Módulo 2: Execução do modelo de dinâmica de uso e cobertura da terra no aplicativo Dinamica EGO	52
4.4.3 Módulo 3: Validação do modelo utilizado	53
4.4.4 Simulação	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1 Mapeamento de uso e cobertura da Terra.....	55
5.2 Evolução do uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande	60
5.3 Transições das classes de uso e cobertura da terra.....	65
5.4 Modelagem Dinâmica	69
5.4.1 Calibração.....	69
5.4.1.1 Análise dos coeficientes dos Pesos de Evidência.....	71
5.4.1.2 Mapas de probabilidade de transição	73
5.4.2.2 Índice Cramer (V) e Índice de Incerteza Conjunta (U)	76
5.4.3 Execução do Modelo.....	77
5.4.4 Validação do modelo de simulação.....	78
5.4.4 Simulação de Cenário futuro.....	80
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

A construção de modelos na ciência não é uma técnica recente, diferentes áreas do conhecimento utilizam-se dela para elucidar idéias, processos, hipóteses, sistemas, leis. Modelos de simulação dinâmica espacial são introduzidos em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica com intuito de ampliar as possibilidades de análise espacial, superando as representações estáticas da realidade. Diferentes aplicativos estão disponíveis hoje com esta finalidade, como Clue-S, Land Change Modeler, Terra-ME, Dinamica EGO, dentre outros. Neste trabalho optamos pelo uso do aplicativo Dinamica EGO, que apresenta bom desempenho e possui documentação acessível.

A área de estudo, a bacia do Arroio Grande, situa-se na região central do Rio Grande do Sul, na transição da Depressão Central para o Planalto Meridional. Pertencendo a microrregião geográfica de Santa Maria, a área da bacia abrange parcialmente quatro municípios: Silveira Martins, Itaara, Santa Maria e Júlio de Castilhos. A região teve sua ocupação iniciada no final do século XVIII por tropas portuguesas, e mais efetivamente, anos depois com a doação das primeiras sesmarias. A apropriação das terras locais avançou até a segunda metade do século XIX, neste período as áreas de campos teriam sido apropriadas rapidamente e divididas em grandes propriedades dedicadas à criação de gado. As áreas florestais, inadequadas para a pecuária, foram ao longo do século XIX destinadas a colonização de imigrantes alemães e italianos.

No século XX com o avanço das atividades agrícolas, para suprir necessidades locais e globais de alimento, temos mudanças significativas no cenário nacional, gaúcho e, conseqüentemente, na bacia do Arroio Grande. Na década de 1970 temos incentivos governamentais para exploração das áreas de várzea, o que ocasionou ampla utilização da planície de inundação do Arroio Grande para o cultivo de arroz. No fim do século XX para o início do século XXI temos a expansão da produção de soja, então podemos observar a expansão das áreas agrícolas no planalto meridional Sul-Rio-Grandense.

Trabalhos anteriormente realizados na área da bacia hidrográfica do Arroio Grande, como, Ruhoff (2004) que se dedicou a questões referentes à modelagem do escoamento superficial e a perda de solos, e Kleinpaul (2005) e Torres (2011) que

tiveram por objetivo a análise da evolução florestal, identificaram aumento nas áreas de floresta e diminuição das áreas de campos e pastagens. Segundo os autores o aumento da área florestal é atribuído ao abandono das áreas próximas as encostas do Planalto Meridional para ocupação mais intensiva de áreas mais propícias as atividades agrícolas mecanizadas, fator que justifica em parte a diminuição das áreas de campos.

O objetivo geral desta pesquisa foi a modelagem dinâmica de mudança de uso e cobertura da terra entre os anos de 1991, 2002 e 2011, e simulação de um cenário para o ano de 2020, na bacia do Arroio Grande - RS. E como objetivos específicos: elaborar mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1991, 2002 e 2011; quantificar e localizar as alterações de uso que ocorreram no período em análise; calibrar, executar e validar um modelo dinâmico de mudança de uso e cobertura da terra, realizando a simulação de um cenário futuro para o ano de 2020.

A dissertação esta dividida em seis capítulos, o primeiro consiste nesta introdução, o capítulo 2, "Localização e caracterização da área de estudo", contém uma breve caracterização da bacia do Arroio Grande, abordando aspectos físicos e antrópicos, bem como trás resumidamente um histórico da ocupação da área. No capítulo 3 é apresentado o arcabouço teórico utilizado para o desenvolvimento deste trabalho, são abordados temas como: geoinformação e geotecnologias, análise espacial, sensoriamento remoto, classificação de imagens, modelagem dinâmica espacial, e a construção de modelos de simulação dinâmica espacial no aplicativo Dinamica EGO.

O capítulo 4 contém a descrição da metodologia aplicada e dos materiais utilizados. No Capítulo 5 os resultados e discussões do trabalho são apresentados, iniciando com os mapas e informações obtidas a partir do processamento digital das imagens Landsat. Como parte desta primeira etapa, apresentamos a evolução do uso e cobertura da bacia do Arroio Grande, trazendo a contribuição de outros trabalhos realizados na área e de dados estatísticos da produção agrícola. O segundo tópico abrange os resultados do processo de modelagem no aplicativo Dinamica EGO, são mostrados os resultados de cada etapa: calibração, execução e validação do modelo. A última parte deste capítulo trás os resultados da simulação de uso e cobertura para a bacia do Arroio Grande até o ano de 2020. Por fim, o capítulo 6 trás as considerações finais desta pesquisa.

2 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizada entre as regiões fisiográficas Depressão Central e Planalto Meridional do Rio Grande do Sul, a bacia hidrográfica¹ do Arroio Grande, possui mais de 35 mil hectares e integra a sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-mirim. A bacia do Arroio Grande pertence a microrregião geográfica de Santa Maria e abrange parcialmente quatro municípios: Silveira Martins, Itaara, Santa Maria e Júlio de Castilhos, tendo os dois primeiros suas sedes municipais localizadas dentro dos limites da bacia, conforme pode ser observado no mapa de localização da área (Figura 1).

A vegetação da área de estudo configura o que Marchiori (2004) apontou como uma grande evidência da relação entre vegetação e relevo, as áreas acidentadas, do rebordo do Planalto Meridional, constituem-se predominantemente por florestas, enquanto nas áreas planas estabelecem-se os campos.

As florestas pertencem ao bioma mata atlântica, especificamente ao ecossistema floresta estacional decidual, por apresentar mais de 50% do estrato florestal caducifólio (SOS Mata Atlântica, INPE 2011). Apesar deste ecossistema se caracterizar pela existência de estações bem definidas (chuvosa e seca), diferente da classificação climática da região - Cfa, segundo a classificação de Köppen, caracterizada por ter um regime de chuvas bem distribuídas ao longo do ano, a estacionalidade da floresta é atribuída ao inverno rigoroso da região (IBGE, 1991).

A área de estudo caracteriza-se pela grande quantidade de pequenas propriedades rurais, muitas dedicadas à policultura (RUHOFF, 2004). Segundo Itaqui (2002) e Ruhoff (2004) a agricultura no Arroio Grande até meados da década de sessenta ocupava fortemente áreas das encostas das serras, essa realidade mudou com a “Revolução Verde” e o acesso as tecnologias e à mecanização agrícola, havendo assim o abandono destas áreas de declividade elevada, voltando-se então para áreas adequadas à utilização do maquinário, como as regiões do

¹ “(...) conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático” (TEODORO et al, 2007).

planalto meridional, e as áreas da planície de inundação, que apresentam baixa declividade como pode ser observado no apêndice A.

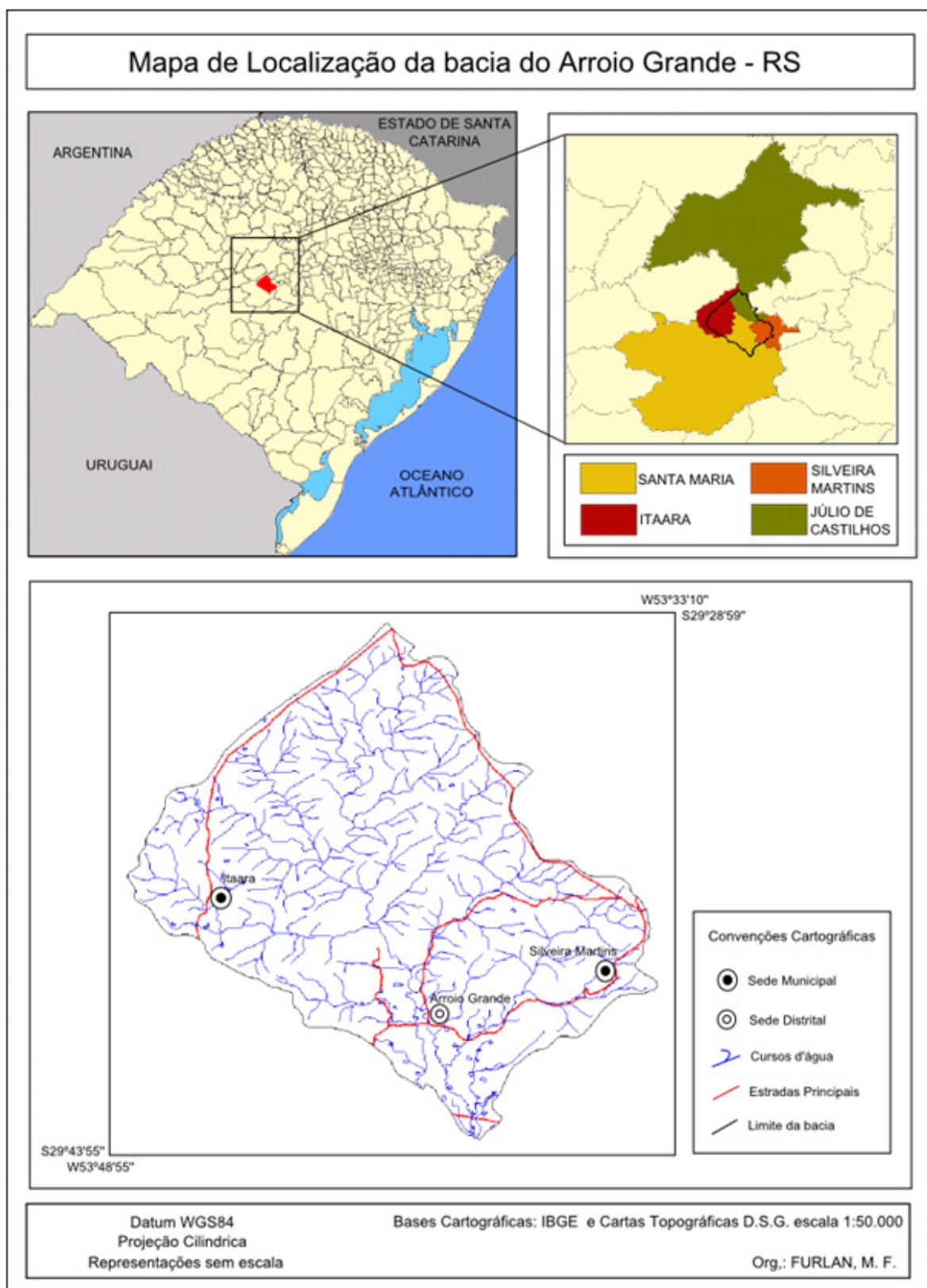


Figura 1. Mapa de Localização da bacia hidrográfica do Arroio Grande – RS.

As encostas das serras do Planalto Meridional têm como substrato a formação geológica Serra Geral-Basalto, já no Planalto, no extremo norte da bacia a formação geológica correspondente é Serra Geral-Riólito (RUHOFF, 2004).

As áreas de planície de inundação da bacia que caracterizam-se pelas baixas declividades, são compostas geologicamente pela formação aluvionar e formação Rosário do Sul, a primeira caracterizada por depósitos de sedimentos recentes, areias e cascalhos, e a segunda por depósitos também de origem fluvial, mas constituída por arenitos finos e de baixa permeabilidade (IBGE, 1986), geomorfologicamente compõem a depressão central do Estado.

As áreas correspondentes a planície de inundação do Arroio Grande são amplamente utilizadas, até os dias atuais, para o cultivo de arroz irrigado, prática difundida e financiada na década de setenta pelo Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis – Pró-Várzea, que tinha como objetivo a adequação das várzeas para produção agrícola (DIEGUES, 1990; DUARTE; TAVARES, 2007).

Segundo Farinatti (2000) a região de Santa Maria (que abrangia um território que hoje corresponde aos municípios de Silveira Martins, Itaara, Dilhermando de Aguiar, São Pedro do Sul e Santa Maria) teve sua ocupação iniciada no final do século XVIII por tropas portuguesas, e mais efetivamente, anos depois com a doação das primeiras sesmarias. A apropriação das terras locais avançou até a segunda metade do século XIX, as áreas de campos teriam sido apropriadas rapidamente e divididas em grandes propriedades dedicadas à criação de gado. Inadequadas para a pecuária, as áreas florestais não despertaram interesse nos estancieiros em um primeiro momento, e foram ao longo do século XIX destinadas a colonização de imigrantes alemães e italianos. “No entanto, essas terras altas, cobertas por espessas matas, não estavam vazias à espera do braço imigrante. Ali se instalaram muitos daqueles elementos luso-brasileiros que não conseguiram tornar-se estancieiros, buscando sobreviver através de uma pequena agricultura de alimentos” (FARINATTI, 2000).

O município de Silveira Martins emancipou-se de Santa Maria em 1989, tendo antes disso dado origem aos demais municípios de compõem a quarta colônia (Nova Palma, Dona Francisca, Ivorá, Faxinal do Soturno, São João do Polêsine, Agudo, Restinga Seca e Pinhal Grande). Com uma área de 118,423 km² Silveira Martins em 2010 possuía 2.449 habitantes, segundo dados do IBGE seu produto interno bruto

(PIB) é composto por 48% do setor de serviços, 46% da agropecuária e 6% da indústria. No setor agropecuário destaca-se a pecuária, e a produção de soja, milho e tradicionalmente as plantações de batata.

Emancipado de Santa Maria em 1997 e declarado município turístico no mesmo ano, Itaara teve sua ocupação iniciada na metade do século XIX por famílias alemãs, a economia se baseava inicialmente na agricultura, exploração de madeira, produção de artefatos de couro e ferrarias (IBGE, 2010). Segundo dados do IBGE, Itaara em 2010 possuía 5.010 habitantes, seu PIB é composto principalmente pelo setor de serviços, responsável por 61%, complementado por 20% do setor industrial e 19% pela produção agropecuária.

O quarto distrito de Santa Maria, denominado Arroio Grande, tem sua economia bastante diversificada, apresentando além das tradicionais atividades agrícolas, como a produção orizícola nas áreas da planície de inundação, e na sua característica indústria de facas, mais recentemente tem se desenvolvido no setor de produtos coloniais e de agroindústria caseira, assim como em atividades ligadas ao lazer e ao turismo (LUTHER, 2005; 2007).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo delineamos as bases teóricas do trabalho realizado, inicialmente abordando as geotecnologias, como o geoprocessamento, os sistemas de informação geográfica e o sensoriamento remoto. Na sequência trabalhamos com os conceitos de modelagem e a aplicação de modelos como suporte às análises espaciais, e por fim este capítulo apresenta o aplicativo Dinamica EGO, como ferramenta para simulação espacial de uso e cobertura da terra.

3.1 Geotecnologias e geoinformação

As geotecnologias servem de aporte para o desenvolvimento da sociedade atual, aprimorando o nosso conhecimento a cerca do espaço que ocupamos e transformamos. Como o próprio termo designa, geotecnologia refere-se ao emprego da tecnologia como subsídio para desenvolver o conhecimento sobre elementos referenciados geograficamente. O termo engloba tecnologias dedicadas ao geoprocessamento, como os sistemas de informações geográficas – SIG (ou GIS, sigla em inglês), o sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens. As geotecnologias possibilitam a sistematização do conhecimento, o gerenciamento de dados geográficos dos mais diversos tipos, e permitem a superposição de informações, contribuindo assim para a interpretação das interações entre dados (COELHO et al., 2009 – no prelo apud COELHO, 2009).

A “Ciência da Informação Espacial” ou “Ciência da Geoinformação” (CÂMARA, MONTEIRO, MEDEIROS (2000), CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO (2001)), conhecida também pela sigla em inglês “*GISci - Geographic Information Science*” (MILLER, 2000), corresponde ao uso das geotecnologias no estudo de diversos temas, a partir da análise espacial, configurando-se assim interdisciplinar e multidisciplinar. Ao contrário das técnicas que lhe dão suporte (os SIG evoluíram rapidamente a partir da década de 1970), a ciência da Geoinformação não teve um desenvolvimento correspondente, carecendo, portanto, de bases teórico/conceituais que acompanhassem a evolução técnica.

Câmara; Monteiro; Medeiros (2001) delimitam como fundamento da ciência da geoinformação a “construção de representações computacionais do espaço”,

partindo deste pressuposto, a noção de espaço geográfico é apresentada como conceito chave.

Na história da ciência geográfica o conceito de espaço assume diferentes concepções, por exemplo, a partição do espaço geográfico em unidades de área, conceito proposto por Hartshorne, corresponde aos polígonos e seus atributos, utilizados no geoprocessamento para delimitar regiões, assim como o conceito de unidade de paisagem de Tricart e *land-unit* de Zooneveld (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2001).

O espaço geográfico pode ser dividido em espaço absoluto e espaço relativo. O espaço absoluto, ou Cartesiano, é delimitável, possui localização precisa e teve seus fundamentos na cartografia de base. O espaço relativo, Leibnitziano, é, segundo Suertegaray (2001), “definível a partir de variáveis pré-estabelecidas, definidas *a priori*, a partir dos objetivos de delimitação. O espaço existiria, então, como representação, podendo ser objetivamente delimitado em cartas e mapas”.

Nos SIG a noção de espaço absoluto é a mais amplamente utilizada, vinculada ao conceito de mapa, no entanto o estudo de processos dinâmicos traz a importância do conceito de espaço relativo e de espaço próximo, fundamentais para compreender e representar os fluxos e conexões que ocorrem em um sistema (PEDROSA; CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

O conceito de espaço próximo foi desenvolvido por Couclelis (1997) apud Pedrosa; Câmara; Monteiro (2001) como uma extensão dos conceitos de espaço absoluto e relativo. No espaço próximo o conceito chave é a vizinhança associada à noção de proximidade, que conduzem também ao conceito de proximidade funcional ou influência. Schultz (2007) em trabalho sobre análise espaço-temporal trabalhou com a noção de espaço relativo para “identificar transformações espaciais ocorridas na paisagem de áreas florestais” e com o conceito de espaço próximo para verificar a influência dessas transformações nas regiões vizinhas.

3.1.1 Geoprocessamento e SIG

Geoprocessamento é definido por Câmara; Davis; Monteiro (2001) como a disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para trabalhar com

informações geográficas, assim como os sistemas de informação geográfica – SIG, são as ferramentas utilizadas por esta.

Um SIG tem por finalidade armazenar, analisar, e manipular dados geográficos, ou seja, dados que possuam localização geográfica (CÂMARA, et al. 1996). Eles permitem apresentar cartograficamente informações complexas, em uma base dados integram objetos espaciais e seus dados, e possuem um conjunto de procedimentos e de ferramentas de análise espacial (CARVALHO et al., 2000).

Por serem ferramentas com aplicabilidade bastante ampla, os SIG são utilizados por diferentes usuários para diferentes fins, caracterizando-se como multidisciplinares e transdisciplinares.

Um SIG pode ser considerado um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Geográfico, uma vez que usualmente os dados são organizados sob esta forma. Na Figura 2 temos a estrutura básica de um SIG e as relações entre os diferentes níveis, a interface é o que define como o sistema é operado, e é o nível mais próximo do usuário, no nível intermediário temos a entrada e integração dos dados, o processamento dos mesmos e a visualização e saída das informações. No interior do sistema temos o banco de dados geográfico e um sistema de gerenciamento que permite o armazenamento e recuperação dos dados espaciais e de seus atributos (CÂMARA; QUEIROZ, 1999).

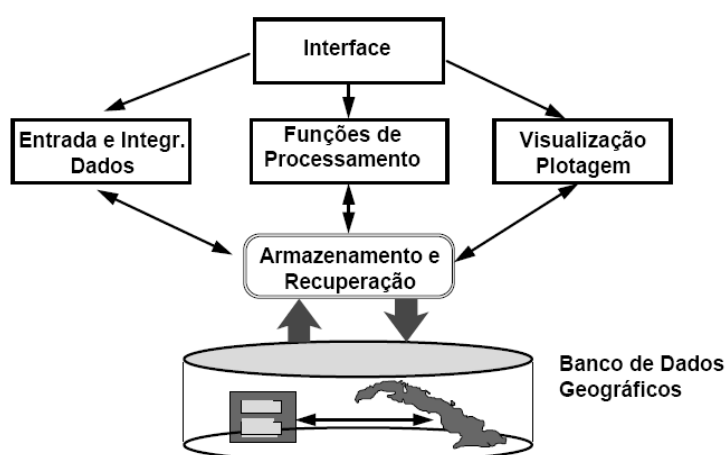


Figura 2. Arquitetura de um Sistema de Informação Geográfica. Fonte: CÂMARA; QUEIROZ (1999).

Liu (2007) especifica e aprofunda estes três componentes dos SIG, separando-os em: (a) processamento de dados, (b) construção de modelo estocástico e (c) construção de modelo SIG dinâmico. A seguir as especificações de cada função:

- a. Processamento de dados: entrada de dados digitais, georreferenciamento de dados, quantificação e geração de geo-objetos pontuais em matricial, geração de mapas temáticos;
- b. Construção de modelo estocástico: seleção de atributos, geração de índice de cada atributo, assinar pesos de cada atributo, geração de mapa de índice de cada tema específico;
- c. Construção de modelo SIG dinâmico: geração de equação matemática, para cada índice de termo específico, em função do tempo e outras variáveis independentes; projeção para cada índice temático para dez, vinte e cinquenta anos; análise de modelos alternativos de acordo com a projeção de tempo; seleção de modelos adequados; geração de mapa temático dinâmico; validação e avaliação do desempenho dos modelos alternativos o tempo após a implantação.

Segundo Câmara et al. (1997), a implantação de um Sistema de Informação Geográfica envolve três grandes fases: modelagem do mundo real; a criação do banco de dados geográfico; e a operação. A primeira fase, a modelagem do mundo real, inicia-se com a escolha dos fenômenos e entidades de interesse e com a generalização dos mesmos; a criação do banco de dados envolve a coleta, correção e georreferenciamento destes dados; e a última fase corresponde ao uso do SIG, ao desenvolvimento de aplicações específicas sobre os dados armazenados.

3.1.2 Análise espacial em Sistemas de Informação Geográfica

A análise espacial relaciona-se fundamentalmente a geografia, pois se ocupa do estudo dos padrões espaciais de qualquer fenômeno, e é responsável também por relacionar os aspectos cartográficos com áreas de análise aplicada, como a estatística e a modelagem (ROSA, 2011).

Os SIG distinguem-se de outros sistemas de informação por possuírem funções de análise espacial dos dados armazenados. As operações são realizadas utilizando atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas da base de dados, permitindo assim fazer simulações sobre fenômenos e aspectos do mundo real (CORDEIRO; BARBOSA; CÂMARA, 2004).

Segundo Rosa (2011) “As operações de análise espacial são as que permitem responder a questões como “Onde fica ...?”, “O que existe aqui?”, “o que fica mais perto ...?”, “O que é que se encontra dentro desta área?”, “O que faz limite com ...?””. Estas são operações básicas, e diversos *softwares* de geoprocessamento disponibilizam ferramentas para executá-las através de álgebra de mapas e modelagem cartográfica.

Em análise espacial o conceito de dependência espacial e, conseqüentemente, de auto-correlação espacial (expressão computacional correspondente) são imprescindíveis. A dependência espacial parte do pressuposto de que grande parte das “ocorrências naturais ou sociais apresentam entre si uma relação que depende da distância”, e a auto-correlação espacial tem por objetivo verificar como a dependência espacial varia, através da “comparação entre os valores de uma amostra e de seus vizinhos” (SCHULTZ, 2007).

3.1.3 Sensoriamento remoto aplicado ao estudo de mudanças de uso e cobertura da terra

O sensoriamento remoto é muitas vezes descrito como a tecnologia empregada para obtenção de informações sem que se necessite de contato com o alvo (CÂMARA et al, (1996); NOVO (1998); JENSEN (2009)). Segundo Novo (1998), podemos definir sensoriamento remoto como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, e equipamentos para transmissão de dados, tendo como objetivo o estudo da superfície terrestre, bem como fenômenos e processos que ocorram sobre a mesma, através do registro e análise das relações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõe o planeta Terra.

Para Jensen (2009) “o sensoriamento remoto é uma ferramenta ou técnica (...) [que] funciona em harmonia com outras ciências da informação geográfica...”. De acordo com Aronoff (1995), as informações obtidas através de sensores remotos são mais efetivas quando usadas junto com SIG, e estes também provém mais acurácia as análises de sensoriamento remoto.

A tecnologia de sensoriamento remoto por satélites disponibiliza ao usuário dados consistentes da condição da paisagem, o que permite a detecção de mudanças bruscas ou graduais, de origem natural ou antrópica. Esta detecção e a

caracterização das mudanças são a chave para monitorar a dinâmica da paisagem. Os resultados obtidos em longo prazo podem proporcionar a identificação da causa que impulsiona a mudança, isso permite direcionar a gestão estratégica da causa e não simplesmente dos sintomas da causa (KENNEDY et al., 2009). Na Figura 3 temos dois esquemas de detecção de mudança de uso e cobertura da terra. Conforme Lambin et al (2001) o termo cobertura da terra compreende os atributos biofísicos da superfície terrestre e o termo uso da terra engloba o propósito humano aplicado a estes atributos. Ainda segundo os autores as mudanças de uso e cobertura da terra relacionadas as alterações antrópicas tem apresentado ritmo, alcance e magnitude sem precedentes, impactando significativamente aspectos-chave do sistema terrestre.

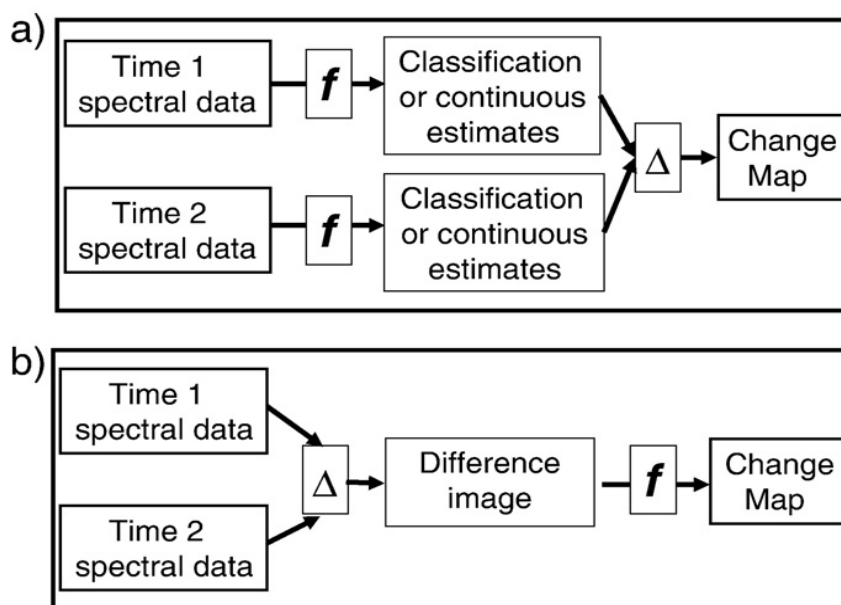


Figura 3. Duas formas de realizar a detecção de mudança de uso e cobertura utilizando sensoriamento remoto. a) um mapeamento ou classificação é aplicado resultando em dois mapas distintos, estes mapas são comparados para se obter a mudança. b) os valores espectrais de duas imagens são diferenciados diretamente e é aplicado um algoritmo de mapeamento ou classificação a esta diferença. Fonte: KENNEDY, et al., (2009).

Para Gallego (2004) apud Liu (2007), há três formas para o uso de imagens de satélite no estudo de uso e cobertura do solo: (a) identificação e classificação estimada das classes de uso do solo, onde dados coletados em campo podem servir para validação dos métodos de classificação; (b) auxílio no levantamento de amostras, como por exemplo, controle de qualidade da coleta de dados em campo;

(c) combinadas com o uso de técnicas estatísticas, *softwares* de SIG, e levantamentos de campo, podem ser usadas para monitorar e prever evoluções espaço-temporais da superfície.

3.1.4 Interpretação e classificação de imagens

A classificação de imagens pode ser definida como um processo de extração de informação a partir de imagens com a finalidade de “reconhecer padrões e objetos homogêneos” que são utilizados para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse (INPE, 2012).

A interpretação de imagens é baseada na análise de diferentes elementos, como a localização, os arranjos espaciais de tom e cor (tamanho, forma, textura, padrão de sombra, profundidade, etc.), sítio (aspecto da área e adjacências), situação em relação aos outros objetos e associação entre diferentes fenômenos (JENSEN, 2009).

Para Ponzoni; Shimabukuro (2010) três aspectos precisam ser delineados para a realização da interpretação de uma imagem: a delimitação do objetivo, a definição da escala de trabalho e a detalhamento da metodologia a ser empregada.

A boa interpretação e, conseqüentemente, classificação adequada de imagens digitais, dependem da boa acuidade visual do intérprete, conhecimento da tecnologia utilizada (sistema sensor, faixa espectral, etc.), do comportamento dos alvos no espectro eletromagnético e dos parâmetros que controlam a reflectância de diferentes alvos. Assim como é necessário o conhecimento sobre o objeto de estudo, a área estudada, e uma metodologia adequada para extrair as informações desejadas de maneira satisfatória (SOARES-FILHO (2000)).

3.2 Modelagem dinâmica

“Inegavelmente os modelos são bonitos e um homem pode, com toda a razão, sentir-se orgulhoso em sua companhia. Mas os modelos podem ter seus vícios secretos. A questão é saber, afinal, se são bons apenas para se olhar e, também, se podemos sentir-nos felizes com sua utilização.” (KAPLAN, (1964), pág. 288 apud CHORKEY; HAGETT, (1975), pág. 1)

A utilização de modelos na ciência não é recente (GEORGE, 1975). A construção de modelos de dados, nas mais diversas áreas do conhecimento, possui uma base comum. A modelagem de dados de qualquer natureza tem por objetivo representar o ambiente observado; documentar e normatizar os dados; fornecer processos de validação; e observar processos de relacionamentos entre objetos (MACORATTI, s/d).

A ciência geográfica, mais especificamente a linha que no Brasil chamamos de Geografia Teórica ou Quantitativa - teve seu desenvolvimento de 1945 a meados da década de 1970 - incorporou a concepção de modelos, já utilizada em outras ciências, em suas diferentes linhas de pesquisa, como: geomorfologia, hidrografia, climatologia, geografia humana, paisagens, etc. Como é descrito em Chorley, Haggett (1975):

“o modelo pode ser uma teoria, uma lei, uma hipótese ou uma idéia estruturada. Pode ser uma função, uma relação ou uma equação. Pode ser uma síntese de dados. E, mais importante do ponto de vista geográfico, pode incluir também argumentos sobre o mundo real por meio da representação do espaço (para produzir modelos espaciais) ou do tempo (para produzir modelos históricos)” (CHORLEY, HAGGETT (1975)).

A construção de modelos pode ser dividida em três etapas: modelo conceitual, modelo lógico e modelo físico. No modelo conceitual estabelece-se a visão geral do objeto de estudo, representam-se as entidades e os atributos principais, e pode conter relacionamentos; o modelo lógico deriva do modelo conceitual, mas é adaptado às regras de uma tecnologia de banco de dados (no caso de SIG estes são baseados em banco de dados orientados a objetos); o modelo físico por sua vez é elaborado a partir do modelo lógico e obedece aos limites de um SGDB (sistema gerenciador de banco de dados) e aos requisitos não funcionais dos programas que acessam os dados (MACORATTI, s/d).

Pedrosa; Câmara; Monteiro (2001) explicam um modelo como constituído pelos seguintes elementos: variáveis, relacionamentos e processos. Com base neste esquema a classificação dos modelos é realizada com base em seus objetivos, e podem ser divididos em modelos empíricos, que se detêm ao estudo dos relacionamentos entre as variáveis, e modelo de sistemas que são descrições matemáticas de processos complexos, que focalizam as interações entre todos os elementos do sistema.

Modelos de paisagem, especificamente, podem ser categorizados a partir de diferentes critérios, Baker (1989) considera como principais o “nível de agregação”, referindo-se ao nível de detalhamento, e o “uso de matemática contínua ou discreta”. De acordo com o nível de agregação ele apresenta os modelos de mudança da paisagem em três categorias distintas, sendo elas: (a) modelo total de paisagem; (b) modelo distribucional de paisagem; e (c) modelo espacial de paisagem. Destes apenas o modelo espacial de paisagem usa a localização e configuração dos elementos da paisagem na projeção das mudanças.

Processos físicos e de uso e cobertura do solo possuem mecanismos distintos para aplicação de regras de transição. Enquanto os processos físicos podem ser descritos por modelos determinísticos, os processos de uso e cobertura do solo são caracterizados como processos estocásticos e são altamente influenciados por variáveis exógenas (PEDROSA; CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

3.2.1 Modelos Dinâmicos de simulação espacial

Os modelos dinâmicos de simulação espacial foram desenvolvidos com o intuito de introduzir, uma nova forma de compreender o espaço geográfico, possibilitando a inclusão dos processos dinâmicos na análise espacial (ROCHA; SOUZA; TENEDÓRIO, 2001). Segundo Rodrigues; Soares-Filho; Costa (2007), modelos dinâmicos de simulação espacial tem por objetivo dar respaldo a análises para a compreensão dos sistemas ambientais, levando em consideração todos os processos envolvidos, para assim poder determinar como eles evoluem diante de diferentes cenários (socioeconômicos, políticos e ambientais). Estes modelos reproduzem padrões espaciais de mudanças e são de fundamental importância para

a compreensão e avaliação de questões ambientais complexas tanto no âmbito local quanto global (SOARES-FILHO et al., 2004).

Segundo Lambin (1994) apud Pedrosa, Câmara e Monteiro (2001) o modelo de um fenômeno deve responder as clássicas questões “Porquê” (a), “Quando” (b) e “Onde” (c). Ou seja, (a) “Quais variáveis ambientais e culturais contribuem para explicar o fenômeno, e quais são os processos ecológicos e sócio-econômicos existentes por trás do fenômeno?”; (b) “Como o processo evolui?”; (c) e “onde ocorrem os fenômenos?”. Respondendo a estas questões um modelo é considerado capaz de descrever quantitativamente um fenômeno e desta forma prever sua evolução.

O objetivo geral dos modelos dinâmicos em SIG é realizar a simulação numérica de processos do mundo real em que o estado de uma localização na superfície terrestre muda em resposta a variações em suas forças direcionadoras (BURROUGH, 1998).

Para Couclis (1997, apud PEDROSA; CÂMARA, 2007) os modelos espaciais dinâmicos devem ser capazes de representar:

- “- O espaço como uma entidade não homogênea, tanto nas suas propriedades quanto na sua estrutura;
- As vizinhanças como relações não estacionárias;
- As regras de transição como regras não universais;
- A variação do tempo como um processo regular ou irregular;
- O sistema como um ambiente aberto a influências externas.”

Pokrajac; Obradovic (2000) apontam vários fatores que tornam difícil a modelagem espaço-temporal, como o número reduzido de dados temporais, a baixa resolução e erros devido à interpolação de dados, a alta influência de atributos não observados, a não estacionariedade de dados espaço-temporais e a dependência não linear de atributos importantes.

Podemos diferenciar as tipologias de modelos dinâmicos espaciais a partir dos seus critérios, suas abordagens metodológicas ou regras utilizadas. Tomlin (1990) apud Miranda (2005) distingue modelos cartográficos em descritivos e prescritivos. Modelos descritivos, ligados a estatística descritiva, apresentam-se de forma bastante simples, isolando fenômenos e apresentando os resultados de forma que o usuário observa a localização dos atributos e as relações existentes entre eles. Em modelos preditivos, o usuário pode definir quais os fatores são importantes para o modelo e como eles se associam espacialmente (MIRANDA, 2005).

Outra forma de distinguir processos de modelagem são por suas abordagens metodológicas, sendo divididos em dedutivos ou indutivos, no método indutivo parte-se dos elementos específicos para o enunciado geral, e no dedutivo o sentido é inverso, respectivamente são chamados de modelos *bottom-up* e *top-down* (MIRANDA, 2005).

3.2.2 Modelagem aplicada à dinâmica de uso e cobertura da terra

Conhecidos internacionalmente como *Land Use and Cover Change – LUCC*, os modelos de mudança de uso e cobertura da terra dão suporte aos estudos sobre as causas e consequências destas alterações e auxiliam na estimativa dos impactos das supostas mudanças (COSTANZA; RUTH 1998 apud VERBURG, 2004; VELDKAMP; LAMBIN, 2001).

A análise de cenários elaborados a partir de modelos de uso e cobertura da terra dá respaldo ao planejamento e a gestão das políticas de uso da terra. De acordo com Soares-Filho et al., (2004), o resultado de um modelo de simulação espacial permite que se testem hipóteses para a predição de cenários, que por sua vez contribuem fortemente com o planejamento a médio e longo prazo.

Buscando a superação das análises estáticas, insuficientes para a análise de processos dinâmicos, diversos trabalhos foram desenvolvidos nos últimos anos, com diferentes enfoques, como a evolução da paisagem (SOARES-FILHO; PENNACHIN; CERQUEIRA, 2002), evolução urbana (ALMEIDA et al., 2003; ALMEIDA, 2004a, 2004b), mudanças na cobertura florestal (CENTENO; SELLERON, 2002; GONCALES; CETENO; SELLERON, 2003; GARCIA; SOARES-FILHO; MORO, 2004; HENDGES, 2007; SHULTZ, 2007; PEREIRA; BENEDETTI; ALMEIDA, 2011), mudanças de uso e cobertura (TEIXEIRA, 2005; SERRATO et al., 2011). Segundo AGUIAR (2012) o interesse no estudo das mudanças nos padrões de uso e cobertura da terra, tanto no meio científico, quanto fora deste, se deve a velocidade com que estes processos de mudança têm ocorrido nas últimas décadas e aos possíveis impactos ambientais e socioeconômicos destas alterações.

Para o desenvolvimento de modelos de mudança de uso da terra mais realísticos, é imprescindível a identificação das mais importantes forças direcionadoras. Assim como é essencial compreender de que forma a escala de

análise afeta os resultados da modelagem e distinguir entre as projeções das mudanças, quanto a quantidade e a localização, pois enquanto alguns modelos tem o foco na previsão das taxas de mudança, outros colocam mais ênfase nos padrões espaciais. Isto também trás implicações nas escolhas dos dados e nas estratégias de validação (VELDKAMP; LAMBIN, 2001).

Segundo Mas et al., (2011) os procedimentos envolvidos em uma modelagem [dinâmica espacial] podem ser descritos em cinco passos: (1) *cálculo da área de cada transição*; (2) *determinação das probabilidades de mudança*; (3) *componente que assinala a localização das mudanças*; (4) *eventualmente um módulo espacial que simula os padrões espaciais das mudanças* e (5) *um procedimento que permita comparar o mapa de referência com o mapa simulado*. Neste trabalho optamos por adaptar estes cinco passos, sintetizando-os em três etapas. Os três passos iniciais consistem na etapa de calibração, o quarto passo na etapa de execução do modelo e o último na validação do modelo realizado.

3.2.3 Modelagem de uso e cobertura da terra no aplicativo Dinamica EGO

Originalmente intitulado DINAMICA, passando a ser denominado Dinamica EGO na versão 1.1.7, é um *software* livre, que foi criado e é mantido pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR), do Instituto de Geociências de Universidade Federal de Minas Gerais. Ele foi desenvolvido inicialmente para realizar estudos de simulação da dinâmica da paisagem em áreas de colonização na floresta amazônica (SOARES-FILHO; CERQUEIRA; PENNACHIN, 2000). No entanto, suas características genéricas para simulação espacial o tornaram facilmente adaptado para diferentes fenômenos ambientais (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

O Dinamica EGO dispõe de um ambiente simples e flexível que proporciona um ótimo desempenho. Mas et al. (2011), em estudo comparativo entre programas para modelagem de mudanças de uso e cobertura da terra (CLUE, Dinamica EGO, CA_MARKOV e Land Change Modeler), onde foram avaliados métodos e ferramentas que cada modelo disponibiliza para os procedimentos básicos de modelagem, o desempenho no desenvolvimento de modelos mais sofisticados, a facilidade de uso e a disponibilidade de material de apoio, apontou o Dinamica EGO

como o aplicativo com maior potencial, devido sua grande flexibilidade e possibilidades de interação com outras ferramentas.

O aplicativo Dinamica EGO tem seu funcionamento baseado em “funtores”, cada “functor” realiza determinada ação, e eles são interligados para gerar um fluxo de dados, por exemplo, um functor carrega um dado (como um mapa), outro executa um cálculo e o último escreve o resultado (RODRIGUES; SOARES-FILHO; COSTA, 2007). O aplicativo possui funções específicas para a realização das simulações espaciais, como funções de transição e métodos de calibração e validação de modelos, estes métodos são descritos a seguir, para fins didáticos adotamos uma divisão em três módulos, intitulados: calibração, execução e validação.

3.2.3.1 Calibração: Matrizes de transição e Pesos de Evidência

A calibração de um modelo consiste na adequação e preparação dos dados de entrada, no Dinamica EGO o processo inclui o cálculo do percentual das mudanças de classes, efetuado através do cálculo das matrizes de transição; do cálculo das faixas para discretização das variáveis contínuas; cálculo dos pesos de evidência ($W+$); e análise da correlação dos pesos entre as variáveis de entrada para todas as transições. Questões operacionais destas etapas serão descritas na metodologia (seção 4), a seguir apresentamos uma breve descrição de matrizes de transição, “Cadeias de Markov” e do método “Pesos de Evidência”.

3.2.3.1.1 Matrizes de transição

No Dinamica EGO a matriz de transição é utilizada para calcular as taxas anuais de transição e assim projetar as tendências de mudança aplicando uma equação de cálculo matricial (MAS et al., 2011). A matriz de transição descreve um sistema que muda ao longo de um tempo discreto, em que o valor de qualquer variável em um determinado período de tempo é a soma dos percentuais fixos do valor das variáveis no período anterior (Equação 1). A soma de frações ao longo da coluna da matriz de transição é igual a um. As taxas de transição são passadas para o modelo como um parâmetro fixo dentro de uma determinada fase (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1\cdot} & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2\cdot} & P_{2j} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{3j} \\ P_{j1} & P_{j2} & P_{j\cdot} & P_{jj} \end{bmatrix}^v * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=0}$$

Equação 1

Uma matriz de passo único (*single step*) representa um período de tempo de um único passo, enquanto uma matriz de passos múltiplos (*multi step*) corresponde a uma unidade de passo de tempo, que pode ser ano, mês, dia, e é determinada pela divisão do período de tempo por um número de passos. A matriz de passos múltiplos deriva apenas de uma matriz que possua auto-valores e auto-vetores reais (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

3.2.3.1.2 Cadeias de Markov

Conceito atribuído a Andreivich A. Markov, matemático russo, que no início de século XX desenvolveu o modelo probabilístico em que os resultados sucessivos dos experimentos dependiam dos resultados anteriores, apenas através de seu antecessor. A cadeia de Markov está inserida na “teoria dos processos estocásticos” e é definida como a parte dinâmica da teoria das probabilidades, estudando a interdependência e o comportamento de variáveis aleatórias (GAMERMAN, 1996).

As cadeias de Markov consistem em uma ferramenta de análise probabilística que permite, por exemplo, determinar as classes de uso da terra com maior probabilidade a serem convertidas ou mantidas em seus estados originais, levando em consideração os comportamentos ocorridos no passado, comparando-os com o presente e projetando-os para o futuro (RAMÍREZ, 2002). Em cadeias de Markov as probabilidades de mudança são consideradas constantes no tempo. E como consiste em um processo estocástico, não-determinístico, permite que as transições das classes sejam multi-direcionais (SOARES-FILHO, 1998).

O modelo de CA pode ser expresso, conforme Baker (1989) pela notação matricial expressa na Equação 2:

$$\Pi(t+1) = P^n \cdot \Pi(t) \quad \text{Equação 2}$$

Em que: $\Pi(t)$ é o estado do sistema no tempo t , $\Pi(t+1)$ é o estado do sistema no instante $t+1$ e P^n são as mudanças passíveis de acontecer, que são representados em matrizes de probabilidade de transição decompostas em um passo de tempo. Essas matrizes de transição representam a probabilidade de um determinado estado i permanecer o mesmo ou mudar para o estado j , durante o instante de tempo $t \rightarrow t+1$.

3.2.3.1.3 Pesos de Evidência

Este método baseia-se no teorema da probabilidade *bayesiana*, fundamentada no Teorema de Bayes, metodologia desenvolvida em 1935 por Jeffreys para quantificar a evidência a favor de uma teoria científica (KASS; RAFTERY, 1995). O método determina a probabilidade de um evento ocorrer, considerando fatores que o influenciam, ou seja, combinando evidências. Modelos baseados no método bayesiano foram aplicados nas mais diversas áreas, de diagnósticos médicos ao mapeamento de potencial mineral (BONHAM-CARTER, 1994).

Dois conceitos são centrais na probabilidade bayesiana, a idéia de probabilidade *a priori* (ou probabilidade prévia) e *a posteriori* (probabilidade posterior) (BONHAM-CARTER, 1994). A probabilidade *a priori* é representada pelo termo $p(H)$, e representa um conhecimento sobre certo evento que pode ajudar na sua previsão, na expressão $p(H|E)$ ela é a probabilidade de H sem se ter conhecimento de E . A probabilidade *a posteriori*, é a probabilidade de H conhecida a verdade sobre E , representada pelo termo: $p(E|H)/p(E)$ (MIRANDA, 2005).

Segundo Miranda (2005) no método de Pesos de Evidência o modelo de probabilidade bayesiano é definido como “a razão entre a probabilidade que um evento ocorra sobre a probabilidade que ele não ocorra”. No aplicativo Dinamica EGO (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009), os Pesos de Evidência representam cada influência sobre uma variável na probabilidade espacial de uma transição $i \rightarrow j$ e são calculados da seguinte forma (Equação 3 e 4):

$$O\{D|B\} = \frac{P\{D|B\}}{P\{\bar{D}|B\}}$$

Equação 3

$$\log\{D|B\} = \log\{D\} + W^+$$

Equação 4

Onde W_+ é o Peso de Evidência da ocorrência do evento D , dado um padrão espacial B . A probabilidade *a posteriori* de uma transição $i \rightarrow j$, dado um conjunto de dados espaciais (B, C, D, \dots, N) , é expressa na equação 5:

$$P\{i \Rightarrow j | B \cap C \cap D \dots \cap N\} = \frac{e^{\sum w_N^+}}{1 + e^{\sum w_N^+}}$$

Equação 5

Onde B , C , D , e N são os valores das variáveis espaciais que são medidas na localização x , y e representadas por seus pesos W_{+N} .

Pesos de Evidência são aplicados somente a dados categóricos, sendo necessário categorizar os mapas de variáveis contínuas, como mapas de dados quantitativos, mapas de distância, altitude e declividade. O método adotado no aplicativo Dinamica EGO foi adaptado de Agterberg & Boham-Carter (1990), e calcula as faixas de distância de acordo com a estrutura dos dados, para mais detalhes vide Soares-Filho; Rodrigues; Costa (2009).

3.2.3.2 Execução: Autômatos celulares

O Dinamica EGO tem como base para a modelagem espacial a simulação discreta e Autômatos Celulares (CA), utilizando como parâmetros de entrada mapas temáticos da paisagem, representados por matrizes, e mapas estáticos, que representam variáveis que não sofrem mudança ao longo do tempo de estudo (SOARES-FILHO, 2001).

Os modelos baseados em autômatos celulares foram introduzidos por John Von Neumann e Alan Turing para estudar processos de crescimento e auto-reprodução. Segundo Almeida et al., (2003) modelos espaciais baseados em

Autômatos Celulares têm origem na Geografia Quantitativa, principalmente com o trabalho de Waldo Tobler, na Universidade de Michigan.

Autômatos celulares consistem em uma matriz infinita de células, que possuem estados discretos equivalentes, onde cada célula é conectada às suas adjacências imediatas. As regras de transição são as mesmas para cada célula, e a estrutura celular é funcionalmente homogênea (ROCHA et al., 2001; GREMONINI; VICENTINI, 2008; WHITE; ENGELEN; ULJEE, 2000; SOARES-FILHO et al., 2002; BURROUGH; McDONNELL, 1998). Qualquer sistema com muitos elementos idênticos que interagem local e deterministicamente podem ser modelados usando autômatos celulares (ROCHA et al., 2001).

CA são compostos por quatro elementos básicos: células, estados, vizinhança e regras de transição (BATTY et al., 1997 apud ALMEIDA et al., 2003). As células são objetos adjacentes e podem assumir diferentes formas e dimensões; os estados consistem nos atributos discretos de cada célula; a vizinhança pode ser de diferentes configurações (cruz ou vizinhança de Von Neumann, janela 3x3 ou vizinhança de Moore, etc.) e condicionam a mudança das células de sua influência; as regras de transição são uniformes e aplicadas em todas as células, estados ou vizinhanças (ALMEIDA et al., 2003).

3.2.3.3 Validação: função de decaimento exponencial e função de decaimento constante

A validação sistemática das simulações geradas em trabalhos de modelagem de uso e cobertura da terra é uma etapa fundamental das pesquisas (VELDKAMP; LAMBIN, 2001). O processo de validação de modelos espaciais tem de ser feito através de métodos de comparação baseados em proximidade, uma vez que não coincidindo célula por célula, podem apresentar similaridade de padrões (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

O método utilizado no aplicativo Dinamica EGO consiste em uma adaptação do método de Hagen por Soares-Filho et al., (2005), este método utiliza medidas de similaridade por lógica *fuzzy*, aplicadas em contexto de vizinhança local sobre os mapas reais e os mapas simulados. As funções de decaimento constante e exponencial são aplicadas na comparação entre os dois mapas em duas vias, ou

seja, temos um mapa de similaridade do primeiro mapa que é relacionado ao segundo e o inverso, dentre os valores obtidos, opta-se pelo de menor valor. Os mapas resultantes deste método apresentam apenas as células que não mudaram dentro da comparação, conforme pode ser observado na Equação 6:

$\text{if}(i_1=i_2) \text{ then null else } i_2$ Equação 6

Em que: i_1 e i_2 são respectivamente, mapa 1 e mapa 2.

A Incerteza de Informação Conjunta (U) também se baseia na matriz de tabulação cruzada T ; assim, $U(A,B)$ pode ser usada como uma medida de associação, sendo definida por Bonham-Carter (1994) como apresentado na Equação 7:

$U(A,B) = 2 [H(A) + H(B) - H(A,B) / H(A) + H(B)]$, Equação 7

a qual varia entre 0 e 1, sendo que quando os dois mapas são completamente independentes, então $H(A,B) = H(A) + H(B)$ e $U(A,B)$ é 0, e quando os dois mapas são completamente dependentes, $H(A) = H(B) = H(A,B)$.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo apresentamos os procedimentos metodológicos deste trabalho, que foram agrupados em três momentos distintos, primeiramente, para compor o banco de dados geográfico foi realizada a aquisição e o processamento das imagens de satélite, assim como a integração de dados secundários. A segunda etapa consistiu na conversão e adequação dos dados obtidos, para que a terceira etapa fosse possível, a modelagem dinâmica de uso e cobertura da terra. Para melhor elucidar este percurso apresentaremos, a seguir, um fluxograma que indica os aplicativos utilizados em cada fase, e as respectivas atividades realizadas (Figura 4).

4.1 Criação do banco de dados geográfico

O aplicativo utilizado para criação do banco de dados, processamento digital das imagens e vetorização das informações secundárias foi o SPRING versões 4.1.1, 4.3.3 e 5.1.7. Primeiramente foi criado um banco de dados geográfico, com as coordenadas: Longitude: oeste 53° 48' 34.83000452"; Latitude: sul 29° 43' 55.44999234"; Longitude: oeste 53° 33' 10.39000321"; Latitude: sul 29° 28' 58.75999175". Projeção Cilíndrica e datum de referência WGS-1984.

4.1.1 Aquisição e processamento digital das imagens

Foram utilizadas imagens do sensor *thematic mapper - TM* do satélite Landsat 5 e Landsat 7, adquiridas na página da Divisão de Geração de Imagens – DGI do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/Cachoeira Paulista e no site da *Global Land Cover Facility – GLCF* (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat>) da NASA.

As imagens selecionadas são descritas na tabela 1 e abrangem a bacia hidrográfica do Arroio Grande. Foram adotadas imagens do período referente ao verão de cada ano, buscando as melhores condições para classificação de uso e cobertura do solo.

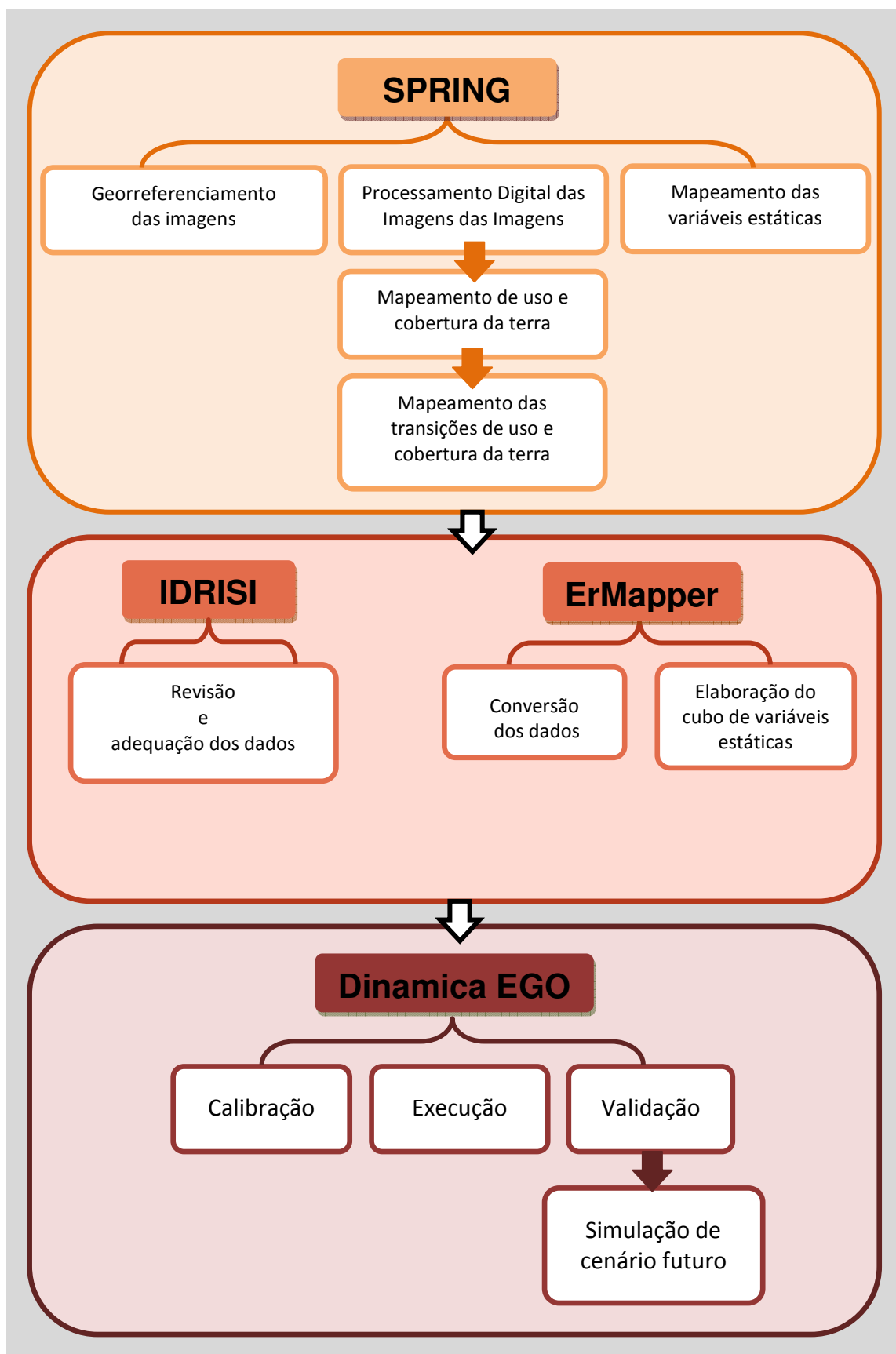


Figura 4. Fluxograma dos procedimentos metodológicos utilizados.

Tabela 1. Imagens de satélite utilizadas no trabalho.

Satélite	Sensor	Órbita/ponto	Data	Fonte
Landsat 5	TM	223/80	25/03/1991	DGI – INPE
Landsat 7	ETM	223/80	15/03/2002	GLCF-NASA
Landsat 5	TM	223/80	16/03/2011	DGI – INPE

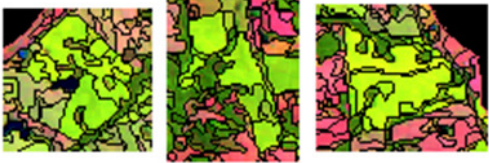
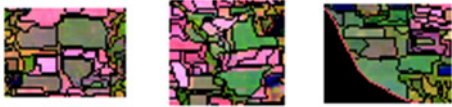




Org.: FURLAN, M.C.

As imagens utilizadas foram georreferenciadas tendo como base as imagens de um banco de dados já existente, vinte pontos de controle foram selecionados e foram adotados erros médios inferiores 0,8 pixels.

Todas as imagens foram segmentadas através do algoritmo “por regiões”, a imagem de 2002 com similaridade 10 e área 20 e as demais datas com similaridade 8 e área 12. A classificação foi realizada de forma supervisionada a partir do algoritmo *Bhattacharya*. Este algoritmo utiliza a distância de *Bhattacharya* para calcular a diferença estatística entre as classes a partir das amostras selecionadas pelo usuário (MOREIRA, 2005).

Foram utilizadas inicialmente seis classes de uso e cobertura da terra: florestas, campos, agricultura, agricultura irrigada, solo exposto e lâmina d’água, que foram posteriormente compiladas em quatro classes, unindo as classes agricultura, agricultura irrigada e solo exposto em uma, denominada uso agrícola, este procedimento foi possível por que as áreas de solo exposto na bacia do Arroio Grande são, predominantemente, áreas destinadas para o uso agrícola. O quadro 2 apresenta as tipologias utilizadas na interpretação das imagens, junto com os respectivos padrões analisados.

Quadro 1. Tipologias de uso e cobertura identificadas na área de estudo.

Tipologia	Amostras*
Agricultura	
Agricultura Irrigada	
Solo Exposto	
Florestas	
Campos	
Lâminas d'água	

*Amostras retiradas da imagem TM Landsat-5 de 2011 em composição RGB543 com aplicação de contraste linear.

4.1.2 Mapas das variáveis estáticas

Os mapas de variáveis estáticas também foram elaborados no aplicativo SPRING, foram selecionadas as seguintes variáveis: declividade, hipsometria, rede de drenagem, estradas principais, e proximidade as sede dos municípios de Itaara e Silveira Martins e do distrito de Arroio Grande.








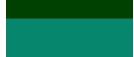

Para elaboração do mapa de declividades e hipsometria foram utilizados dados de radar da *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM* (NASA, 2011). As estradas principais e a rede de drenagem foram obtidas em um banco de dados já existente, a partir do qual foram elaborados mapas de distância, com faixas de distâncias atribuídas de forma arbitrária, contendo *buffers* com faixas de 400 metros para as estradas principais e *buffers* com faixas de 30m para rede de drenagem. As sedes dos municípios e do distrito foram digitalizadas a partir de uma imagem do satélite ALOS, sensor *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer - AVNIR 2*, órbita-ponto 18649, de 25 de julho de 2009, também disponível no banco de dados do LABSERE, e também foram elaborados mapas de distância para cada sede, com *buffers* de três faixas de dois mil metros.

4.1.3 Elaboração dos mapas das transições de uso e cobertura da terra

Foram elaborados mapas das transições de uso e cobertura da terra entre todo o período de análise deste estudo. Eles foram concebidos através de álgebra de mapas e realizados através de uma programação criada em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL (apêndice B), no aplicativo SPRING versão 5.1.7.

As programações foram realizadas de modo a combinar os mapas temáticos de uso e cobertura a cada par de datas, resultando em mapas síntese com nove novas classes, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 2. Classes de transições de uso e cobertura da terra adotadas.

Classes de transição de uso	Referência na programação	Legenda
Manutenção da área de campos	manutencaoCampos	
Transição de florestas para campos	FLORESTA_CAMPOS	
Transição de uso agrícola para campos	AGRICULTURA_CAMPOS	
Manutenção da área de uso agrícola	manutencaoAgricultura	
Transição de florestas para uso agrícola	FLORESTA_AGRICULTURA	
Transição de campos para uso agrícola	CAMPOS_AGRICULTURA	
Manutenção da área florestal	manutencaoFlorestal	
Transição de campos para florestas	CAMPOS_FLORESTAS	
Transição de uso agrícola pra floresta	AGRICULTURA_FLORESTA	

4.2 Utilização do aplicativo IDRISI

Após a confecção dos mapas de variáveis dinâmicas e estáticas no SPRING os dados foram exportados em formato Tiff/Geotiff, compatível com o aplicativo IDRISI 32.

O objetivo desta etapa foi a adequação dos dados para a modelagem. Os mapas das variáveis dinâmicas e estáticas foram importados em formato Tiff/GeoTiff, foi realizada a verificação dos parâmetros de referência (X e Y), admitindo portanto mesmo número de linhas e colunas e sistema de referência, foram utilizados os mesmos parâmetros do banco de dados elaborado no aplicativo SPRING, número de linhas igual a 953 e de colunas 924.

Com a importação dos mapas no IDRISI a legenda dos mapas passou a possuir uma atribuição numérica, que foi utilizada até o fim do processo de modelagem, portanto identificou-se qual a atribuição de cada classe, e realizou-se a edição desta legenda eliminando o valor 0 (Figura 5). Inicialmente também alterou-se a paleta de cores para “*qual 256*”.

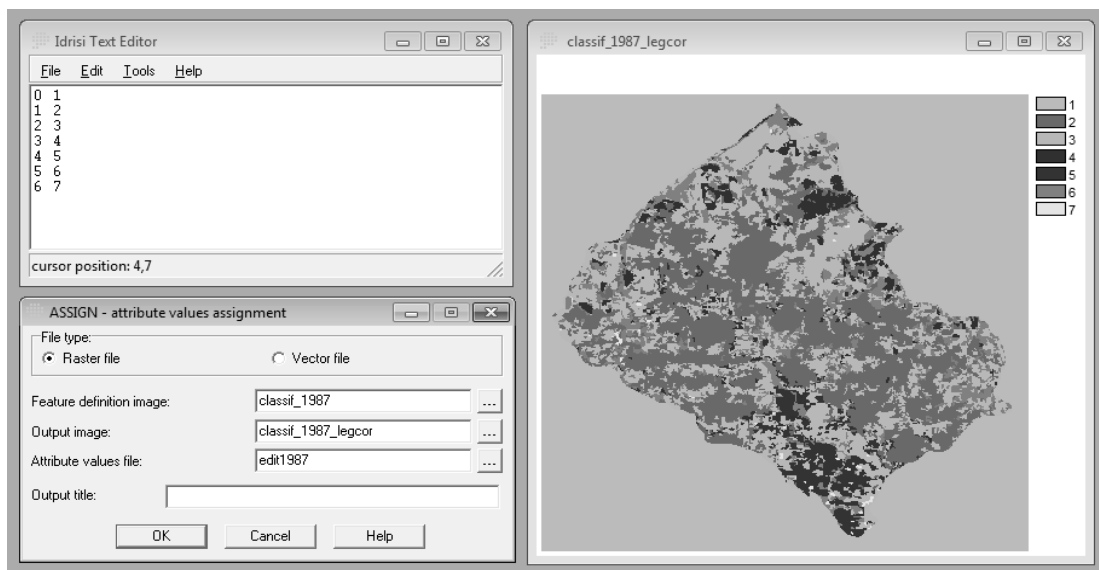


Figura 5. Edição da legenda numérica no aplicativo IDRISI.

Após a edição das legendas foi efetuada a operação “*Crosstab*” entre os *layers* dos mapas de uso e cobertura da terra, este processo consiste na combinação dos mapas dois a dois, para identificar as transições ocorridas e quais delas não serão aceitas no modelo (Figura 6).

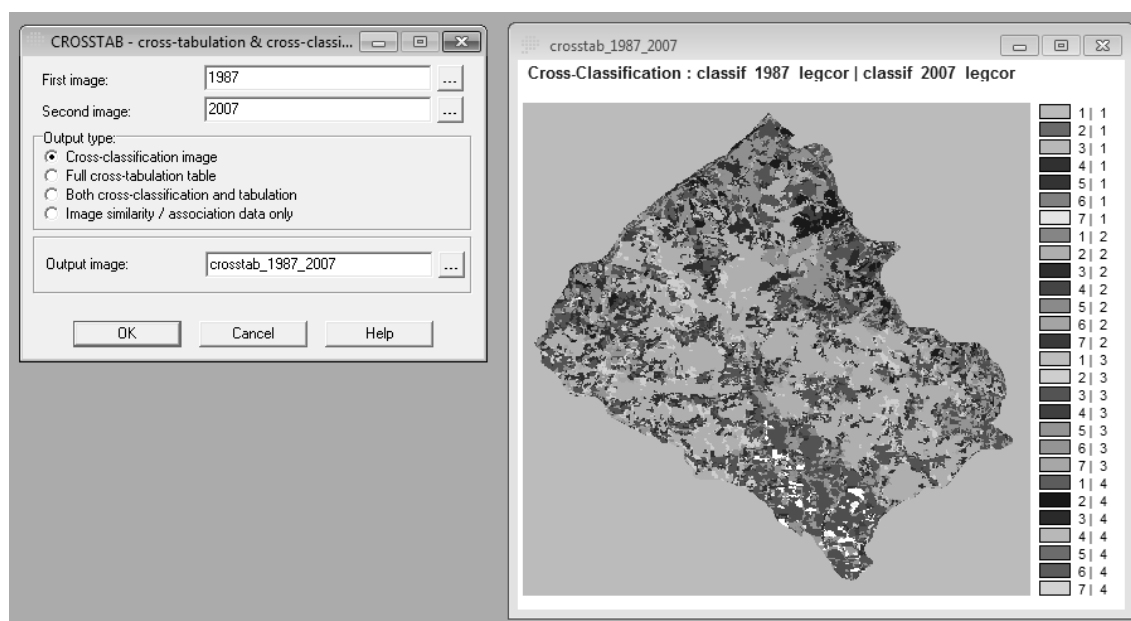


Figura 6. Operação “*Crosstab*” no aplicativo IDRISI.

O mapa gerado nesta etapa também teve sua legenda alterada, através da correção do atributo numérico da classe. Por fim obtiveram-se arquivos em formato

*Idrisi Raster Documentation File (*rdc)* e *Idrisi Raster Format (*rst)* referentes a todos os mapas utilizados.

4.3 Aplicativo ERmapper

Devido a incompatibilidade dos dados gerados no aplicativo IDRISI com o Dinamica EGO foi necessária a conversão dos mapas para o formato **rst.ers*, esta conversão foi realizada através do aplicativo *ERmapper*.

Primeiramente realizou-se a edição do cabeçalho padrão do *ERmapper* para os arquivos que foram utilizados, onde atribuiu-se: nome do arquivo, sistema de coordenadas, projeção, tipo de célula, número de linhas e colunas, dentre outros parâmetros. No aplicativo selecionou-se o diretório, foram importados os *layers* referentes às variáveis dinâmicas, e foram conferidos os histogramas de frequência de níveis de cinza, observando se estavam de acordo com os limites adotados até então, por fim os *layers* foram salvos em formato **rst.ers*.

O próximo passo neste aplicativo consistiu na elaboração de um cubo de dados das variáveis estáticas utilizadas, as quais foram: mapa de distância à rede de drenagem, mapa de distância às estradas principais, mapa de distância à sede de Itaara, Silveira Martins e Arroio Grande, mapa de declividade e mapa hipsométrico. Nesta etapa todos estes *layers* foram agrupados em um arquivo, e realizou-se também a verificação do histograma de frequência de níveis de cinza salvando o arquivo em formato **rst.ers*.

4.4 Modelagem dinâmica de uso e cobertura da terra: utilização do aplicativo Dinamica EGO

O aplicativo Dinamica EGO foi utilizado para calibrar, executar e validar o modelo utilizado para simulação de mudanças de uso e cobertura da bacia do Arroio Grande. A rotina na plataforma deste aplicativo será descrita em três módulos, o primeiro sobre calibração do modelo, dividindo-se em quatro passos, o segundo responsável pela execução do modelo e o terceiro, dividido em dois passos, referente à validação do modelo utilizado. As etapas descritas a seguir foram repetidas para os dois períodos considerados: 1991-2002 e 2002-2011.

4.4.1 Calibração do modelo no aplicativo Dinamica EGO

A etapa de calibração iniciou-se com o cálculo de taxas de transição entre as classes de uso e cobertura da terra, para as quais foram geradas duas matrizes, múltipla e simples, a primeira engloba as transições ocorridas anualmente e a segunda as transições ocorridas em todo o período de tempo da análise. Para definição das matrizes de transição, o Dinamica EGO utiliza o método Markoviano.

A etapa de calibração é também composta pelo cálculo das probabilidades de transição entre as classes dos mapas de variáveis estáticas e dinâmicas, para o qual utilizou-se o método dos Pesos de Evidência. Este método baseia-se no teorema da probabilidade *bayesiana*, fundamentada no Teorema de Bayes que determina a possibilidade de ocorrer um evento, dada a ocorrência prévia de uma evidência (BONHAM-CARTER, 1994), conforme foi apresentado na seção 3.2.3.1.3 Pesos de Evidência.

Para melhor elucidar o desenvolvimento desta etapa no aplicativo Dinamica EGO os procedimentos foram subdivididos em três itens: (a) cálculo das matrizes de transição; (b) cálculo dos intervalos para categorização das variáveis contínuas; (c) cálculo dos coeficientes dos Pesos de Evidência.

- a. Cálculo das matrizes de transição: para esta etapa utilizou-se como dados de entrada um mapa de uso e cobertura da terra inicial e um final e o *functor* responsável pela execução das matrizes chamado “*Determine Transition Matrix*”, como descrito anteriormente o cálculo para determinar as matrizes de transição utiliza o modelo markoviano para gerar duas tabelas, uma de tempos múltiplos e uma de tempo simples.
- b. Cálculo dos intervalos para categorização das variáveis contínuas: nesta etapa é usado o método de Pesos de Evidência para a produção do mapa de probabilidades de transição. Além da inserção dos mapas de uso e cobertura da terra, inicial e final, aqui acrescentamos o mapa de variáveis estáticas (cubo de variáveis estáticas) criado no aplicativo *ERmapper*. Foram utilizados os *functores*: “*Calc Distance Map*” (responsável pelo cálculo do mapa de distâncias) ligado ao mapa de uso e ocupação inicial e “*Determine Weights of Evidence Ranges*” (que determina as faixas dos Pesos de Evidência) em todos os *layers* de entrada (Figura 7). Como dados de saída obtivemos o arquivo “*skeleton.dcf*”. Para

execução desta etapa foi necessário fazer co-registro de todas as variáveis utilizadas dentro do *functor* “*Determine Weights of Evidence Ranges*”.

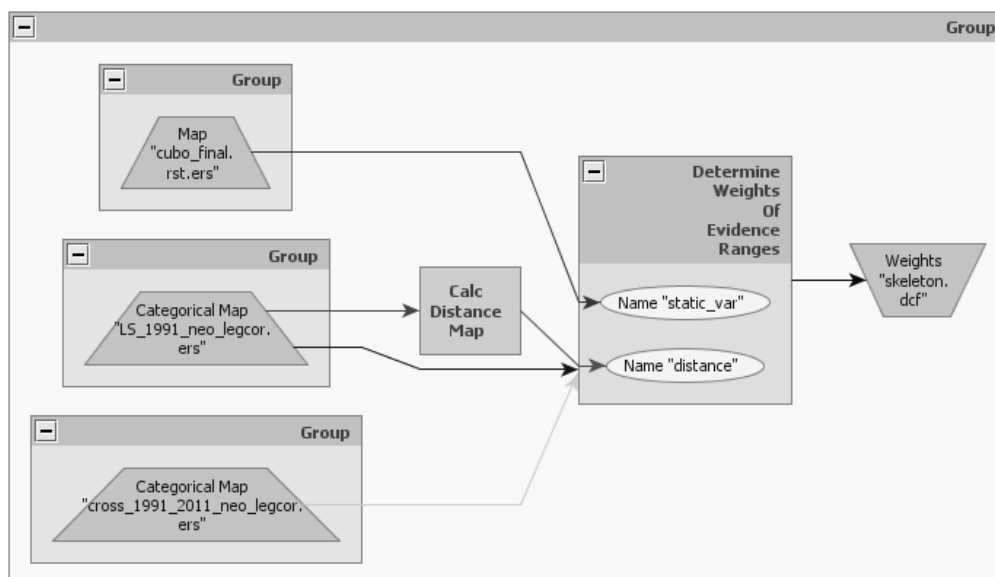


Figura 7. Cálculo dos intervalos para categorização das variáveis contínuas.

- c. Cálculo dos coeficientes dos Pesos de Evidência: os dados de entrada desta etapa foram: o cubo de variáveis estáticas, o arquivo “*skeleton.dcf*” obtido na etapa anterior, o mapa de uso e cobertura inicial e o mapa de uso e cobertura da terra final. Todos são ligados ao *functor* “*Determine Weights of Evidence Coefficients*” (que calcula os coeficientes de Pesos de Evidência), e o mapa de uso e cobertura inicial que passa também pelo *functor* “*Calc Distance Map*”.

O arquivo de saída desta etapa foi denominado “*Weights.dcf*” e contém o resultado do cálculo dos coeficientes do Pesos de Evidência, onde temos os valores dos Índice de Crammer (V) e de Incerteza de Informação Conjunta (U), que auxiliam na decisão de quais variáveis serão mantidas no modelo.

Implementado na plataforma Dinamica EGO, com a finalidade de verificar a dependência espacial entre todas as possíveis combinações de variáveis selecionadas para explicar uma transição (BONHAM-CARTER, 1994; NOVAES et al. 2011), o Índice de Crammer (V) é definido por Bonham-Carter (1994) conforme apresentado na Equação 8:

$$V = \frac{X^2}{T \cdot M}, \quad \text{Equação 8}$$

em que:

T = totais marginais da matriz de tabulação cruzada entre dois mapas A e B;

X² = estatística qui-quadrado;

M = mínimo de (n-1, m-1), em que n é igual ao número de linhas e m é o número de colunas da matriz de tabulação cruzada entre os mapas A e B.

A Incerteza de Informação Conjunta (U), assim como o V se baseia na matriz de tabulação cruzada T; Bonham-Carter (1994) denota a U da seguinte forma (Equação 9):

$$U(A,B) = 2 [H(A) + H(B) - H(A,B) / H(A) + H(B)], \quad \text{Equação 9}$$

O índice U varia entre 0 e 1, sendo que quando os dois mapas são completamente independentes, então $H(A,B) = H(A) + H(B)$ e $U(A,B)$ é 0, e quando os dois mapas são completamente dependentes, $H(A) = H(B) = H(A,B) = 1$, e $U(A,B)$ é 1 (ALMEIDA, 2003). Segundo Bonham-Carter (1994) os valores superiores a 0,5 tanto para V quanto para U sugerem maior associação e devem ser excluídos do modelo.

4.4.2 Módulo 2: Execução do modelo de dinâmica de uso e cobertura da terra no aplicativo Dinamica EGO

O Dinamica EGO utiliza como modelo de simulação espacial o método de Autômatos Celulares (CA), onde as regras de transição são exatamente as mesmas para cada célula, sendo dependente do estado prévio de cada uma e das regras de transição estabelecidas (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

Para a simulação com formação de manchas de expansão os parâmetros de entrada adotados foram: o arquivo de matriz *mult step* (*Multiple Step*); mapa de uso inicial; mapa de variáveis estáticas; e o arquivo de Pesos de Evidência, "*weights*", obtido na etapa anterior. Além dos *functores*:

- *Mux Categorical Map*: responsável por reinserir os mapas produzidos em uma iteração na iteração seguinte;
- *Calc Change Matrix*;
- *Calc Distance*;
- *Modulate Change Matrix*: onde são definidas as taxas percentuais de mudança para as transições consideradas;
- *Expander*: algoritmo onde são definidas as características espaciais das transições das manchas de uso e cobertura previamente existentes, para as quais são adotados valores de área em hectare para média e variância e grau de isometria;
- *Patcher*: algoritmo de transição onde são definidos valores destinados à geração de novas manchas, para os quais são igualmente adotados os valores de área em hectare para média e variância e valor de isometria.

A isometria corresponde ao valor pelo qual se multiplica as probabilidades de células vizinhas à célula central, para induzir a variações na configuração espacial das manchas. Normalmente, são utilizados valores entre zero e dois, sendo que os valores próximos a zero ou zero são responsáveis pela formação de manchas mais dendríticas, e valores próximos a dois, pela formação de manchas mais compactas (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

4.4.3 Módulo 3: Validação do modelo utilizado

O método de validação utilizado pelo Dinamica EGO é denominado “*Calc Reciprocal Similarity*” e consiste no emprego de um método de comparação *fuzzy*, através das funções de decaimento exponencial e de decaimento constante (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009), conforme descrito na seção da Fundamentação Teórica.

Para ambas as funções são utilizados os parâmetros de entrada: mapa de uso inicial, mapa de uso final e o mapa simulado (Figura 8).

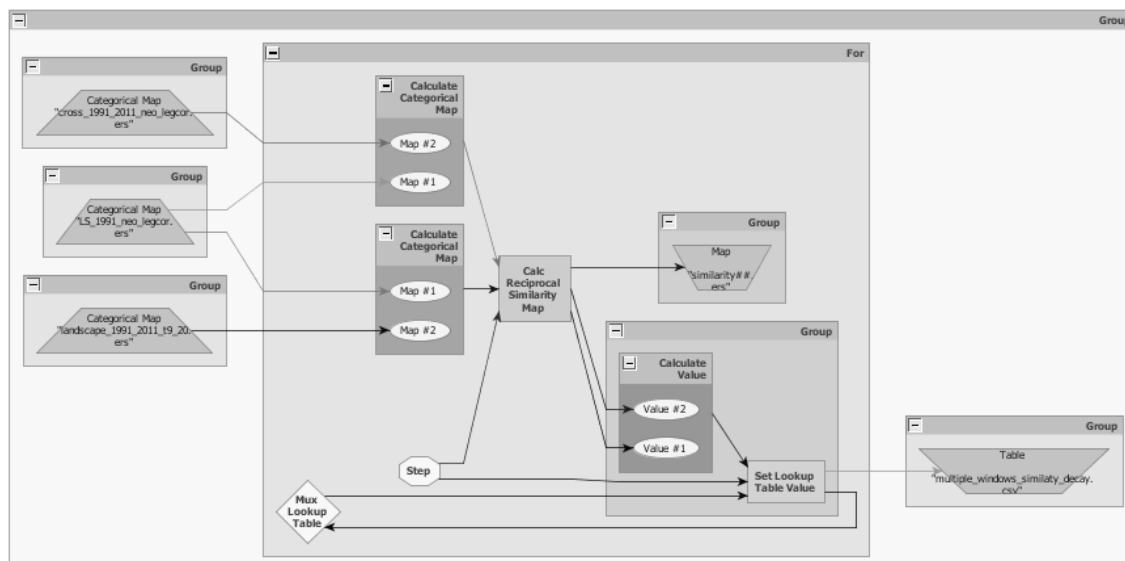


Figura 8. “Calc Reciprocal Similarity”: validação do modelo.

4.4.4 Simulação

A simulação de cenários até o ano de 2020 foi realizada utilizando o modelo descrito no item 4.4.1 Calibração do modelo no aplicativo Dinamica EGOe os parâmetros de “*expander*” e “*patcher*” validados na simulação do ano de 2011. Como mapa de entrada no modelo foi utilizado o mapa de uso e cobertura do ano de 2011, o processo resultou em nove mapas anuais referentes ao período de 2012 a 2020.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo divide-se em quatro seções para apresentar os resultados obtidos ao longo desta dissertação. As seções 5.1 e 5.2 apresentam os frutos da primeira etapa, o “Mapeamento de uso e cobertura da terra”, mostrando os mapas decorrentes da classificação digital das imagens de satélite selecionadas, e apresentando uma análise da evolução do uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande. A seção 5.3 mostra os resultados obtidos pela análise das transições das classes de uso e cobertura da terra por meio de gráficos e mapas temáticos. A última seção subdividiu-se em três etapas para descrever a simulação de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande.

5.1 Mapeamento de uso e cobertura da terra

O mapeamento de uso e cobertura da terra da área da bacia do Arroio Grande foi satisfatoriamente realizado através do processamento digital de imagens dos satélites Landsat 5 e 7, respectivamente dos sensores *TM* e *ETM+*, no *software* SPRING. Como descrito na metodologia, foram utilizadas inicialmente seis classes de uso e cobertura (agricultura, agricultura irrigada, solo exposto, campos, florestas e lâmina d’água), compiladas posteriormente em quatro classes: uso agrícola, campos, florestas e lâmina d’água.

Os mapas gerados a partir da classificação supervisionada das imagens de satélite são apresentados nas figuras 10, 11 e 12. Na Tabela 2 e no gráfico da Figura 9 podemos observar as áreas de cada classe temática contida nos mapas. Verificou-se que no período de estudo ocorreu um aumento das áreas florestais, entre 1991 e 2002 na ordem de 4,49%, e de 2002 a 2011 de 4,98%; queda nas áreas de campos, respectivamente de 18,08% e 17,30%, e aumento do uso agrícola, com 37,21% no período de 1991 a 2002, e de 17,87% no intervalo seguinte.

Tabela 2. Áreas das classes temáticas de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande em 1991, 2002 e 2011.

Classes temáticas	1991 (ha)	2002 (ha)	2011 (ha)
Floresta	15.078,15	15.735,62	16.517,07
Campos	14.812,65	12.103,62	9.959,85
Uso agrícola	5.376,78	7.339,31	8.652,15
Lâmina d'água	88,91	177,93	227,42
TOTAL	35.356,49	35.356,49	35.356,49

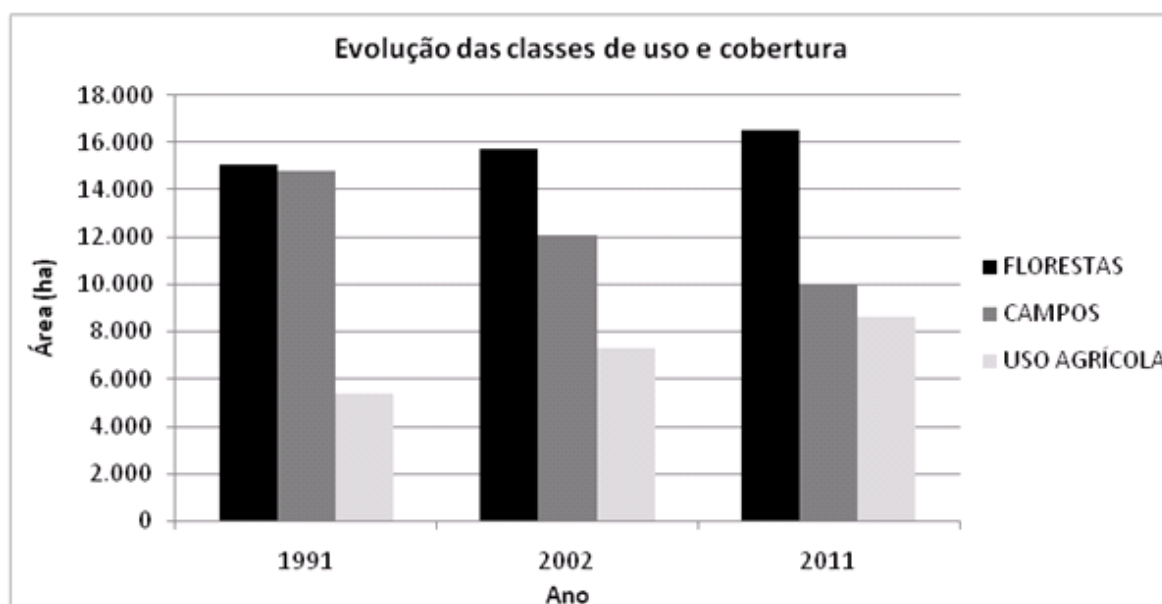


Figura 9. Áreas das classes temáticas de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande em 1991, 2002 e 2011.

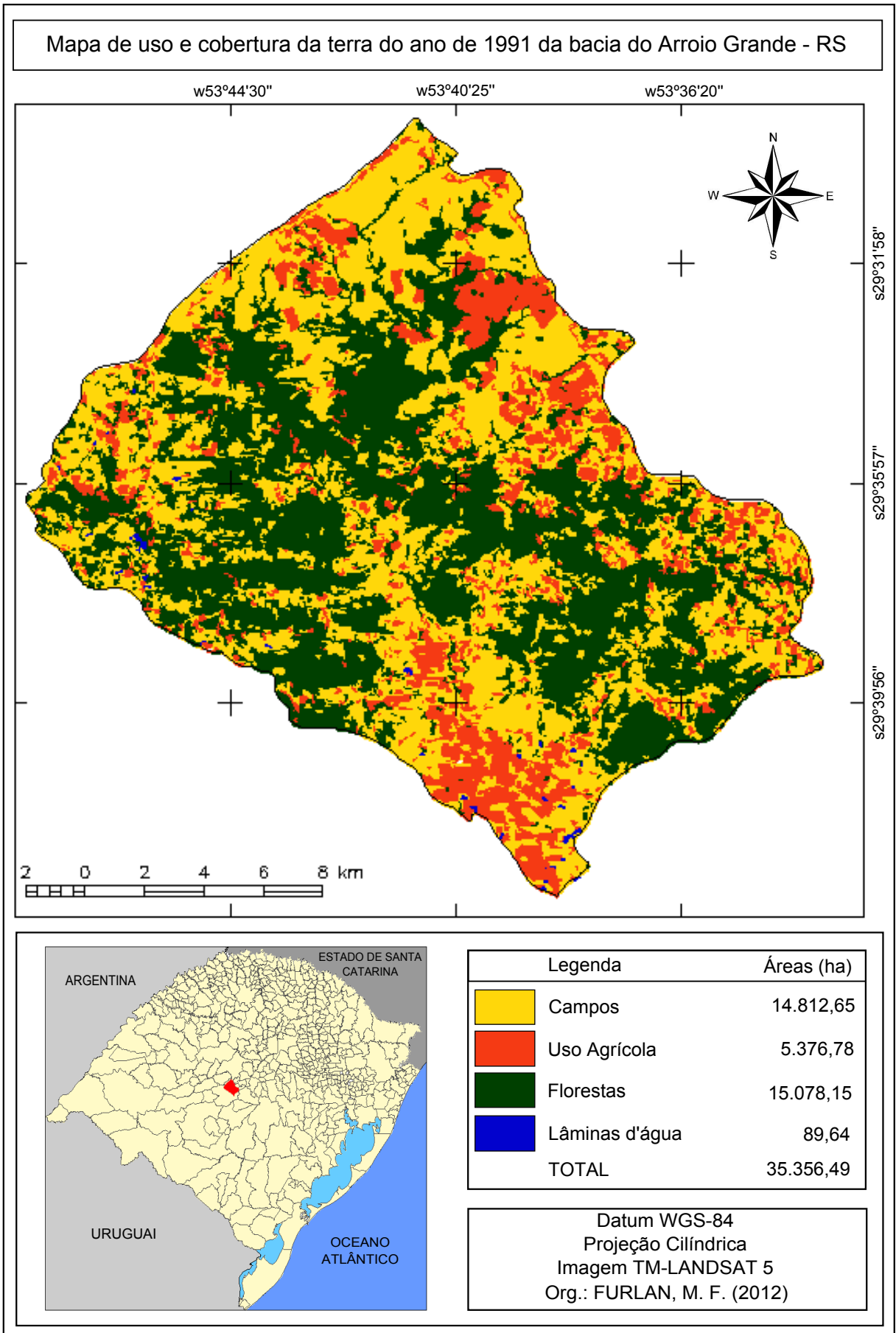


Figura 10. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1991 da bacia do Arroio Grande - RS.

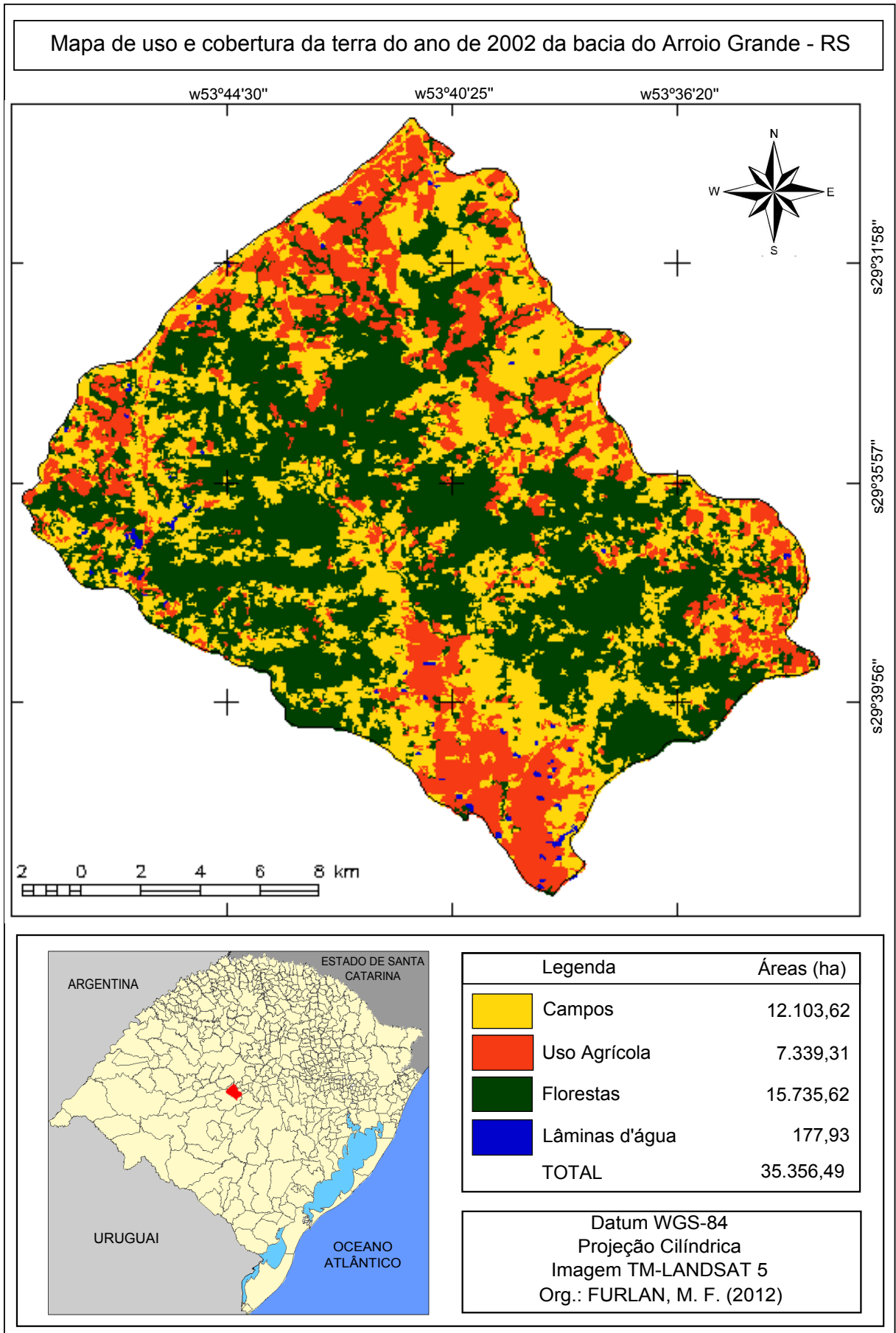


Figura 11. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2002 da bacia do Arroio Grande - RS.

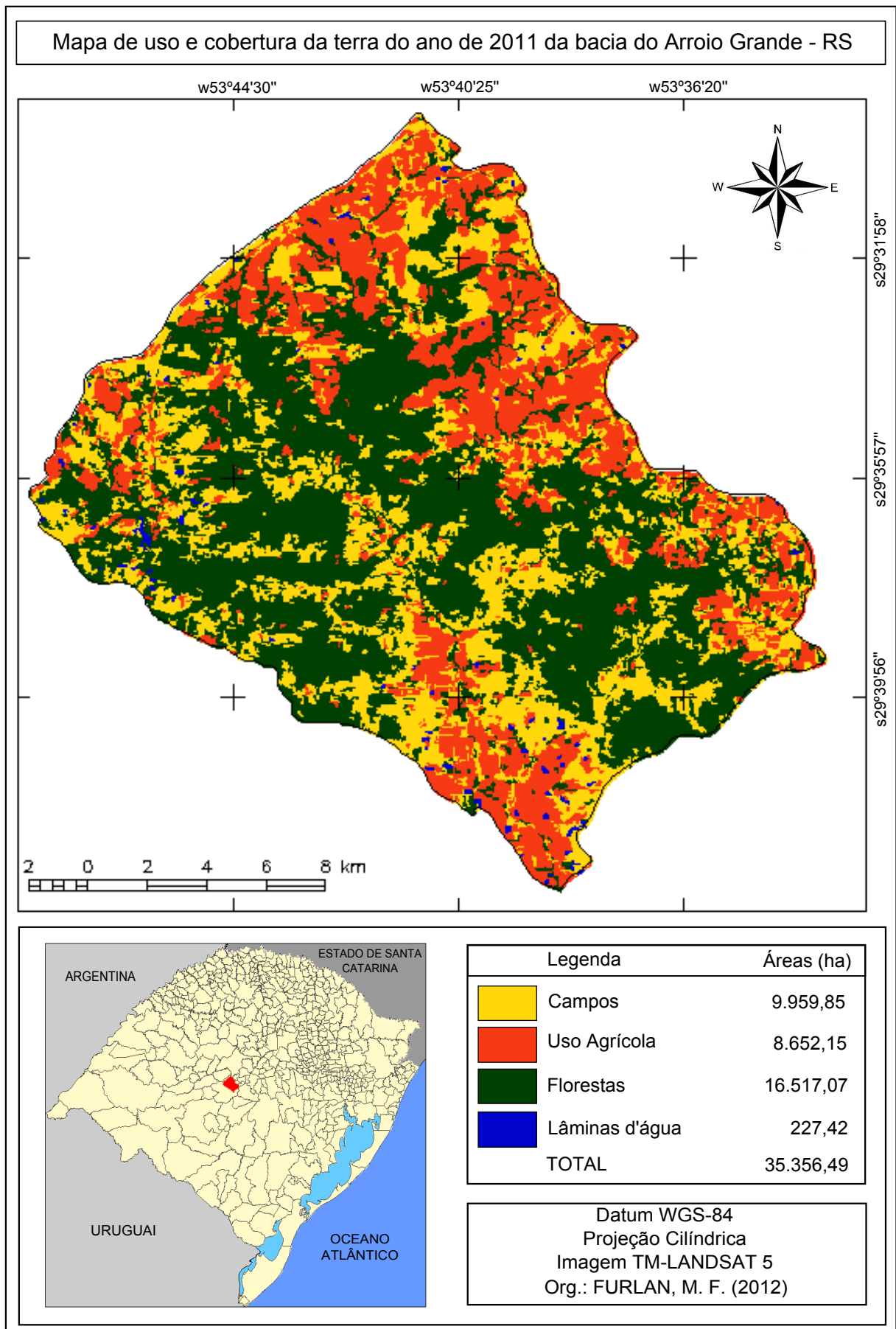


Figura 12. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2011 da bacia do Arroio Grande - RS.

5.2 Evolução do uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande

Outros estudos já se ocuparam da análise do uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande com diferentes objetivos, como Ruhoff (2004), que investigou a dinâmica de uso e cobertura da terra através da classificação do índice de vegetação *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) a fim de determinar índices de perda de solo, e que observou um aumento geral da cobertura florestal, entre os anos de 1987 e 2002, na ordem de 5,05%. Ruhoff (2004, 2005), também verificou alteração na atividade agrícola, onde as lavouras agrícolas mantiveram-se nas planícies aluviais, houve decréscimo nas áreas do Rebordo do Planalto e aumento no topo do Planalto Meridional, tendo observado igualmente a redução nas áreas de campos e pastagens. O autor argumenta que os avanços tecnológicos no setor agrícola ocasionaram o deslocamento das lavouras para áreas mais planas e com maior potencial para a agricultura.

Da mesma forma Kleinpaul (2005), encontrou resultados semelhantes estudando a evolução florestal na bacia do Arroio Grande nos períodos de 1987, 1995, 2002 e 2005, o autor observou que o aumento das áreas florestais situa-se principalmente nas encostas do Planalto Meridional, havendo perda nas áreas de mata ciliar, fato considerado por ele consequência do cultivo de arroz irrigado na região. Torres (2011) também verificou esse aumento sistemático das áreas florestais em seu estudo, onde utilizou uma série temporal com cinco classificações digitais de imagens Landsat, 1987, 1998, 2002, 2005 e 2007, e uma de imagem do satélite ALOS de 2010.

Em trabalho realizado por Ferrari (2008) foram utilizadas imagens Landsat para modelagem de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia-RS, para previsão de um cenário para o ano de 2018, a autora obteve resultados satisfatórios. A área utilizada em seu estudo abrange parte da área da bacia do Arroio Grande, uma vez que o município de Silveira Martins, localizado na porção leste da microbacia, pertence à Quarta Colônia. Ela encontrou em seu estudo decréscimo nas áreas de campos no período de 1988 a 2008 e aumento das áreas florestais e agrícolas. Na simulação de um cenário para o ano de 2018, as áreas florestais não apresentaram grande alteração, mas as áreas de uso agrícola apresentaram significativa expansão sobre as áreas de campos.

Ruhoff (2004, 2005) aponta dois fatores dinâmicos que intervieram nas mudanças de uso e cobertura da bacia do Arroio Grande no período de 1987 a 2002, estes seriam: o crescimento urbano e aumento populacional; e a expansão das áreas dedicadas à agropecuária. Ainda segundo Ruhoff (2004):

“A organização do espaço geográfico regional, incluindo-se aí a Bacia do Arroio Grande, obedece aos atores centrados nas figuras dos municípios de Santa Maria e Júlio de Castilhos/Crus Alta, e aos motivos por estes estabelecidos. O município de Santa Maria exerce influência principalmente na ocupação das áreas de várzea do Arroio Grande, pois estas são ocupadas principalmente com cultivos de arroz irrigado, e estando sujeito às corporações e cooperativas orizícolas que atuam na região. Já os municípios Júlio de Castilhos e Cruz Alta atuam, principalmente, na ocupação dos campos do Planalto Meridional, que estão inseridos no Complexo Agroindustrial da Soja, atuando principalmente em sistemas de corporações.”

Podemos considerar que o aumento das áreas destinadas para uso agrícola reflete uma tendência não só regional, mas também global. O aumento mundial do cultivo de cereais como a soja e o arroz, reflete-se na bacia do Arroio Grande nas áreas mais apropriadas a atividade agrícola, como os campos do Planalto Meridional e a Planície de inundação que foram progressivamente ocupadas a partir da década de 1970.

Dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB indicam o aumento destes produtos no Brasil e no Rio Grande do Sul, como pode ser observado no Anexo II. A safra de 1990/91 no Rio Grande do Sul teve uma área plantada de 3.269.4 ha, representando 33,6% da área plantada no país, mas a produção de 2.354.0 toneladas, corresponde a apenas 15,3% da produção de soja nacional.

Na safra de 2001/02 o aumento da área dedicada a este cultivo foi mais significativo no Brasil (principalmente no Centro-oeste) do que no RS, que passa a representar apenas 20,2% da área plantada. E, apesar da produção do estado ter crescido 139,4% neste período, ela corresponde a 13,3% do mercado nacional. A safra 2010/11 no RS teve aumento de 106,2% na produção em relação à 2001/02, voltando a representar mais de 15% da produção nacional, com uma área de 4.084.8 ha - aumento de 23,6% em relação ao período anterior, mas que corresponde agora a 16,9% da área dedicada ao plantio de soja no país.

A produção orizícola no estado nas últimas duas décadas aumentou em 118%, com um aumento na área de cultivo de 41,2%. Como pode ser observada nos gráficos em anexo, a representatividade da produção de arroz no estado, em relação ao Brasil, é muito expressiva. Na safra de 1990/91 já representava 40,1% do arroz produzido no país e pela estimativa da safra de 2010/11 passou para 65,4%.

No anexo I temos uma tabela com as áreas plantadas em hectare e a produção em toneladas das lavouras temporárias dos municípios que constituem a bacia do Arroio Grande: Silveira Martins, Itaara, Santa Maria e Júlio de Castilhos, os dados são do IBGE – Produção Agrícola Municipal.

Na Figura 13 temos o gráfico da evolução das áreas plantadas com os principais produtos cultivados em Silveira Martins. Conhecido pela produção de batatas o município teve de 1991 a 2002 uma queda de 73,3% nas áreas destinadas ao cultivo e 56,6% na produção. De 2002 a 2011 a área plantada permaneceu a mesma, porém a produção aumentou 26,9%. As lavouras dedicadas a produção de soja tiveram um aumento de 400%, de 1991 a 2002, e 91,66% de 2002 a 2010, com um acréscimo na produção de mais de 1200% no primeiro período e mais de 150% no segundo.

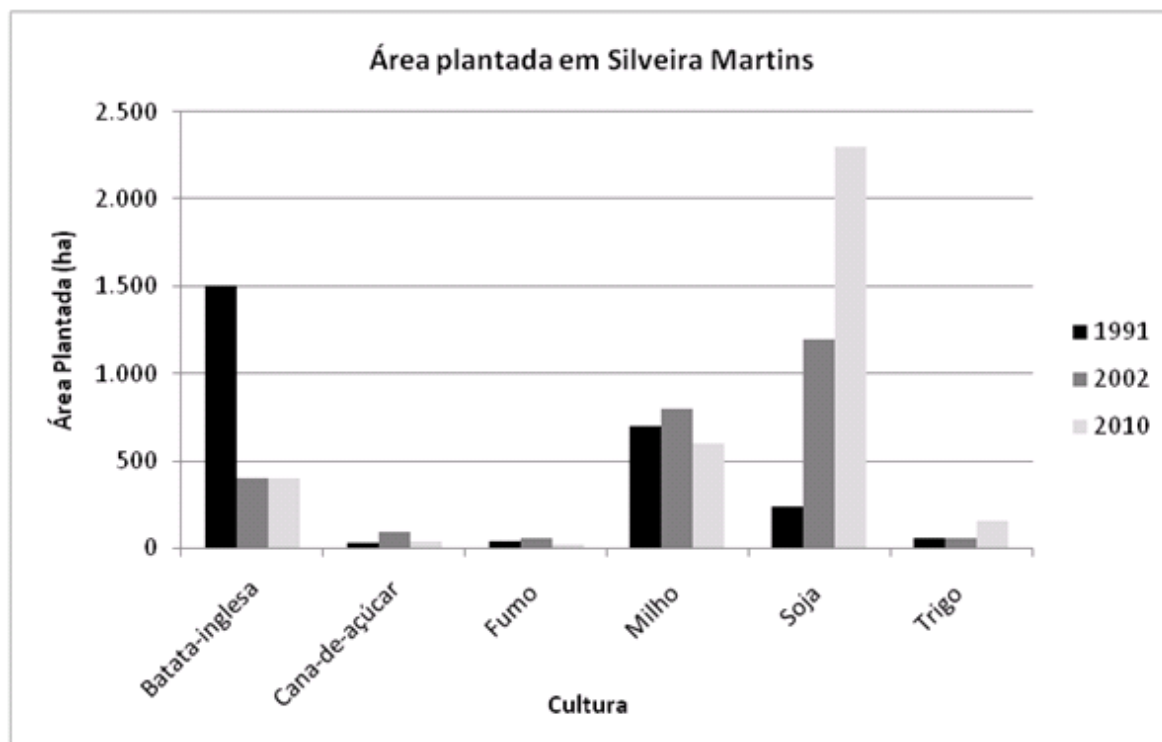


Figura 13. Gráfico da evolução da área plantada de soja 1991-2002-2010, no município de Silveira Martins. Org.: FURLAN, M.F. Fonte: Censo Municipal – IBGE.

No município de Santa Maria alguns dos principais cultivos são: soja, arroz, milho e mandioca, a Figura 14 apresenta a evolução da área cultivada dos mesmos. A produção orizícola em Santa Maria no período de 1991 a 2002 teve um aumento de 32,9% na área plantada e 48,6% na quantidade produzida. No período seguinte houve uma pequena redução na área (1,73%) e na produção de arroz (-4,38%). Porém a área destinada ao cultivo de soja aumentou drasticamente no mesmo período.

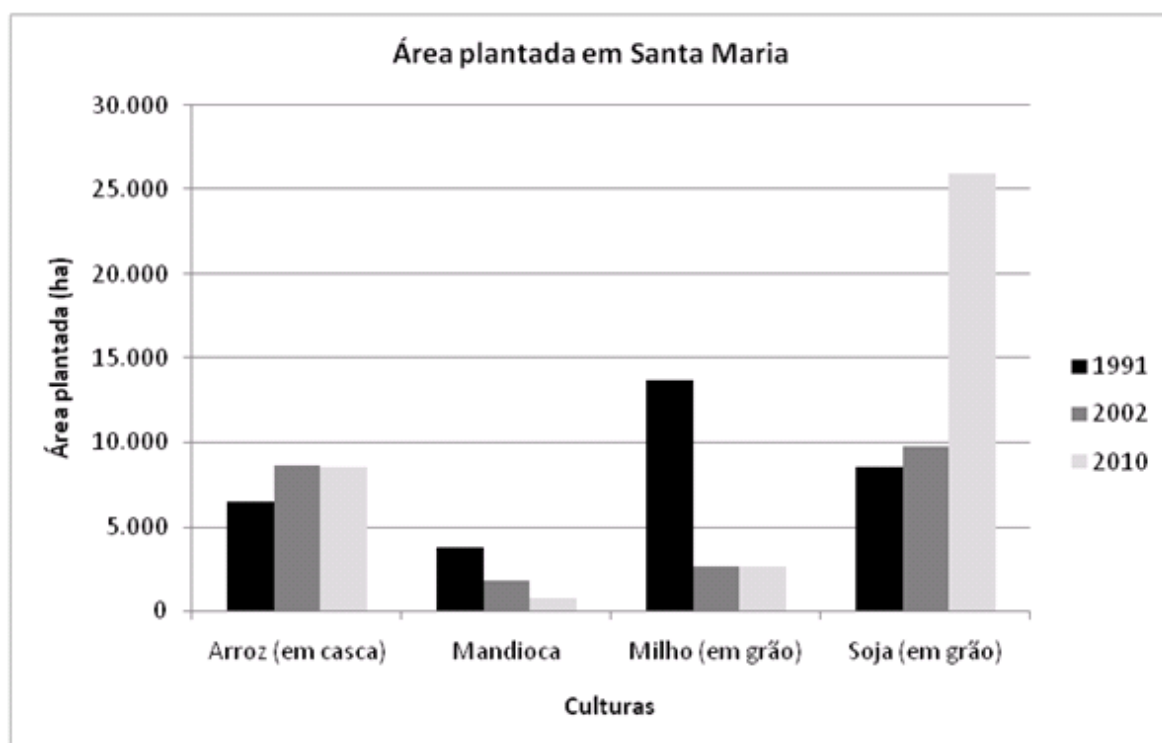


Figura 14. Gráfico da evolução da área plantada de soja 1991-2002-2010, no município de Santa Maria. Org.: FURLAN, M.F. Fonte: Censo Municipal – IBGE.

Soja, trigo e milho são os principais cultivos do município de Júlio de Castilhos, o aumento na área plantada de soja de 1991 a 2002 foi de 179% e de 2002 a 2010 houve aumento de 90%. A produção de milho também se destaca no município, apesar da redução na área plantada, houve um aumento de 160% na produção (toneladas colhidas) no primeiro período e redução de 7,7% de 2002 a 2010 (Figura 15).

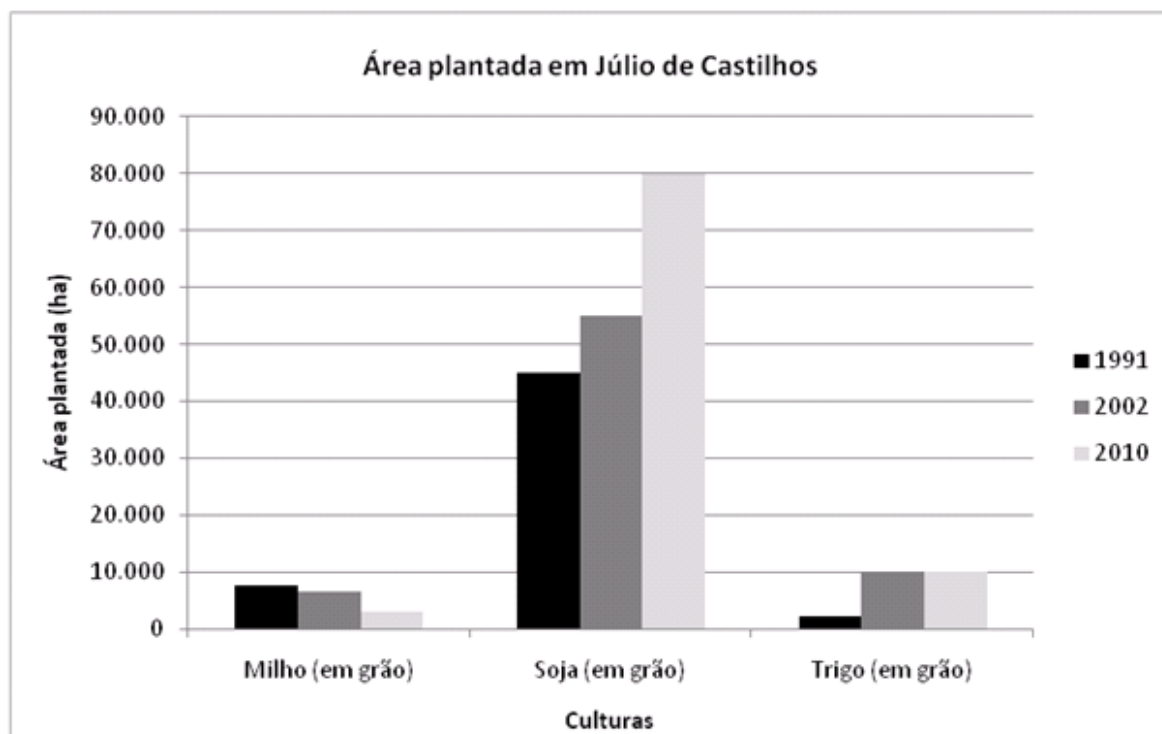


Figura 15. Gráfico da evolução das áreas plantadas em hectare para os cultivos de milho, soja e trigo em Júlio de Castilhos. Org.: FURLAN, M.F. Fonte: Censo Municipal – IBGE.

A produção agrícola de Itaara é pouco significativa, como já vimos anteriormente, o município tem forte vocação turística, no entanto a podemos observar aumento nas áreas plantadas, principalmente, na produção de trigo, soja e batata inglesa (Figura 16). Devido a sua emancipação ter ocorrido apenas em 1997 os dados da produção são do período de 2002 a 2010. Neste período a produção de trigo teve aumento de 425%, com acréscimo de 124% na área plantada. As plantações de soja expandiram suas áreas em 50%, aumentando a produção em 65,9%. A área dedicada à produção de batata inglesa teve um pequeno acréscimo de 5,2%, mas a produção aumentou 34, %.

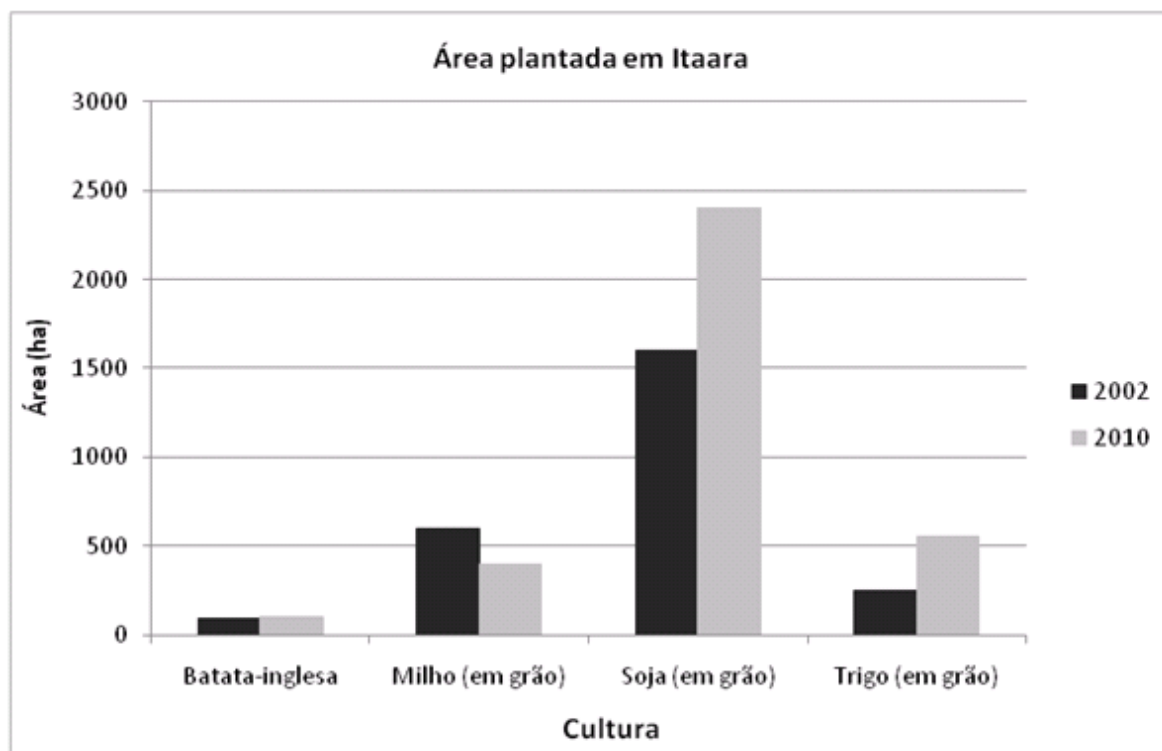


Figura 16. Gráfico da evolução das áreas plantadas em hectare para os cultivos de milho, soja e trigo em Itaara.Org.: FURLAN, M.F. Fonte: Censo Municipal – IBGE.

5.3 Transições das classes de uso e cobertura da terra

Na seção 5.2 verificamos a evolução de uso e cobertura da terra da terra da bacia do Arroio Grande para os anos de 1991, 2002 e 2011. Neste período podemos perceber que intervalos marcados pelo aumento das áreas de uso agrícola também apresentavam queda nas áreas de campos e por vezes floresta. Esta análise nos indica apenas o avanço de uma classe sobre outra, deixando passar as transições que ocorrem entre as classes. Primeiramente nesta seção iremos apresentar a evolução destas transições por meio de gráficos e mapas.

As transições de uso e cobertura foram quantificadas e expressas em gráfico na Figura 17 e os mapas destas transições são apresentados logo a seguir. O gráfico evidencia o que podíamos inferir na seção anterior, quais transições ocorrem nos dois períodos analisados. Sobre a diminuição das áreas de campos identificada anteriormente podemos constatar que a transição para uso agrícola, foi consideravelmente maior no período de 2002 a 2011, do que no anterior de 1991 a

2002, assim como a transição de campos para floresta também aumentou, mas em menor escala.

As figuras 18 e 19 apresentam os mapas das transições de uso e cobertura que ocorreram entre os anos de 1991-2002 e 2002-2011, verifica-se que a transição da classe campos para uso agrícola ocorre principalmente na porção norte e nordeste na microbacia, seguida da porção sul, estes setores correspondem as áreas mais planas, respectivamente, regiões fisiográficas planalto meridional sul-rio-grandense e depressão central.

Assim como o verificado no gráfico da Figura 17, no período de 2002 a 2011 ocorre o aumento da transição da classe campos para uso agrícola mais expressivo do que no período anterior, podemos afirmar também a consolidação das áreas de uso agrícola estabelecidas anteriormente.

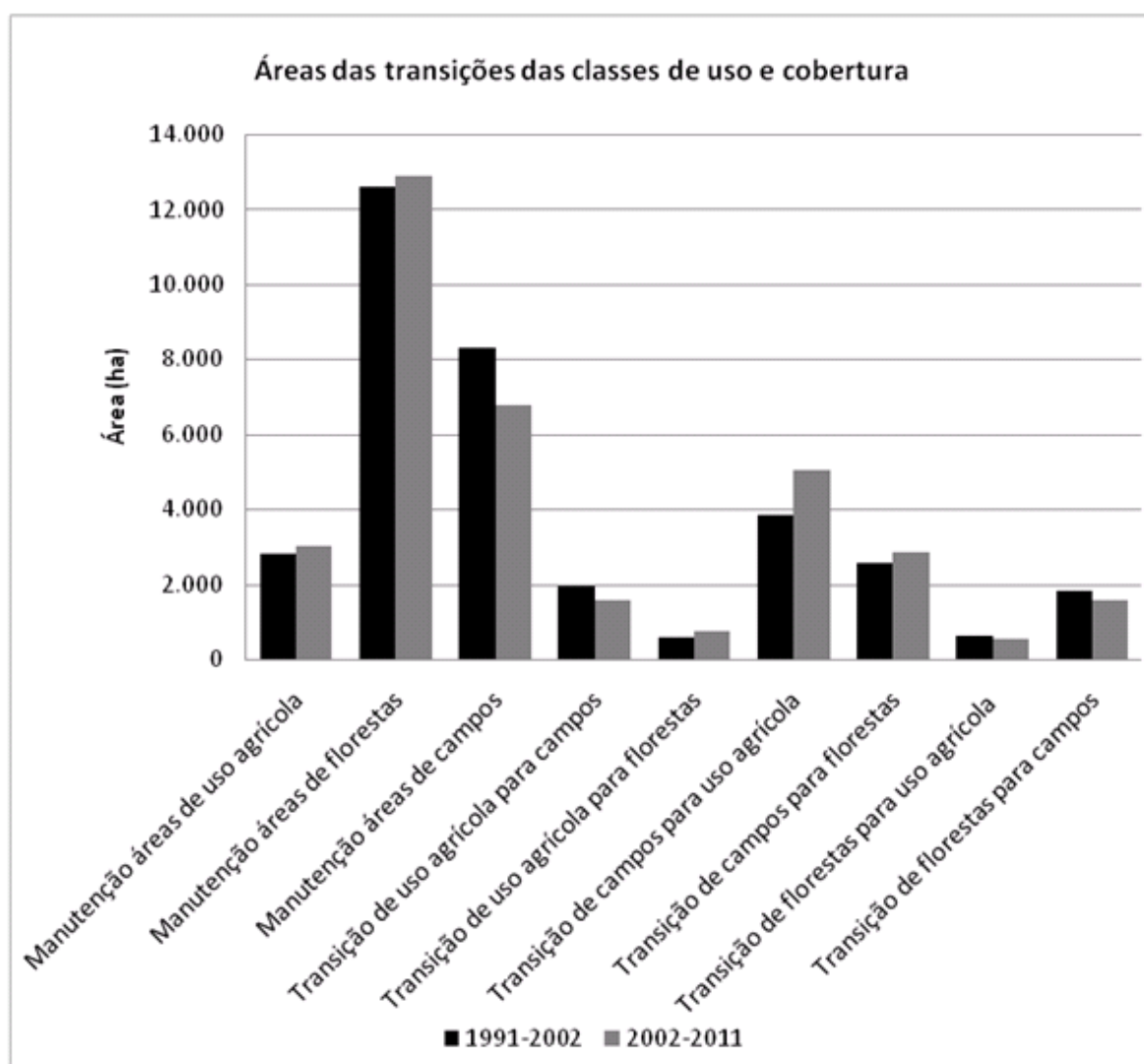


Figura 17. Gráfico das transições de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande.

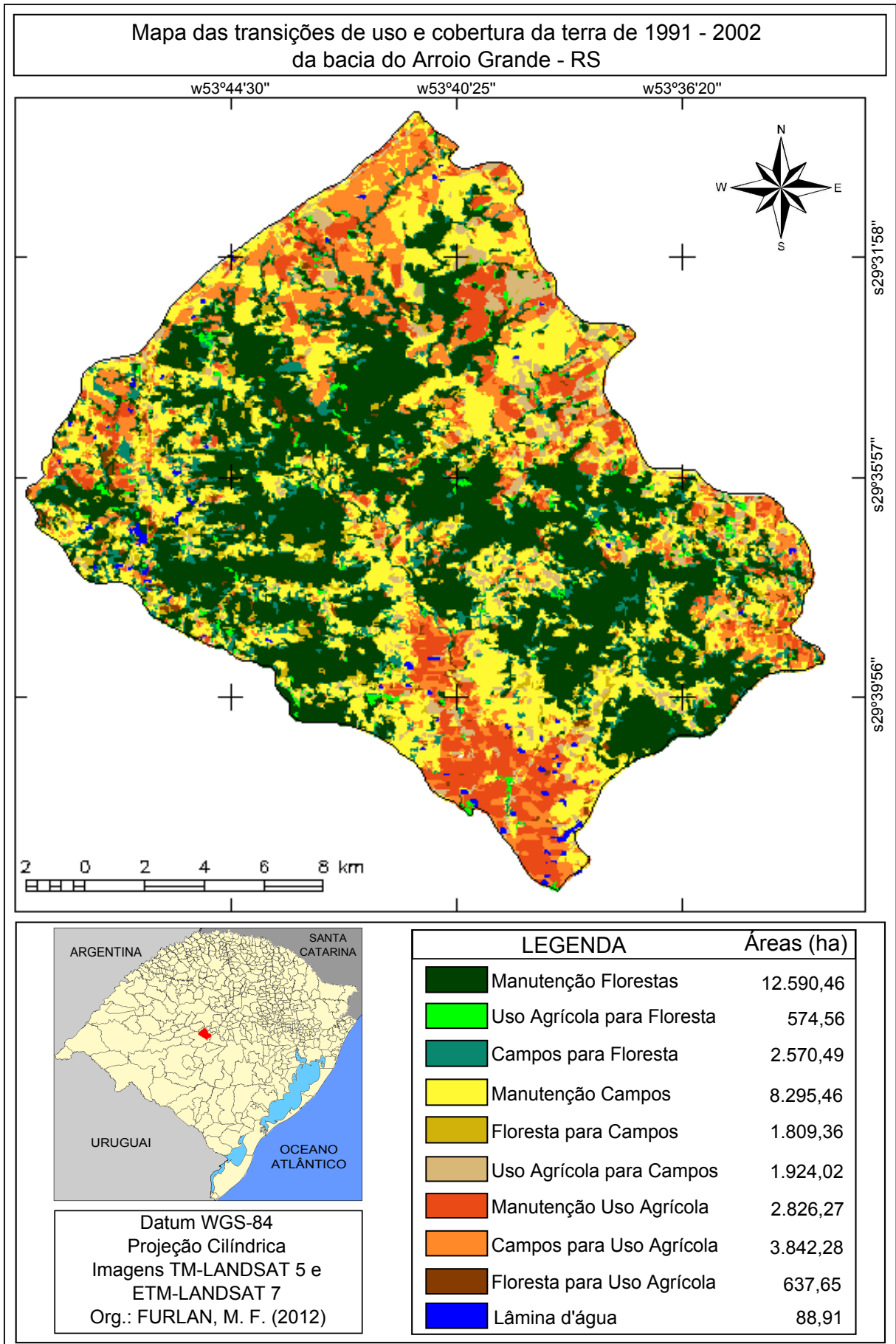


Figura 18. Mapa das transições de uso e cobertura da terra de 1991-2002 da bacia do Arroio Grande - RS.

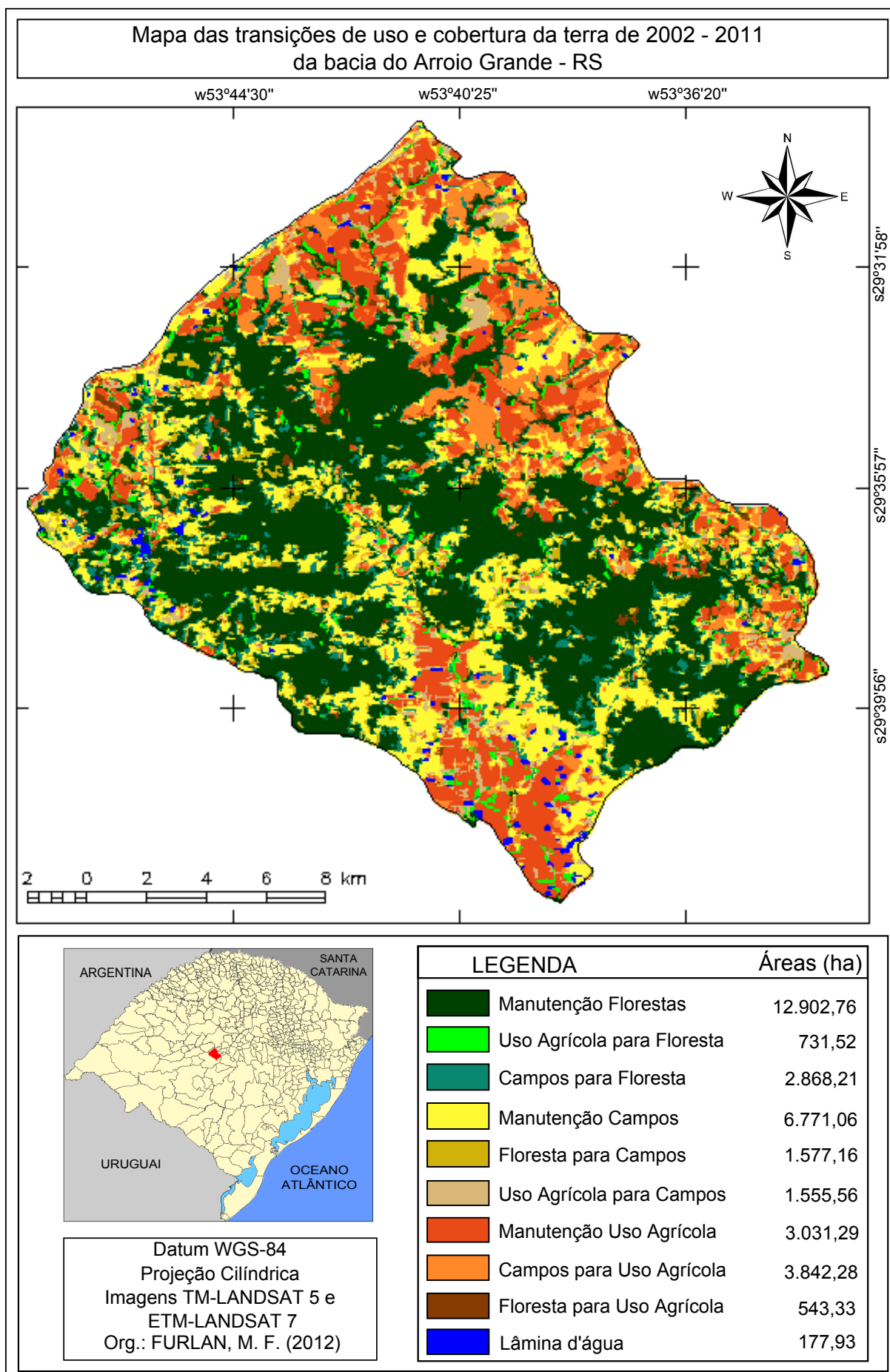


Figura 19. Mapa das transições de uso e cobertura da terra de 2002-2011 da bacia do Arroio Grande -RS.

5.4 Modelagem Dinâmica

O modelo dinâmico, parametrizado pelo método bayesiano de pesos de evidência e baseado em autômatos celulares mostrou-se adequado ao estudo da evolução do uso e cobertura da bacia do Arroio Grande, assim como foi observado em outros trabalhos como Almeida (2004a, 2004b), Teixeira (2005), Ferrari (2008), Benedetti (2010), Novaes et al. (2011).

Como mencionado anteriormente esta seção subdivide-se em três etapas: calibração, execução e validação. Cada etapa apresenta os resultados obtidos nos dois períodos analisados, 1991-2002 e 2002-2011.

5.4.1 Calibração

A etapa de calibração iniciou-se com o cálculo de taxas de transição entre as classes de uso e cobertura (tabelas 3 e 4) para as quais foram geradas duas matrizes, múltipla e simples, a primeira engloba as transições ocorridas anualmente e a segunda as transições ocorridas em todo o período de tempo de análise.

A etapa de calibração é também composta pelo cálculo das probabilidades de transição entre as classes dos mapas de variáveis estáticas e dinâmicas, para o qual utilizou-se o método dos Pesos de Evidência. Este método baseia-se no teorema da probabilidade bayesiana, fundamentada no Teorema de Bayes que determina a possibilidade de ocorrer um evento, dada a ocorrência prévia de uma evidência (BONHAM-CARTER, 1994).

Tabela 3. Matrizes de transição de passo simples (*Single Step*) e de passos múltiplos (*Multi Step*) para a série temporal 1991 – 2002.

Transição		1991-2002	
De	Para	<i>Single step</i>	<i>Multi step</i>
Florestas	Campos	0,107	0,013
Florestas	Uso Agrícola	0,037	0,002
Campos	Florestas	0,157	0,018
Campos	Uso Agrícola	0,261	0,043
Uso Agrícola	Florestas	0,096	0,007
Uso Agrícola	Campos	0,355	0,059

Tabela 4. Matrizes de transição de passo simples (*Single Step*) e de passos múltiplos (*Multi Step*) para a série temporal 2002-2011.

Transição		2002-2011	
De	Para	<i>Single step</i>	<i>Multi step</i>
Florestas	Campos	0,097	0,014
Florestas	Uso Agrícola	0,033	0,002
Campos	Florestas	0,175	0,025
Campos	Uso Agrícola	0,257	0,045
Uso Agrícola	Florestas	0,097	0,010
Uso Agrícola	Campos	0,218	0,037

O segundo passo consistiu no cálculo das faixas para classificar variáveis expressas em escalas contínuas de cinza, utilizadas na definição dos pesos de evidência. É estabelecida uma relação espacial entre a transição e as variáveis utilizadas no modelo, as quais compreendem as próprias classes (variáveis dinâmicas), uma vez que mudam no tempo e no espaço, e as variáveis estáticas (categóricas e contínuas) (BENEDETTI, 2010).

O terceiro passo refere-se à aplicação do método dos pesos de evidência onde são calculados os Pesos Positivos de Evidência (W_+) atribuídos a cada “faixa de distância”. O valor calculado para o peso de evidência em cada faixa de distância

em relação às variáveis permite inferir a contribuição destas na ocorrência de uma determinada transição. Pesos positivos de evidência indicam maior atração na ocorrência de dada transição e pesos negativos, repulsão. Valores de pesos próximos a zero podem ser desconsiderados, pois não constituem variáveis explicativas para o modelo (SOARES-FILHO et al., 2009; BENEDETTI, 2010).

5.4.1.1 Análise dos coeficientes dos Pesos de Evidência

A análise dos coeficientes dos pesos de evidência deve ser feita de forma individual para cada transição, pois assim sua influência pode ser visualizada com relação à distância para cada variável (BENEDETTI, 2010). No Apêndice B temos anexado os gráficos dos Pesos de Evidência de cada variável utilizada em todas as transições consideradas neste trabalho para os dois períodos analisados (1991-2002 e 2002-2011).

A observância de valores positivos de pesos de evidência caracteriza a atração na ocorrência da transição, como pode ser observado na transição floresta para campos nos dois períodos a variável “distância para campo”, que apresentou peso positivo na primeira faixa de distância, e nas demais faixas os valores primeiro se aproximam de zero e na sequência assumem valores negativos, assim podemos inferir que áreas de floresta muito próximas a áreas de campos tendem a se converter em campos.

Na variável “distância para uso agrícola” verifica-se pesos positivos nas primeiras faixas de distância, indicando que a proximidade a áreas de uso agrícola favorece a transição de florestas para campos, enquanto áreas mais afastadas repelem esta transição. A variável distância para Arroio Grande apresenta valores significativos nos dois períodos apenas na segunda faixa, tendo peso positivo (exercendo atração na transição florestas para campos).

A proximidade com as áreas de campos favorecem a transição Florestas para Uso Agrícola, pois a primeira faixa da variável “distância para campo” apresenta pesos positivos e os demais valores negativos decrescendo à medida que a distância aumenta nos dois períodos de tempo, no entanto constatou-se em 1991-2002 que a força de repulsão é maior do que no período 2002-2011.

Na variável “distância para uso agrícola” as quatro faixas de distância iniciais apresentaram valores positivos, sendo a atração em 2002-2011 maior do que no período anterior. No período de 1991-2002 a variável Distância para Silveira Martins demonstrou pesos negativos nas duas faixas mais distantes, ou seja, áreas mais distantes da sede não tenderiam a transição.

A transição campos para florestas teve a variável “Distância para floresta” com comportamento semelhante nos dois períodos, tendo a primeira faixa indicado a atração da transição da classe campos para a classe florestas, nas demais faixas os valores decaem, chegando a pesos negativos, assim indicando repulsão desta transição. Também com semelhança nos períodos de estudo, a variável “Distância para uso agrícola” demonstrou pesos pouco significativos, mas que indicam nas faixas mais próximas repulsão e nas mais distantes a atração para a transição.

Na transição campos para uso agrícola a variável “Distância para Floresta” apresentou no período 1991-2002 as faixas mais distantes com pesos de evidência positivos bastante elevados o que nos mostra forte tendência a transição campos para uso agrícola ocorrer em áreas distantes da classe floresta. Em 2002-2011 os pesos de evidência das faixas sofrem grande oscilação, predominando valores negativos. Na “Distância para Campo” a proximidade com áreas de campos favorece esta transição, bem como faixas mais distantes a repelem. No período de 2002-2011 a ação desta variável é mais significativa, com pesos negativos próximos a três nas faixas mais distantes.

As variáveis “Distância para a sede do distrito de Arroio Grande” e “Distância para sede do município de Itaara”, demonstram comportamento semelhante, a proximidade favorece a transição já que temos peso positivo na primeira faixa e negativo nas demais para ambos os períodos.

Segundo Novaes et al. (2011) a análise dos pesos de evidência facilita reconhecer áreas passíveis de mudança de estado em cada transição, outra forma de observar esta ação é através da análise dos mapas de probabilidades de transição, que compilam o efeito de todas as variáveis inseridas no modelo, permitindo assim a observação da ação destas variáveis já no plano espacial.

5.4.1.2 Mapas de probabilidade de transição

Os mapas de probabilidades de transição dos períodos de 1991-2002 e 2002-2011 são apresentados nas Figuras 20 e 21. No período 1991-2002 (Figura 20) as transições com probabilidades mais significativas foram: (C) campos para floresta, no entorno do rebordo do planalto meridional, mais intensamente nas proximidades da cidade de Itaara a oeste da área de estudo; (D) campos para uso agrícola muito elevada a probabilidade para a porção norte e nordeste, seguida da porção leste, próximo a Silveira Martins e do distrito de Arroio Grande; e (F) uso agrícola para campos, norte e nordeste da microbacia, porém abrangendo uma área menor do que a transição anterior e com intensidade também menor.

No período 2002-2011 (Figura 21) as transições em que podemos observar probabilidades mais representativas foram: (A) floresta para campos, com índices de probabilidade mais elevados a oeste da microbacia, próximo a Itaara; (B) floresta para uso agrícola, na porção norte; (C) campos para floresta, a sudoeste e sudeste da bacia próximo as áreas florestais do rebordo do planalto; (D) campos para uso agrícola, na porção norte.

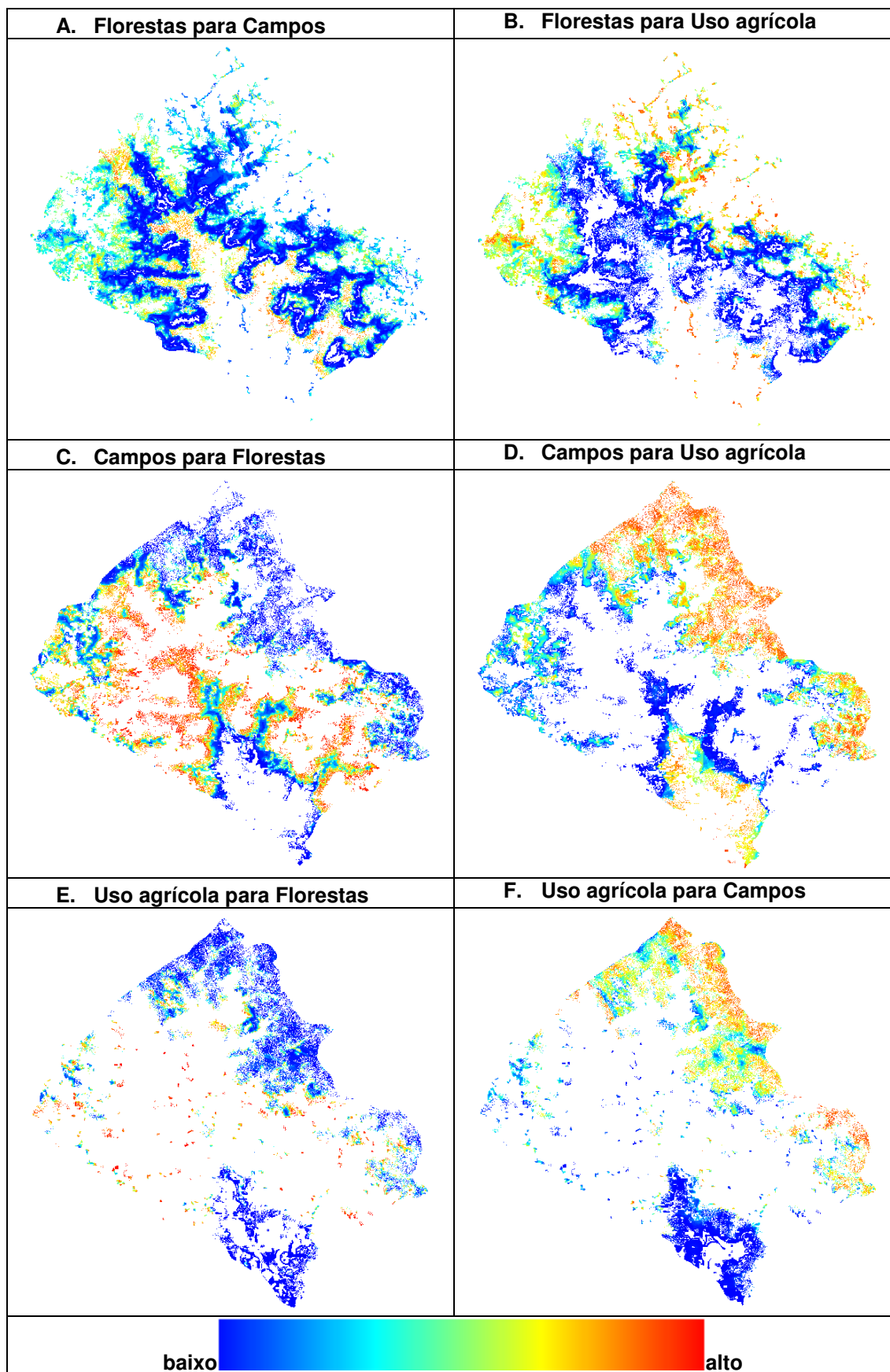


Figura 20. Representação dos mapas de probabilidade de transição das classes de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande, 1991 para 2002.

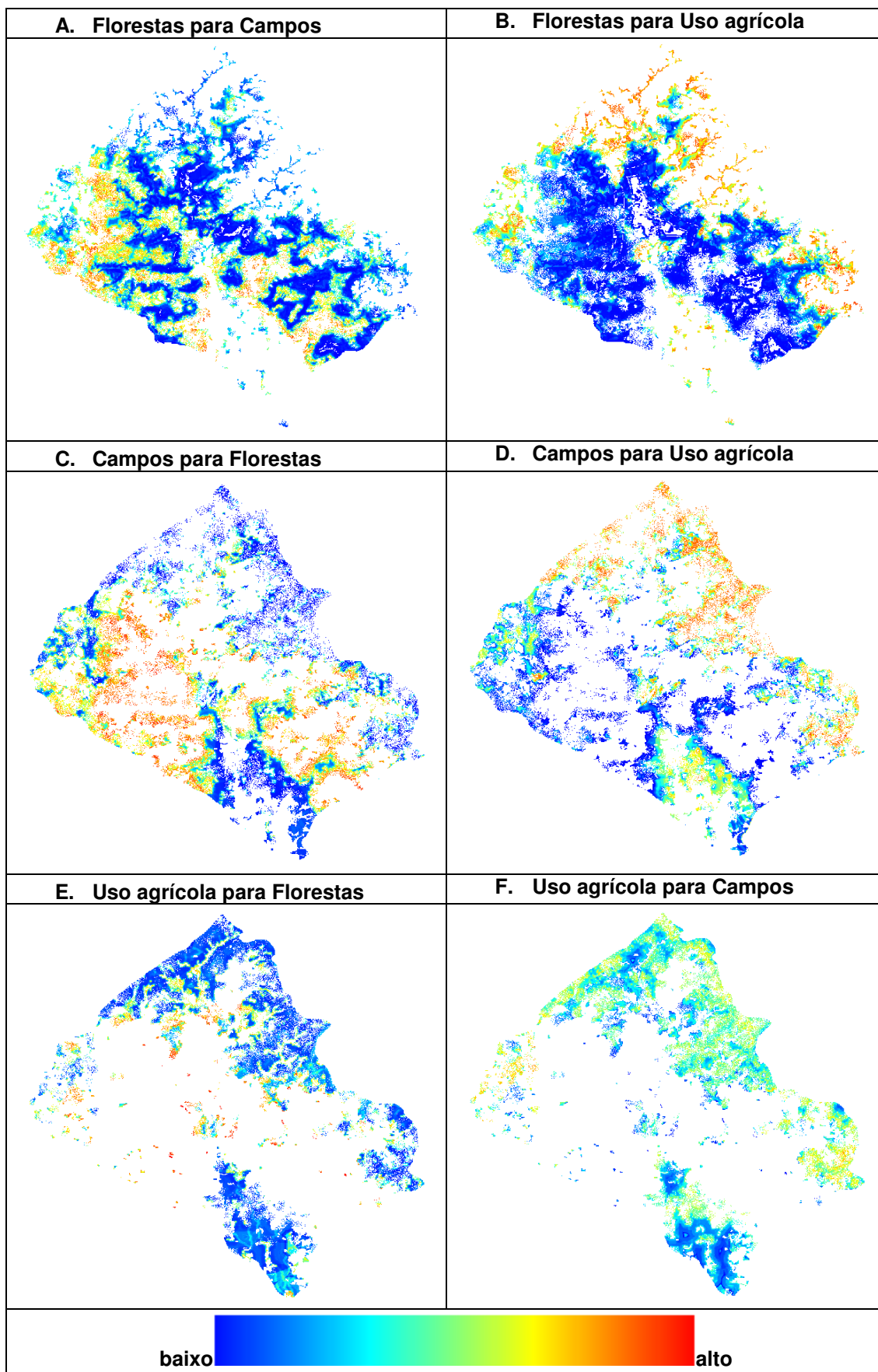


Figura 21. Representação dos mapas de probabilidade de transição das classes de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande, 2002 para 2011.

5.4.2.2 Índice Cramer (V) e Índice de Incerteza Conjunta (U)

O cálculo dos Índices de Cramer (V) e de Incerteza Conjunta (U) consiste em uma etapa decisiva na seleção das variáveis que constituirão o modelo. Estes índices são responsáveis por verificar uma eventual dependência espacial entre as variáveis, e atuam com valores de áreas de sobreposição entre diferentes variáveis de dois mapas, objetivando assim avaliar a presença de associação ou dependência espacial.

As variáveis estáticas selecionadas inicialmente para compor o modelo foram: declividade, hipsometria, distância a estradas principais (com três *buffers* de 400 metros), distância a cursos d'água (com três *buffers* de 30m), distância a sede do município de Itaara (três *buffers* de 2000m), distância a sede do município de Silveira Martins (três *buffers* de 2000m) e distância a sede do Distrito de Arroio Grande (três *buffers* de 2000m).

A dependência espacial é verificada com base em valores de V e U quando apresentam valores superiores a 0,5. A única transição que apresentou valores superiores a 0,5 foi entre as variáveis declividade e hipsometria, com V superior a 0,50 e U superior a 0,60, sendo verificado a ocorrência em ambos os modelos trabalhados (1991-2002 e 2002-2011). Para evitar a redundância dos dados, uma vez que foi identificada a dependência espacial, foi realizada a exclusão da variável hipsometria e repetido o processo, o resultado desta vez não indicou dependência espacial de nenhuma variável, uma representação das variáveis utilizadas nos modelos pode ser observada na Figura 22.

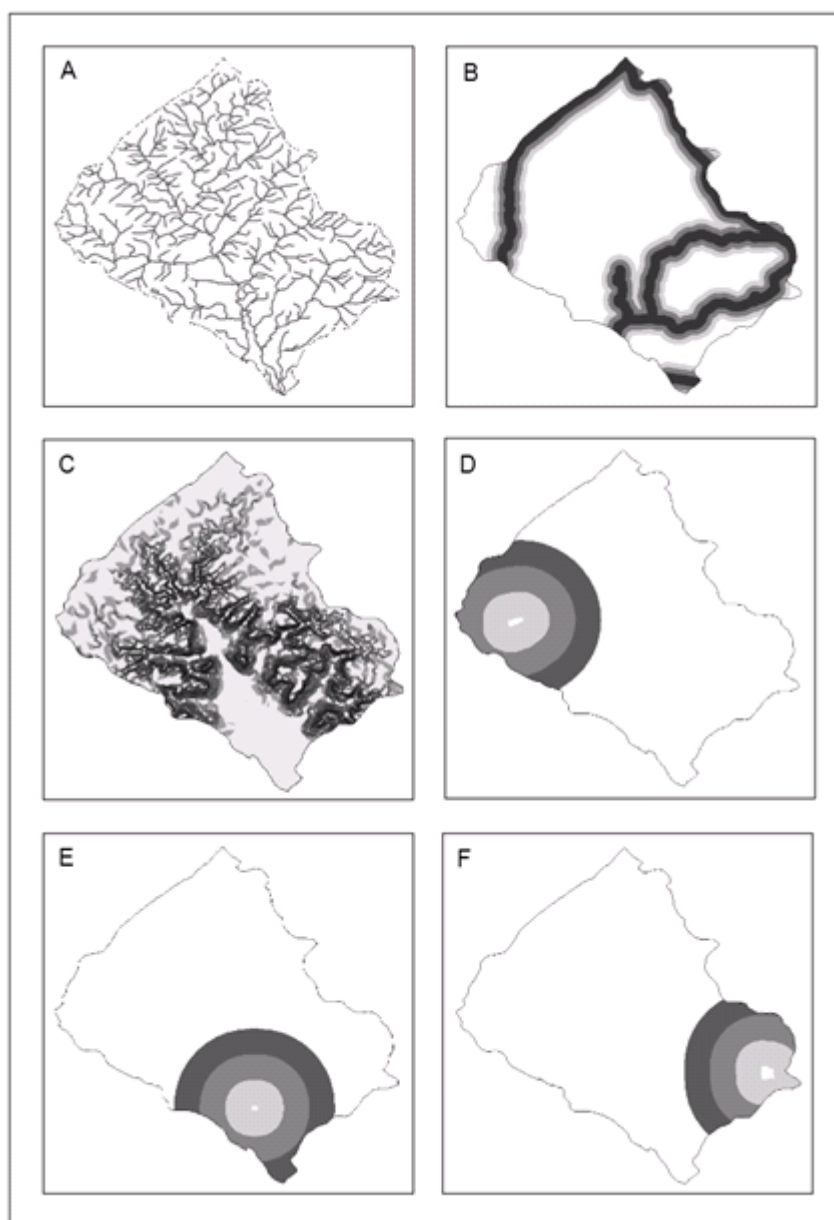


Figura 22. Representação das variáveis estáticas utilizadas nos modelos de simulação. (A) Distância a rede de drenagem, (B) Distância as estradas principais, (C) Declividade, (D) Distância a sede do município de Itaara, (E) Distância a sede do distrito de Arroio Grande, (F) Distância a sede do município de Silveira Martins.

5.4.3 Execução do Modelo

Como mencionado na metodologia (seção 4.4.1) os algoritmos de transição utilizados pelo aplicativo Dinamica EGO são os “*functores*” *Expander* e *Patcher*, que são responsáveis, respectivamente, pela expansão e contração de manchas, bem como pelo surgimento de novas manchas. Nestes “*functores*” defini-se o tamanho

médio das manchas, a variâncias das manchas e a isometria. Para os modelos de simulação dos anos de 2002 e 2011 foram utilizados valores para os *Expander* e *Patcher* iguais a 3,6 ha, tanto para tamanho médio, como para a variância das manchas, e isometria igual a 1,6 para *Expander* e 1,5 para *Patcher*.

5.4.4 Validação do modelo de simulação

As simulações resultantes da modelagem dinâmica de uso e cobertura da terra realizadas no aplicativo Dinamica EGO para os anos de 2002 e 2011 apresentaram índices de similaridade *fuzzy* por decaimento exponencial e similaridade *fuzzy* por decaimento constante satisfatórios. Segundo Novaes et al. (2011) “índices próximos a 0,4 indicam um nível bom de compatibilidade entre o cenário simulado e o real”, em outros estudos encontramos referência a valores entre 0,4 e 0,9, como Almeida (2008) que encontrou valores de similaridade *fuzzy* entre 0,83 e 0,85, em um estudo de simulação em áreas urbanas, Ferrari (2008) que obteve 0,44 e 0,84 para modelos de simulação da dinâmica de uso e cobertura da terra, e Benedetti (2010) que alcançou índices de 0,64 a 0,99 em trabalho sobre simulação de evolução florestal. Os índices por janelas de similaridade, obtidos com as funções de decaimento exponencial e constante, podem ser observados na Tabela 5, assim como os respectivos mapas de similaridade na Figura 23.

Tabela 5. Índices por janelas de similaridade pela função de decaimento exponencial e função de decaimento constante para as simulações de 2002 e 2011.

Janela	1991-2002		2002-2011	
	Exponencial	Constante	Exponencial	Constante
3x3	0,613	0,719	0,619	0,721
5x5	0,658	0,829	0,666	0,841
7x7	0,673	0,877	0,680	0,886
9x9	0,680	0,910	0,685	0,914
11x11	0,684	0,935	0,688	0,933

Segundo Ferrari (2004) a utilização de índices por janelas de similaridade em modelos de simulação espacial é necessário, pois não é possível reproduzir um cenário passado com exatidão espacial, assim como vimos na seção 3.2.3.3 da

fundamentação teórica, índices de similaridade baseados em lógica *fuzzy*, por não se basearem somente na comparação célula por célula, permitem identificar a similaridade de padrões (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

A etapa de validação auxilia nos ajustes dos parâmetros dos *functores expande* e *patcher* (NOVAES et al., 2011), responsáveis pela execução do modelo, *n* testes foram realizados até que se atingisse valores satisfatórios, a análise visual dos mapas simulados e a observação dos valores obtidos na validação balizaram o processo.

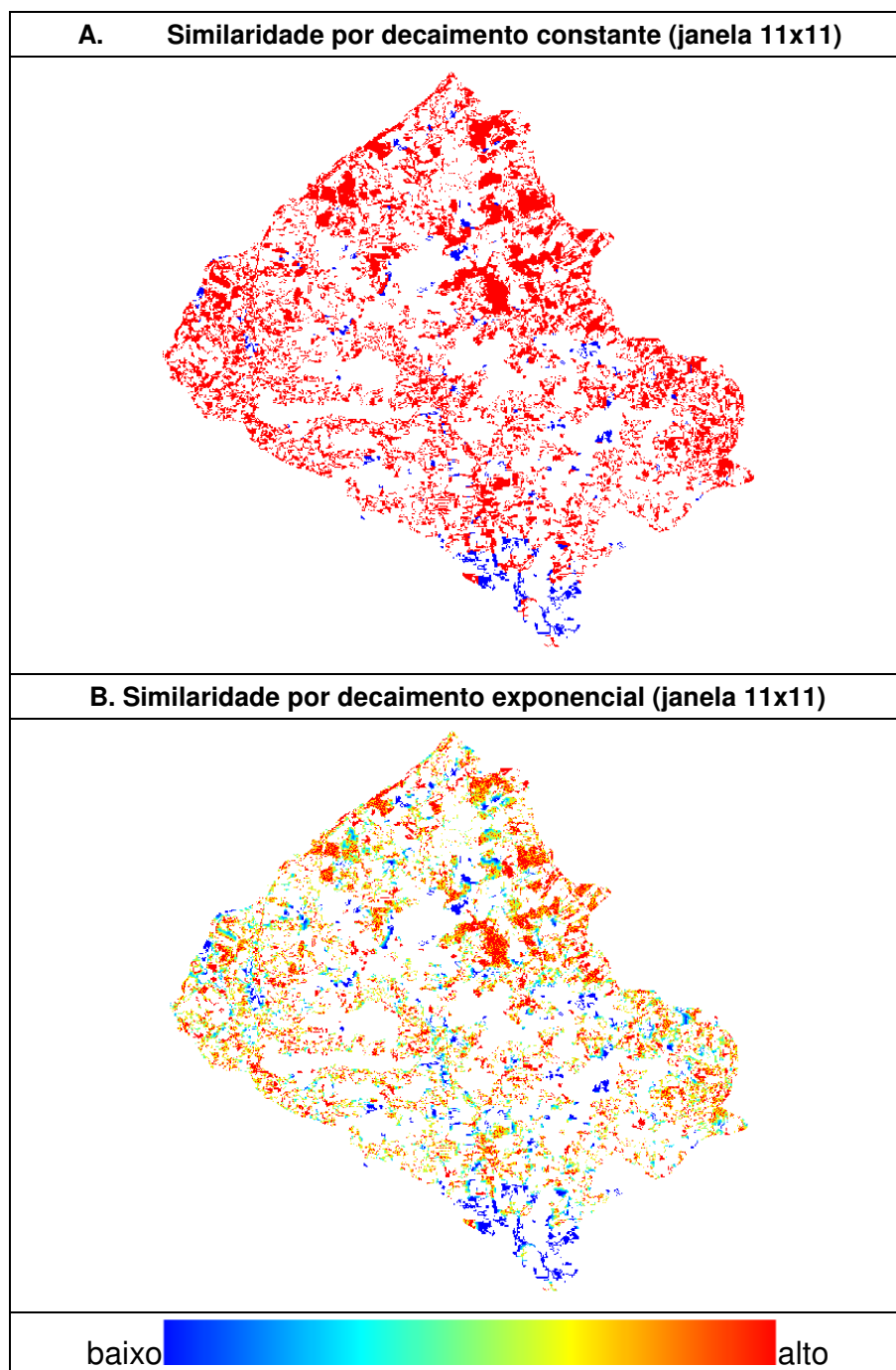


Figura 23. Mapas de Similaridade: (A) por decaimento constante e (B) por decaimento exponencial.

5.4.4 Simulação de Cenário futuro

“A ciência é precisamente o processo de se usar a experiência anterior como base para previsão. A previsão é importante; o objetivo para se dispor de uma ciência é que seja capaz de fazer previsões (precisas) quanto ao estado futuro de um sistema, e só podemos fazer isso se tivermos tido experiências prévias desse sistema ou de outros semelhantes. Não que previsão seja realmente tudo; nós queremos também compreender o sistema e, além disso, ser capazes de controlá-lo – em geral o nosso ambiente – até certo ponto. Essa capacidade depende, no mínimo, de estarmos aptos a fazer previsões.” (GEORGE, 1975 pág. 22)

A predição de cenários a partir da modelagem de dados espaciais, como os extraídos de imagens de satélite obteve muitos avanços, e tem sido apontada como área de grande interesse da comunidade científica há algum tempo.

Modelos de simulação espacialmente explícitos, como o efetuado neste trabalho para a dinâmica de uso e cobertura da terra da bacia do Arroio Grande, permitem simular a dinâmica de um sistema ambiental e a forma como os padrões espaciais evoluem, possibilitando prever as possíveis consequências desta dinâmica (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

A simulação realizada teve como parâmetros de execução os valores validados durante a simulação de uso e cobertura dos períodos anteriores. Como os dados validados no modelo de 2011 compreendem um período de nove anos, a simulação efetuada gerou mapas anuais de cenários de uso e cobertura da terra de 2012 a 2020 nas Figuras 24 e 25.

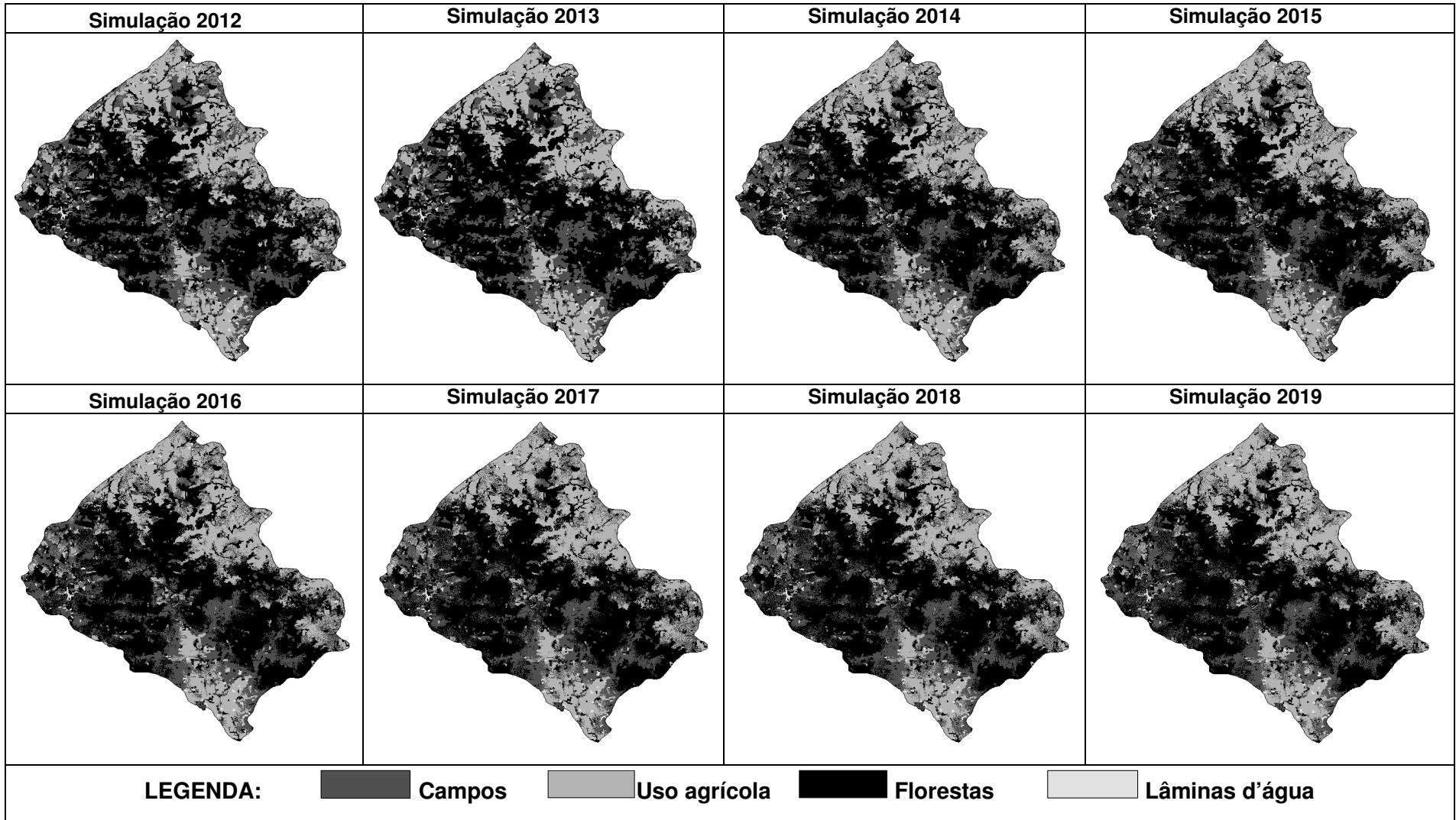


Figura 24. Mapas anuais de simulação do uso e cobertura da terra para os anos de 2012 a 2019 na bacia do Arroio Grande.

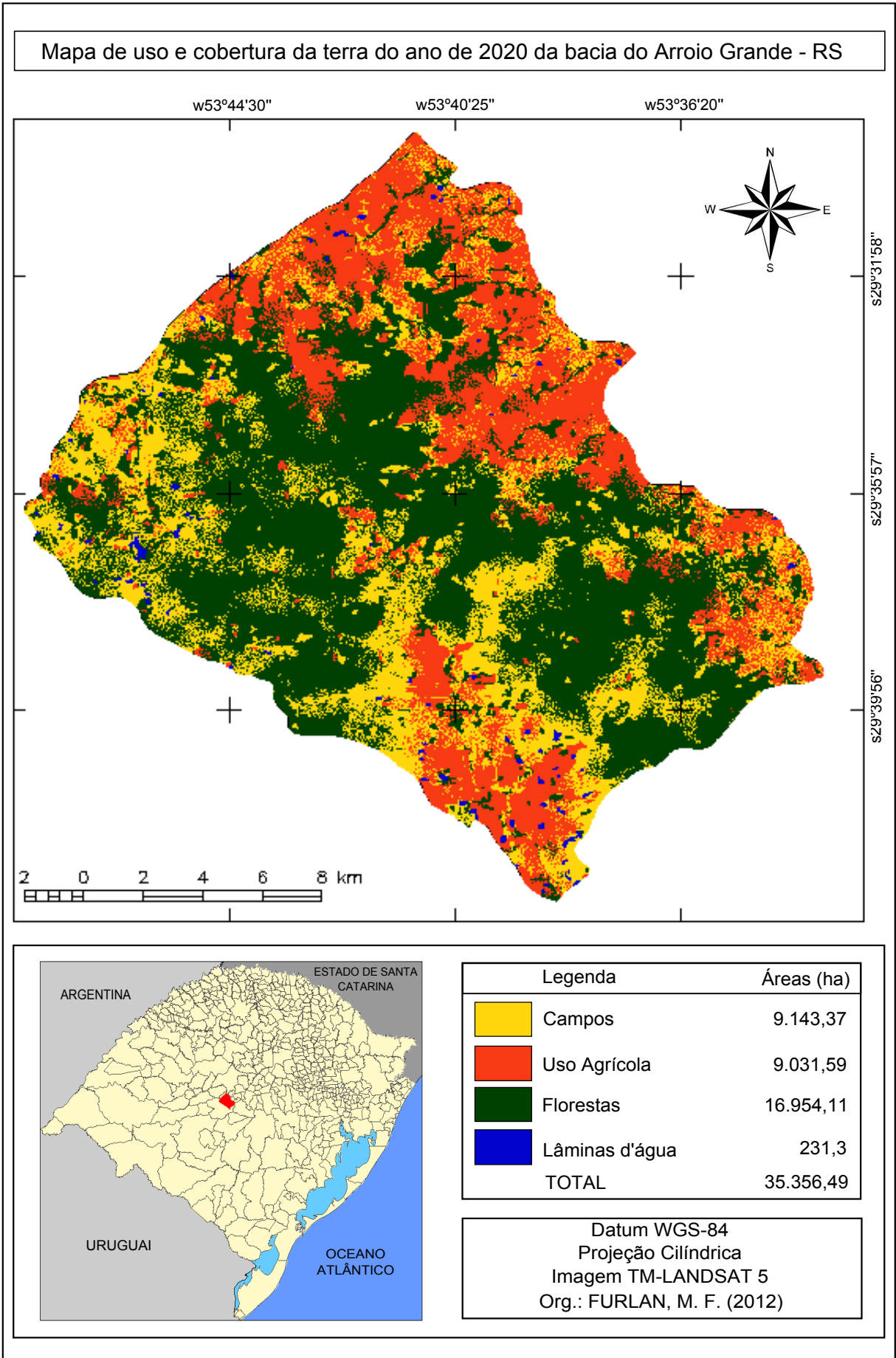


Figura 25. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2020 da bacia do Arroio Grande - RS.

A simulação do cenário para o ano de 2020 revelou um aumento nas áreas florestais (2,64%) e nas áreas agrícolas (4,38%), assim como uma significativa diminuição nas áreas de campos (-8,19%), os valores das áreas das classes podem ser verificadas na Tabela 6.

Tabela 6. Área Total das Classes simuladas para 2020.

Classes	Área 2020 (ha)
Florestas	16.954,11
Campos	9.143,37
Uso Agrícola	9.031,59

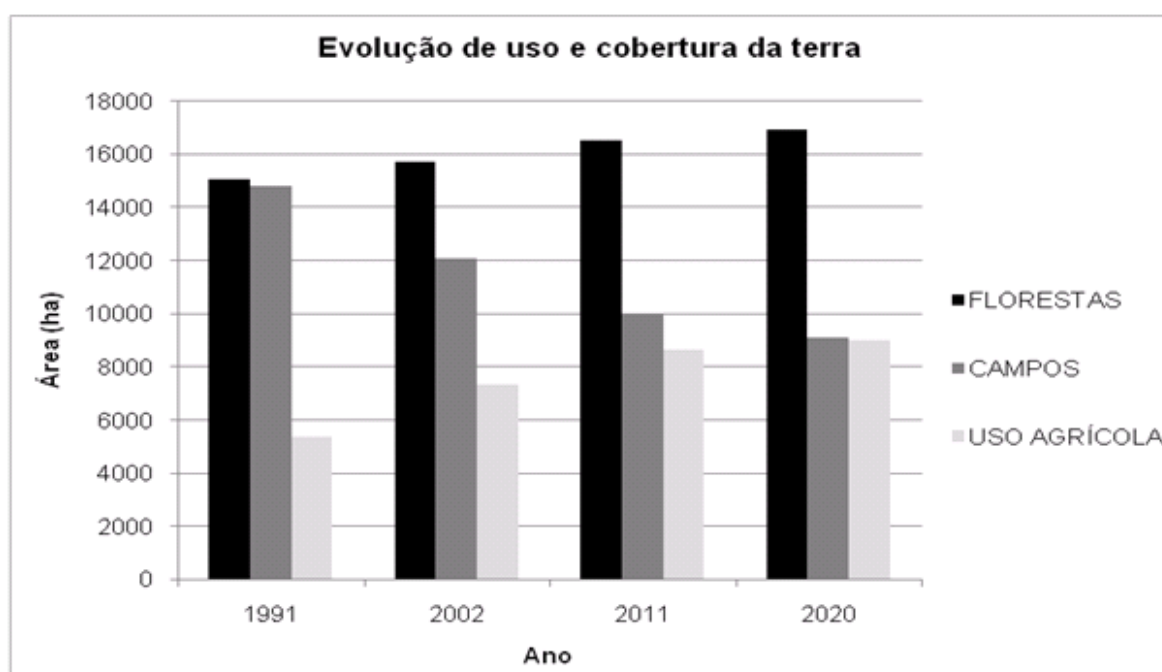


Figura 26. Gráfico da evolução de uso e cobertura da bacia do Arroio Grande com os anos de 1991, 2002, 2011 e a simulação para o ano de 2020.

Podemos constatar, com a observação do gráfico acima, que a simulação para o ano de 2020 segue a tendência dos períodos anteriores, mas em taxas menores, pode-se atribuir este fato a falta de áreas propícias as atividades agrícolas, nas regiões com forte vocação agrícola, como nas proximidades de Silveira Martins, nas várzeas do Arroio Grande e em áreas do planalto, correspondentes a Júlio de Castilhos, uma vez que estas já foram amplamente ocupadas nas últimas décadas, como observamos anteriormente.

A Tabela 7 apresenta a matriz da conversão de classes de uso e cobertura que ocorreu entre 2011 e a simulação de 2020, e permite observar a dinâmica da conversão das classes de uso e cobertura da terra.

Tabela 7. Matriz de conversão de Classes do ano de 2011 para a simulação do ano de 2020 (ha).

De/Para	Florestas	Campos	Uso agrícola
Florestas		1.106,82	167,58
Campos	1.085,22		1.942,56
Uso agrícola	407,7	1.512,72	

A Figura 27 trás os mapas de probabilidade de transição das classes temáticas para a simulação do ano 2020, possibilitando a identificação das áreas mais suscetíveis a mudanças. A transição florestas para campo (A) apresenta maior probabilidade de ocorrer na porção oeste da área de estudo, próximo a sede do município de Itaara e também ao longo do rebordo do planalto. Na porção norte (correspondente às áreas planas do Planalto Meridional), podemos observar que as transições florestas para uso agrícola (B) e campo para uso agrícola (D) são predominantes. A mudança de campo para florestas (C) destaca-se a sudoeste e sudeste da área circundando as áreas de cobertura florestal, principalmente próximo a Itaara. A transição uso agrícola para florestas (E) é pouco significativa e pontual, ao contrário da mudança de uso agrícola para campo (F) que, apesar de não apresentar áreas fortemente propensas à mudança, apresenta-se mais distribuída por toda a área, com tendência um pouco maior junto às sedes dos municípios de Itaara e Silveira Martins.

Na Figura 28 temos o mapa das transições das classes de uso e cobertura do solo do ano de 2011 para o ano 2020 simulado, em que podemos verificar o que foi apontado pela análise dos mapas de probabilidade.

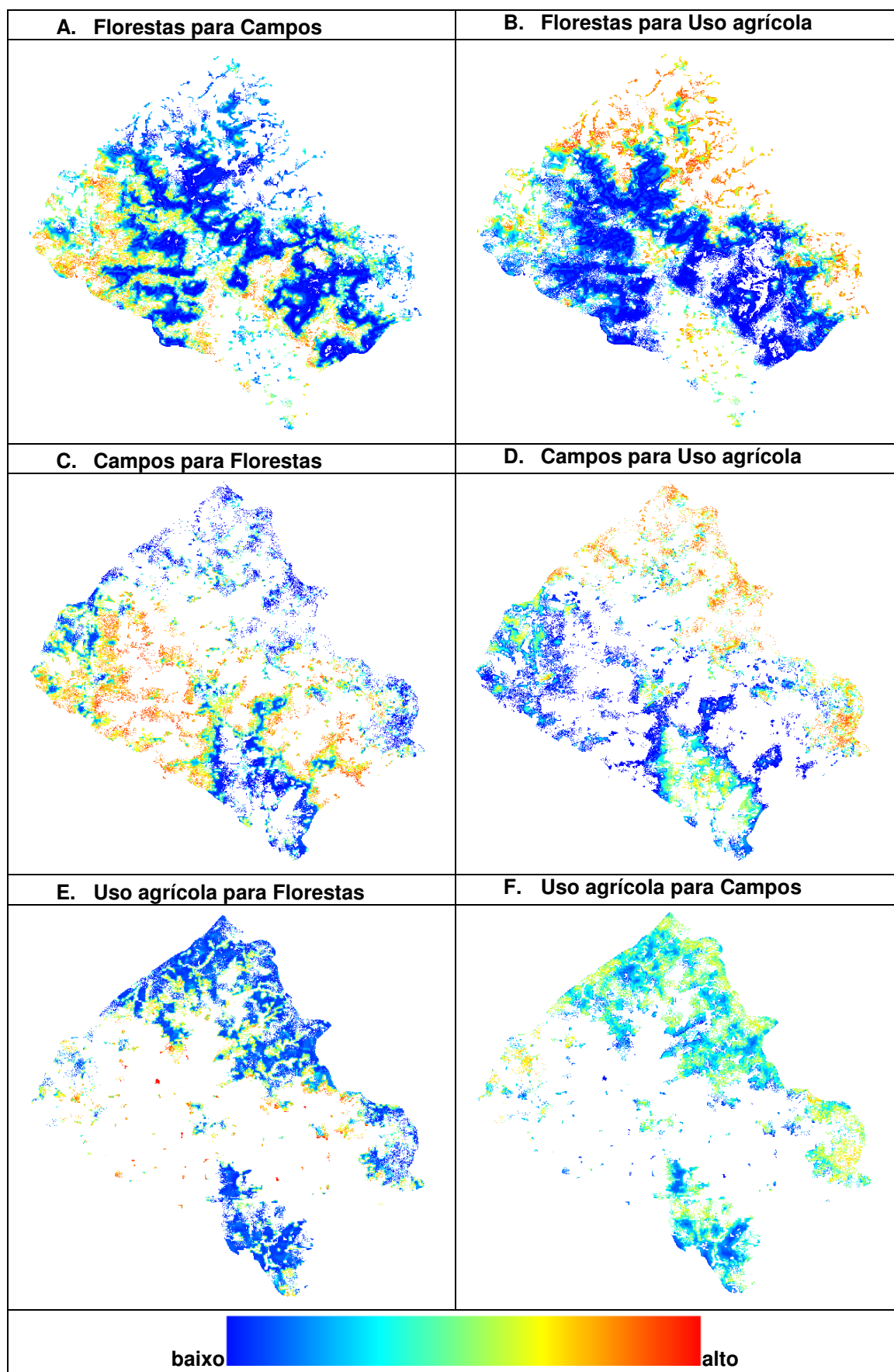


Figura 27. Representação dos mapas de probabilidade de transição para o modelo 2011-2020.

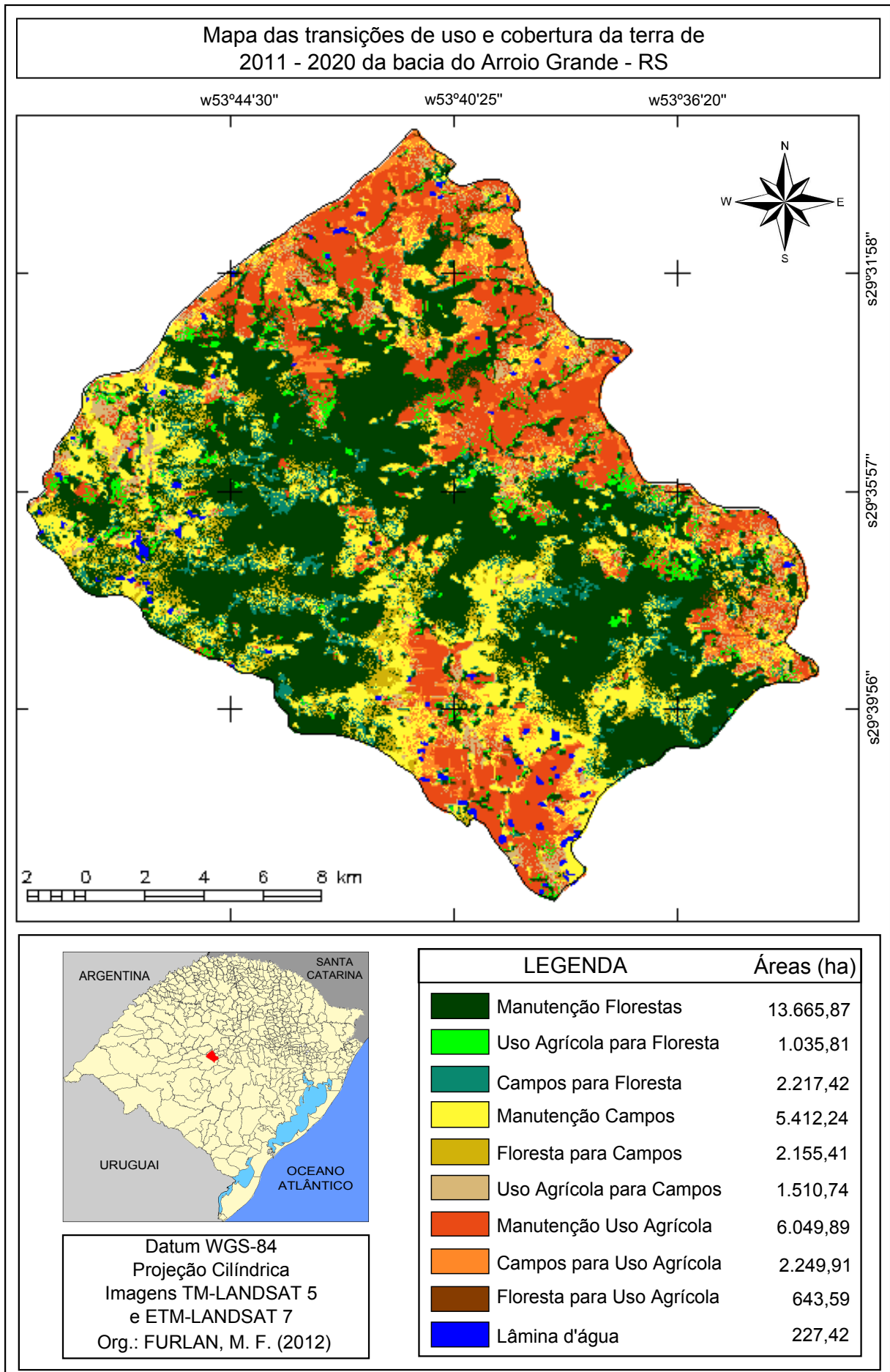


Figura 28. Mapa das transições de uso e cobertura da terra de 2011-2020 da bacia do Arroio Grande - RS.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Resultado dos avanços na área da recente Ciência da Informação Geográfica, aplicativos dedicados a modelagem dinâmica espacial, como a plataforma Dinâmica EGO, consistem em ferramentas importantíssimas para estudos da área de análise espacial e para exploração de cenários futuros, pois permitem simular a dinâmica de um sistema ambiental e a forma como os padrões espaciais evoluem, possibilitando prever as possíveis consequências.

O modelo de simulação dinâmica espacial, utilizado neste trabalho, alicerçado no método bayesiano de Pesos de Evidência e em Autômatos Celulares, mostrou-se oportuno ao estudo da evolução do uso e cobertura da bacia do Arroio Grande, bem como para a previsão de cenários. O processo de modelagem permitiu a identificação das transições de uso entre as classes selecionadas, indicando a expansão, retração e as alternâncias de uso na área da bacia.

A análise dos gráficos de Pesos de Evidência possibilitou maior compreensão da importância da escolha das diferentes variáveis estáticas adotadas para um modelo. A utilização dos mapas de probabilidade de transição proporcionou resultados interessantes, auxiliando na análise dos mapas finais. A realização de mapas síntese das transições de uso e cobertura que ocorreram entre 1991-2002, 2002-2011 e 2011-2020, mostrou-se igualmente útil.

Os resultados obtidos foram muito satisfatórios, as simulações realizadas para os anos 2002 e 2011 alcançaram índices de similaridade considerados muito bons. A previsão do cenário para o ano de 2020 mostrou alterações de uso e cobertura em percentagens menores do que as verificadas nos períodos anteriores, indicando um aumento de 2,64% nas áreas florestais, 4,38% nas áreas de cultivo agrícola e uma diminuição de 8,19% dos campos. Esta dinâmica pode indicar uma estagnação nas áreas de cultivo agrícola, pois não há grandes extensões de terra adequadas para o avanço da agricultura, principal propulsor da evolução observada no período de estudo, nas regiões com maior vocação agrícola, como nas proximidades de Silveira Martins, nas várzeas do Arroio Grande e em áreas do planalto meridional, correspondentes ao município de Júlio de Castilhos.

O avanço da agricultura ao longo dos últimos vinte anos não consiste numa particularidade da bacia do Arroio Grande, é apenas reflexo de uma tendência global

– o aumento do cultivo de cereais como o arroz e, particularmente neste período, a soja. O que constatamos foi a manutenção da ocupação das várzeas do Arroio Grande e o avanço da agricultura sobre áreas do planalto meridional.

6.1 Propostas para trabalhos futuros

Ao final deste trabalho cabe ressaltar algumas propostas para a sequência de trabalhos nesta linha de pesquisa, como: avaliar as transições elaboradas pelo modelo nos anos subsequentes, para validar a metodologia; Explorar outras possíveis forças direcionadoras da alteração de uso e cobertura da terra na bacia do Arroio Grande; Aprofundar o trabalho com diferentes formas de expressar variáveis discretas e contínuas; Desenvolver diferentes cenários a partir de hipóteses baseadas em distintas intervenções na área.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. M.; et al.. Modeling the Urban Evolution of Land Use Transitions Using CA and Logistic Regression. [CD-ROM]. In: **Proceedings of the IEEE - International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, v. 3, 2003, p. 1564-1566. Toulouse: CNES, 2003.
- ALMEIDA, C. M. 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** (Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos, 2004a.
- ALMEIDA, C. M.. Simulation and Prediction of Urban Land Use Change as a Tool for Better Planning. In: International Symposium on Urbanization Worldwide: Trends and Challenges in the 21st Century. **Annals...** Stuttgart: Centre for Infrastructure Planning - Universität Stuttgart, 2004b.
- ALMEIDA, C. M; et al. GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use Change. **International Journal of Remote Sensing**. Vol. 26, p. 759–774,. [s.n] Feb. 2005,
- ALMEIDA, C. M.; et al.. Modelos Celulares de Dinâmicas Espaço-Temporais: Aplicações em Estudos Urbanísticos. In: **GEOMÁTICA: MODELOS E APLICAÇÕES AMBIENTAIS**. v. 1, 1ed.; p. 445-496. Brasília: EMBRAPA, 2007.
- AGUIAR, A.P.D. CAPÍTULO 4 Modelagem de mudanças de uso e cobertura do solo na Amazônia: Questões Gerais. In.: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (org.) **Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/>> Acessado em: 02/03/12.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. WDL Publications: Ottawa, 1995.
- BAKER, W. L. A review of models of landscape change. **Landscape Ecology**, Amsterdã v. 2, n. 2, p. 111-133, [s.n.] 1989.
- BENEDETTI, A. C. P. Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul. 2010. 166 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Ontario: Pergamon, 1994. 305 p.

BURROUGH, P. A.; McDONNEL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Clarendon Press, 1998. 333p.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. 1.ed. Virginia: Regional Research Institute, West Virginia University, 2000.

CÂMARA, G.; et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. UNICAMP-SAGRES, 1997. v. único.

CÂMARA, G., MONTERIO, A.M.V., MEDEIROS, J.S. **Representações Computacionais do Espaço: Um Diálogo entre a Geografia e a Ciência da Geoinformação**. In: Workshop sobre Novas Tecnologias em Ciências Geográficas, **Anais...** UNESP-Rio Claro, 2000.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed. org.) **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. de (org.). **GEOMATICA: MODELOS E APLICACOES AMBIENTAIS**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2007.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. B. de. ARQUITETURA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA. In.: CÂMARA, G. (Org.) ; DAVIS, Clodoveu (Org.) ; MONTEIRO, Antônio Miguel (Org.) ; PAIVA, J. A. (Org.) ; D'AGE, J. C. L. (Org.) . **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. INPE - Edição On-line, 1999. v. 1.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, B. M. Capítulo 6. **Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento**. In.: 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).

CENTENO, T. M.; SELLERON, G. Spatio-temporal prediction applying fuzzy logic in a sequence of satellite images. In: **Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology 84**, Toulouse: Manfred Ehlers, Sep. 2001.

CHORLEY, R.; HAGETT, P. **Modelos em Geografia**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos/USP, 1975.

COELHO, A. dos S. MODELAGEM DE DINÂMICA DO USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NA REGIÃO DE SANTARÉM, OESTE DO PARÁ. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Ambientais) . Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Belém, 2009. 128 fl.: il.

CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C. C. F; CÂMARA, G. Álgebra de Campos e Objetos. In.:CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. de. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004.

DIEGUES, A. C. **Inventários de Áreas Úmidas do Brasil**: versão preliminar. Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade de São Paulo, União Internacional para Conservação da Natureza, Fundação Ford. São Paulo, 1990. 446 p.

DUARTE da Silva, P. A.; TAVARES. V.E.Q. Preservação de Áreas Úmidas. **Rev. Bras. Agroecologia**, v.2, n.1, fev., 2007.

FERNANDEZ, P. J. **Introdução aos processos estocásticos**. INPA/CNPq, Rio de Janeiro. 1975. 139 p.

VELDKAMP, A.; VERBURG, P. H. Modelling land use change and environmental impact. **Journal of Environmental Management**, v. 72, p. 1-3, [S.l.] ELSEVIER, Aug. 2004. [Editorial]

FARINATTI, L. A. E. Apropriação da terra e grupos sociais em uma região de fronteira agrária aberta no Rio Grande do Sul dos oitocentos (Santa Maria - século XIX). In: Primeiras Jornadas de História Regional Comparada, **Anais...**; Porto Alegre, 2000. Disponível em: < http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/jornadas-de-historia/index_1.php> Acessado em: 05/03/12.

FERRARI, R. **Modelagem de Uso e Cobertura da terra da Quarta Colônia, RS**. Dissertação (Pós-graduação em Geomática). Santa Maria: UFSM, 2008.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico do uso da terra**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **ATLAS DOS REMANECENTES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA PERÍODO 2008-2010**. São Paulo, 2011.

GARCIA; R.A.; SOARES-FILHO; B. S.; MORO; S. Modelagem Espacial do Desmatamento Amazônico. In: XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais - ABEP, 2004; **Anais...** Caxambú, 2004. Disponível em: <<http://ibcperu.org/doc/isis/13412.pdf>> Acessado em: 10/03/2012.

GONCALES, R. M.; CENTENO, T. M.; SELLERON, G. Modelagem preditiva a partir de uma sequência de imagens de satélite utilizando autômatos celulares. In: XI Simpósio Brasileiro Sensoriamento Remoto – SBSR, 2003; **Anais...**, p. 975-981, Belo Horizonte, INPE: 2003.

GRANADOS, E. M. L.; BOCCO, G.; CANTÚ, M. E. M. Predicción Del cambio de cobertura y uso Del suelo. El caso de La ciudad de Morelia. **Investigaciones Geográficas**; n. 45, p. 56-76; Universidad Autonoma de Mexico, Distrito Federal: 2001. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=56904505>> Acessado em: 10/03/2012.

GREMONINI, L.; VICENTINI, E. Autômatos Celulares: Revisão Bibliográfica e Exemplos de Implementações. **Revista Eletrônica**. Curitiba: UNICENTRO, 2008. Disponível em: <http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista_Pos/CE-Autom.pdf>. Acessado: em 02/08/2009.

HENDGES, E. R. Modelos estocásticos da dinâmica da paisagem florestal e simulação de cenários para o Estado do Rio Grande do Sul no período de 1988 a 2020. 2007. 233 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Manual do Usuário SPRING**: Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em: 02/04/2012.

ITAQUI, J. **Quarta Colônia** – Inventário Técnico de Flora e Fauna. Santa Maria: Condesus, 2002.

KASS, E. R.; RAFTERY, A. E.. Bays Factors. **Journal of the American Statistical Association**. Vol 90, Nº 430, p. 773-795, [s.l.] JSTOR: 1995. Disponível em: <http://www.stat.washington.edu/raftery/Research/PDF/kass_1995.pdf> Acessado em: 30/05/2012.

KLEINPAUL, J. J. **Análise multitemporal da cobertura florestal da Baciado Arroio grande, Santa Maria, RS**. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

KENNEDY, R.E., et al. Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 1382–1396, [S.l.] ELSEVIER, Jul. 2009. [Editorial]

LAMBIN, E. F. Modelling deforestation processes: a review. In: **TREES series B: Research Report n1**; Office of Official Publications of the European Community, Luxembourg: 1994.

LAMBIN, E. F.; et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, P. 261–269. Elsevier: 2001.

LAMBLIN, E. F.; et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, n. 4, p. 261-269; [S.l.] ELSEVIER, Dec. 2001. [Editorial]

LAMBLIN, E. F.; GEIST, J. H.; LEPERS, E.. Dynamics of Land-use and land-cover change Tropical Regions. **Annual Review Environmental research**, v. 28, p. 205-241, [S.l.] Annual Reviews: 2003.

LIU, W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande, Uniderp, 2007.

LUTHER, A. **Reconfiguração do território**: transformações socioambientais em Arroio Grande/Santa Maria – RS. 2005. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LUTHER, A. O território de Arroio Grande: diversificação das atividades e construção de identidades. **Rev. Bras. Agroecologia**, v.2, n.1, fev. 2007.

MACORATTI, J. C. **Conceitos Básicos de Modelagem de Dados**. [S.l.:s.n.]. Disponível em: <<http://www.macoratti.net/cbmd1.htm>> Acessado em: 14/05/2011.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul**: Campos Sulinos. Porto Alegre: EST, 2004.

MAS, J. F. et al. Una comparación de programas de modelación de cambios de cobertura/uso del suelo. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR . **Anais...** p. 5081; Curitiba, INPE: 2011

MILLER, H. J..Geographic representation in spatial analysis. **Journal of Geograph Syst**, ed. 2, pg. 55-60, Springer-Verlag: 2000.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2005.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. 2011. Disponível em: <http://www.nasa.gov/>. Acesso em: 10 set. 2011.

NOVAES, M. R. **Análise da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar por meio de modelagem dinâmica espacial**. 253 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP. 2010.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto**: princípios e aplicações. 3 ed. Edgard Blucher, São Paulo, 2008.

PEDROSA, B. M. **Ambiente computacional para modelagem dinâmica**. 2003, 71 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

PEDROSA, B. M.; et al.. Spatio-temporal database constraints for spatial dynamic simulation. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM IN GEOINFORMATICS, 6, Campos do Jordão. **Proceedings...** 2004. p. 16. Papel, On-line. (INPE-11854-PRE/7201).

PEDROSA, B. M. **Ambiente Computacional para Modelagem Dinâmica Espacial**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

PEDROSA, B. M.; CÂMARA, G. Modelagem dinâmica e geoprocessamento. In: FUKS, Suzana Druck; CARVALHO, Marília Sá; CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, VIEIRA, A. M. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2002. p. 39. (Acompanha CD-ROM INPE-8556-PRE/4300).

PEREIRA, R. S.; BENEDETTI, A. C. P.; ALMEIDA, C. M. Dynamic Modeling for Changes Simulations in the Forest Cover in Rio Grande do Sul State, Brazil. In: FIG WORKING WEEK 2011. - BRIDGING THE GAP BETWEEN CULTURES, 2011, Marrakesh, Marrocos. **Annals...** 2011. On-line. Disponível em: <<http://www.fig.net/fig2011/>>. Acesso em: 10/05/2012.

POKRAJAC, D.; OBRADOVIC, Z. Combining Regressive and Auto-Regressive Models for Spatial-Temporal Prediction, In: Workshop at the 17th Int'l. Conf. on Machine Learning of Spatial Knowledge; **Annals...** Stanford, Jun. 2000. Disponível em: <<http://www.dabi.temple.edu/~zoran/papers/pokrajac00c.pdf>> Acessado em: 20/06/2012.

RAMÍREZ, J.P. Clasificación y predicción de cambios de coberturas Del suelo em La comuna de Nihue (secano interior), Província de Ñuble, VIII Región. **Revista de Geografia**, n. 29, p. 25-105, Norte Grande [S.n.], 2002.

ROCHA, J.; SOUSA, P. M.; TENEDÓRIO, J. A. 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, p.123-137, 2001.

RODRIGUES, O. H.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. de S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3089-3096.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. **Anais...** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2007.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5 ed., Uberlândia: EDUFU, 2003, 228p.

ROSA, R. Análise espacial em geografia. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 1, número especial, p. 275-289, out. 2011.

RUHOFF, A. L. Gerenciamento de Recursos Hídricos em Bacia Hidrográficas: Modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas. 93 f. **Dissertação** (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

RUHOFF, A. L.; et al. Modelagem Ambiental e dinâmica de uso e cobertura da terra na Bacia do Arroio Grande. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil; **Anais...** 2005, INPE, p. 3293-3300.

SERRATO, J; et al. Comparación del modelo markoviano y de regresión para predicción de cambios en el uso y cobertura del suelo en la zona central del Departamento del Meta-Colombia. **Anais XV** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil, 30 de abril a 05 de maio 2011, INPE, p. 6532-6529.

SCHULTZ, R. E. de O.. Inteligência Computacional Aplicada à Predição Espaço-Temporal. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Curitiba, 2007.

SKOLE, D. L. Data on global land-cover change: acquisition, assessment, and analysis. In: MEYER, B. W.; TURNER, L. B. (Org.). Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 537 p.

SOARES-FILHO, B. S. Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica. 299 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia de Transportes), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1998.

SOARES-FILHO, B. S. **Interpretação de Imagens da Terra** (apostila). UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Centro de Sensoriamento Remoto, 2000.

SOARES-FILHO, B. S. DINAMICA – Um software para simulação de dinâmica de paisagens. **Anais** do II Workshop em Tratamento de Imagens, NPDI/DCC/UFMG, 2001.

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.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA G. C.; C. L. PENNACHIN. DINAMICA—a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, 154, p. 217–235, 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; et al.. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. In: ALBERNAZ, A.L.; SILVA, J.M.C. da; VALERIANO, D. (Ed.) Ferramentas para modelagem da distribuição de espécies em ambientes tropicais (no prelo). Belém: Editora Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004.

SOARES-FILHO, B. S.; et al. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **MEGADIVERSIDADE**, Volume 3, Nº 1-2, Dezembro 2007.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. Modelagem de Dinâmica Ambiental com Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brazil, 2009.

SUERTEGARAY, D. M. A.. ESPAÇO GEOGRÁFICO UNO E MÚLTIPLO. **Scripta Nova** REVISTA ELECTRÓNICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES. Universidad de Barcelona ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98. Nº 93, 15 de julio de 2001

TEIXEIRA, A. M. DE G. Modelagem da dinâmica de uma paisagem do Planalto de Ibiúna (1962-2000) e inferências sobre a sua estrutura futura (2019). **Dissertação** (Mestrado em Biociências). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia, São Paulo: USP, 2005.

TORRES, D. R. Análise multitemporal do uso da terra e cobertura florestal com dados dos satélites Landsat e ALOS. 96 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

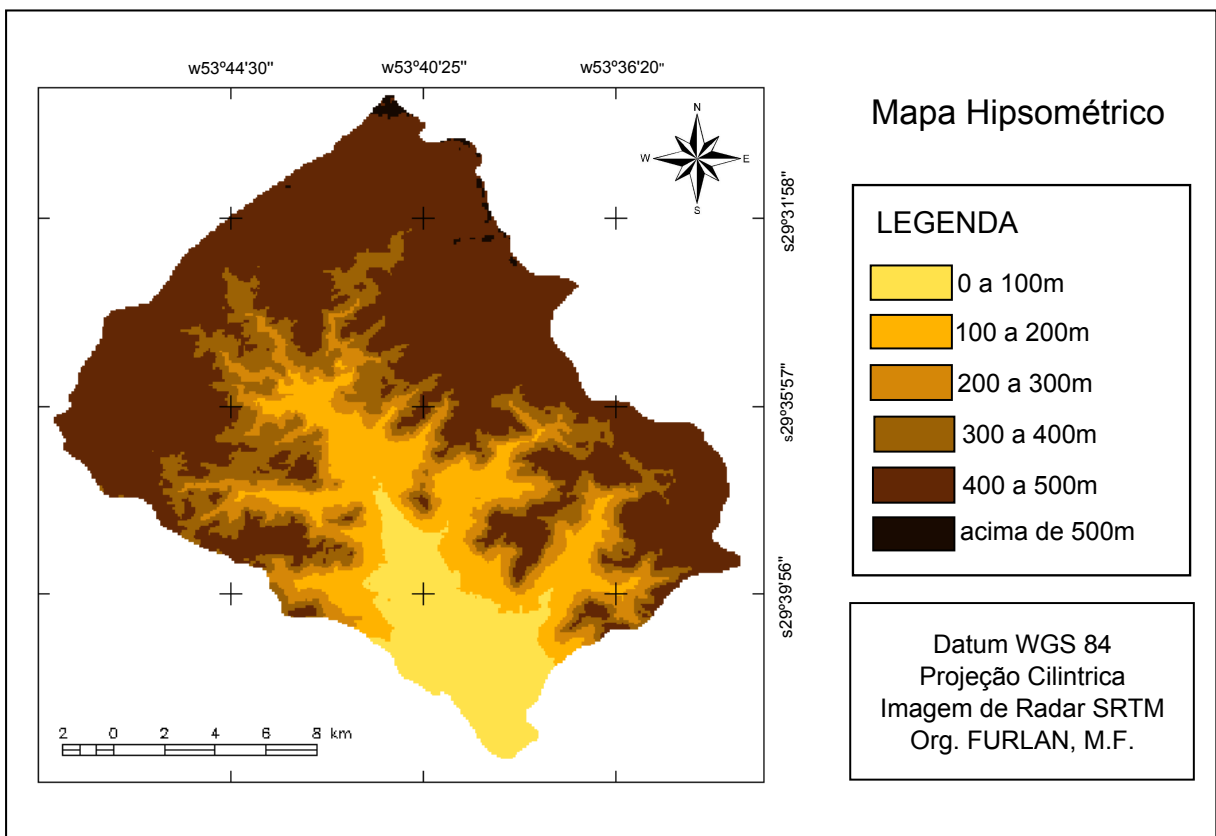
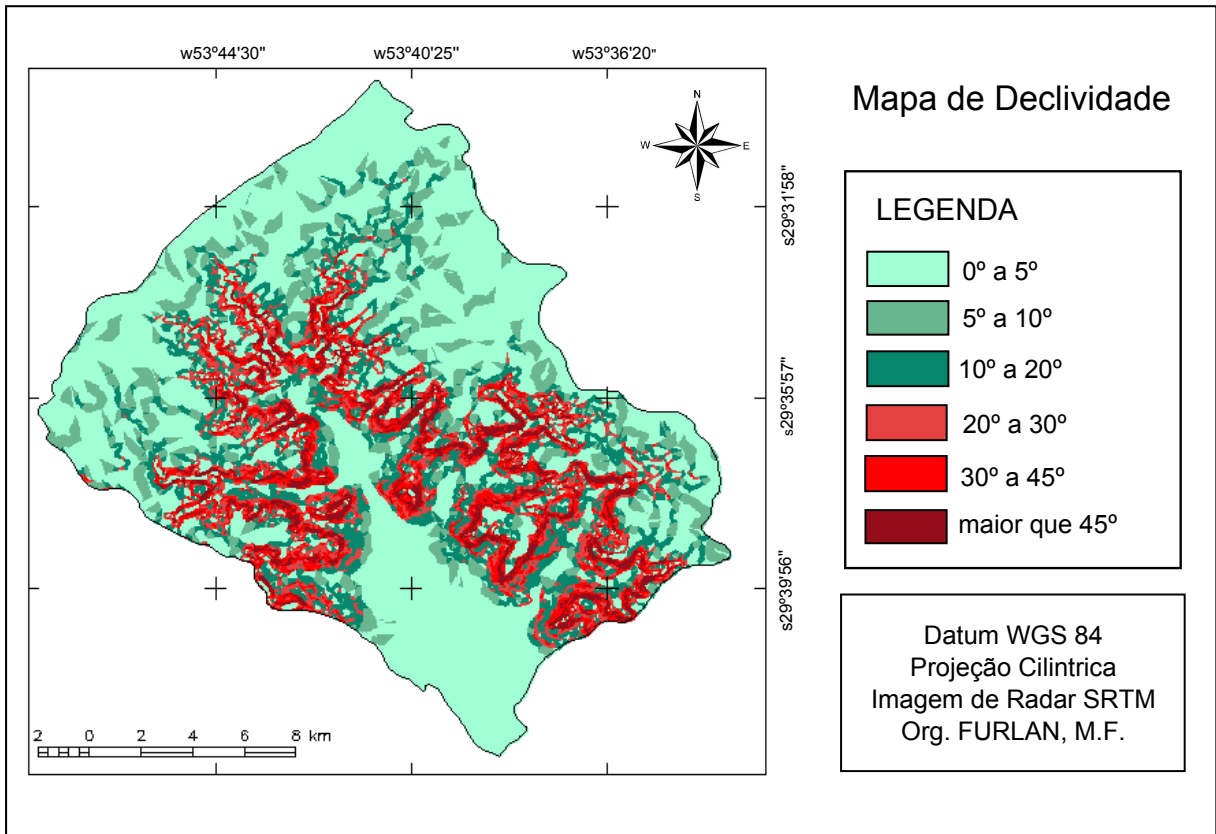
VERBURG, P. H.; et al. Land use change modelling: current practice and research priorities. **GeoJournal**, 61: 309–324, 2004.

VELDKAMP, A.; LAMBLIN, E.F. Agriculture, Ecosystems and Environment. Predicting land-use change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 85, p.1-6, 2001.

WHITE, R.; ENGELEN, G.; ULJEE, I. 2000. "Modeling Land use Change with Linked Cellular Automata and Socio-economic Models: A Tool for Exploring the Impact of

Climate Change on the Island of St. Lucia". Pp. 189-204 in: M. Hill and R. Aspinall (eds.), **Spatial Information for Land Use Management**, Gordon and Breach, Newark, New Jersey, U.S.A.

Apêndice A. Mapa de declividade e mapa hipsométrico da bacia do Arroio Grande - RS.

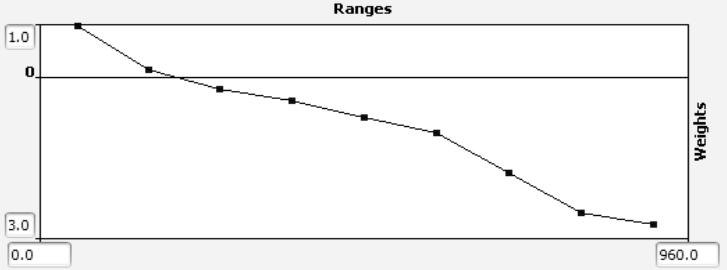
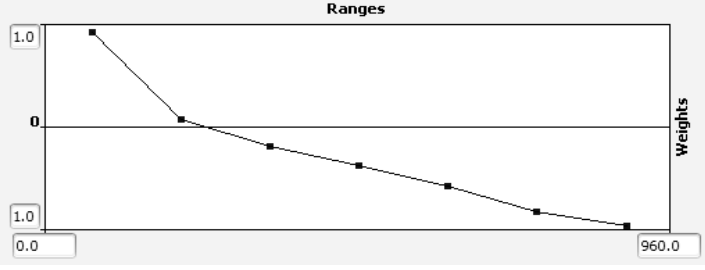
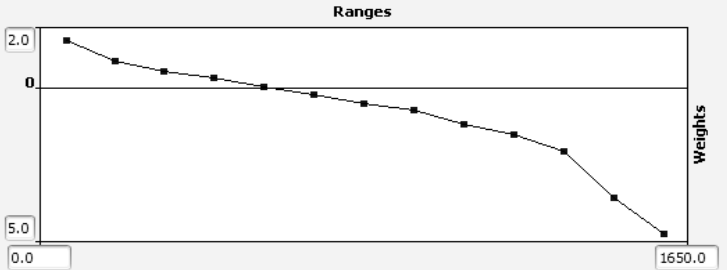
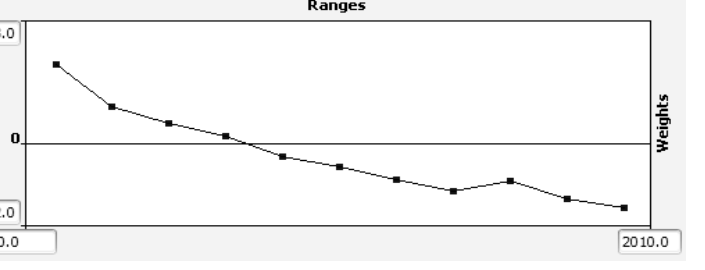
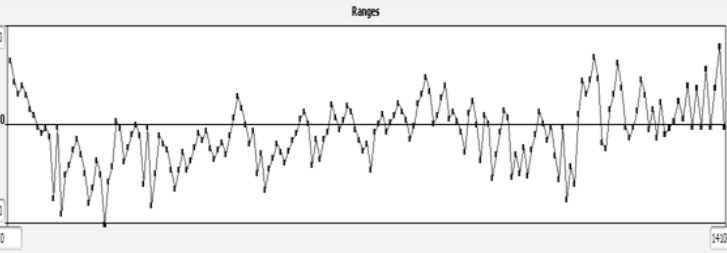
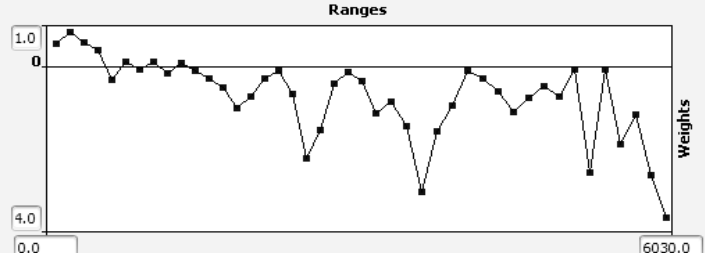


Apêndice B. Gráficos dos Pesos de Evidência de cada variável utilizada em todas as transições consideradas para os períodos analisados (1991-2002 e 2002-2011).

Transição	Período	
Floresta para Campo		
Variáveis Dinâmicas	1991 -2002	2002 -2011
Distância para Campo		
Distância para Uso agrícola		
Distância para Lâminas d'água		

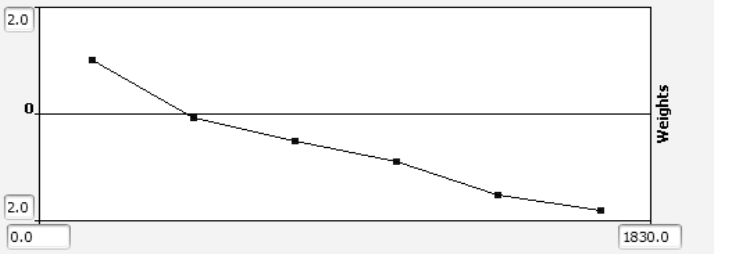
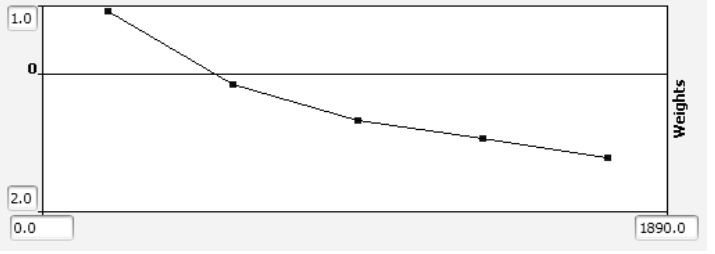
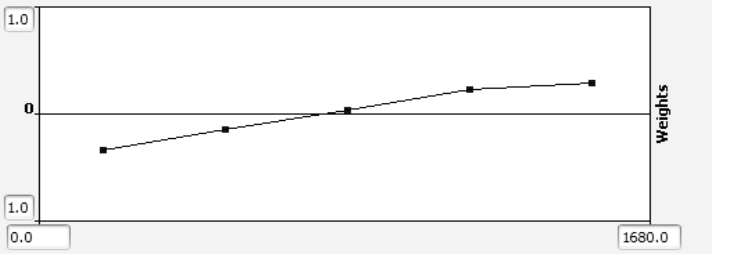
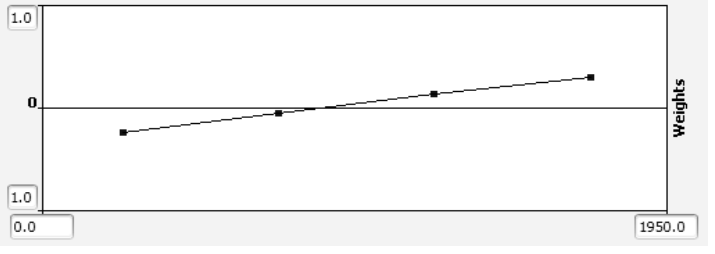
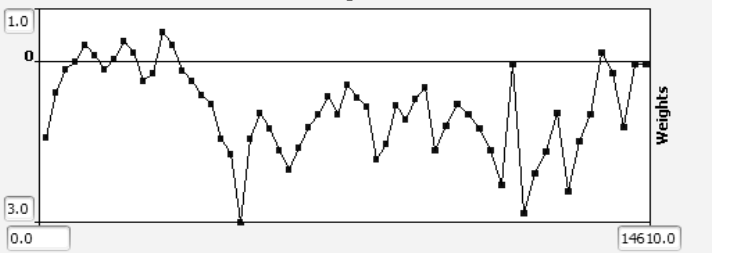
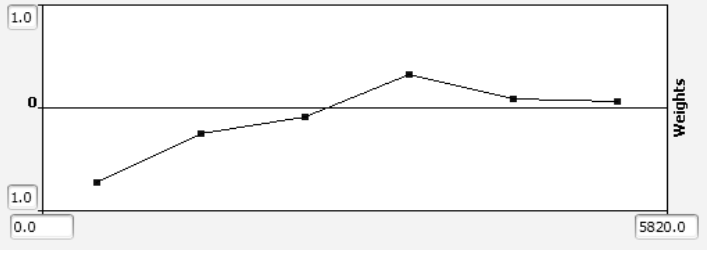
Transição Florestas para Campo	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	2002-2011
Distância para a sede do distrito de Arroio Grande		
Distância para sede do município de Itaara		
Distância para sede do município de Silveira Martins		

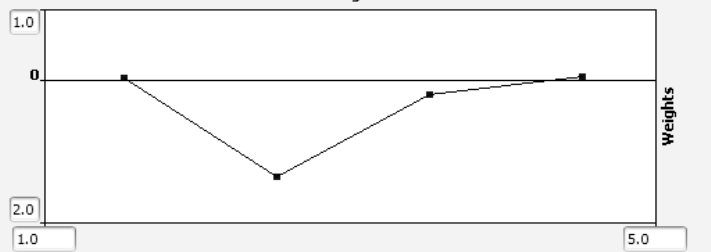
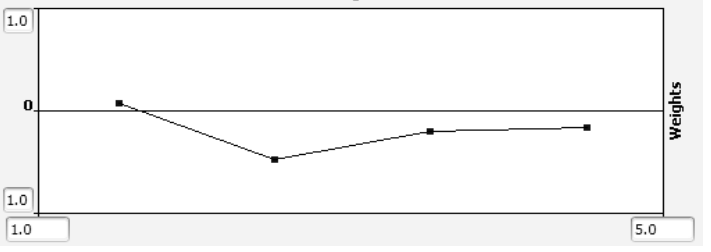
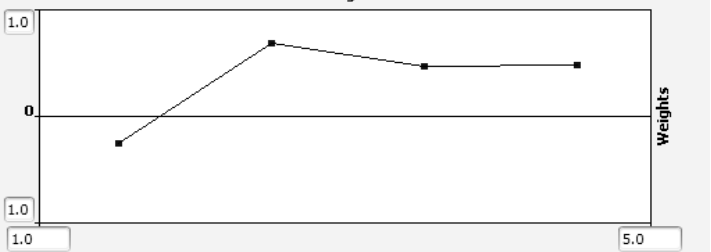
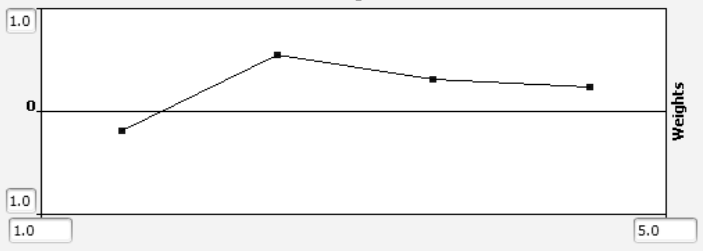
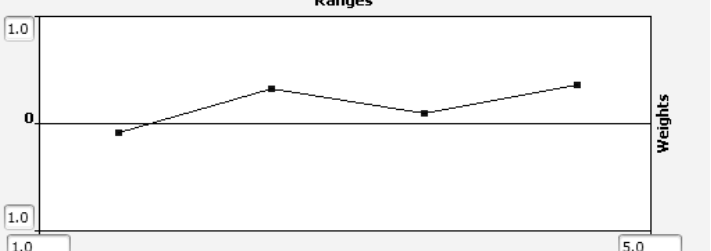
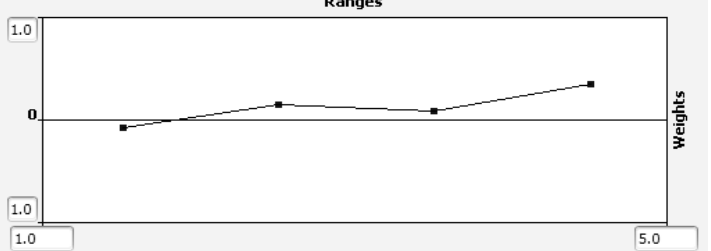
Transição Florestas para Campo	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	2002-2011
Distância para Declividade	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância para Estradas Principais	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância para Rede de drenagem	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>

Transição Florestas para Uso agrícola	Período	
Variáveis Dinâmicas	1991 -2002	2002 -2011
Distância para Campo		
Distância para Uso agrícola		
Distância para Lâminas d'água		

Transição Florestas para Uso agrícola	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	2002-2011
Distância para a sede do distrito de Arroio Grande	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância para sede do município de Itaara	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância para sede do município de Silveira Martins	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>

Transição Florestas para Uso agrícola	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	2002-2011
Distância para Declividade		
Distância para Estradas Principais		
Distância para Rede de drenagem		

Transição Campos para Florestas	Período	
Variáveis Dinâmicas	1991 -2002	2002 -2011
Distância Florestas para	 <p>Ranges</p> <p>Weights</p> <p>1830.0</p>	 <p>Ranges</p> <p>Weights</p> <p>1890.0</p>
Distância para Uso agrícola	 <p>Ranges</p> <p>Weights</p> <p>1680.0</p>	 <p>Ranges</p> <p>Weights</p> <p>1950.0</p>
Distância para Lâminas d'água	 <p>Ranges</p> <p>Weights</p> <p>14610.0</p>	 <p>Ranges</p> <p>Weights</p> <p>5820.0</p>

Transição Campos para Florestas	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	1991 -2002
Distância para a sede do distrito de Arroio Grande		
Distância para sede do município de Itaara		
Distância para sede do município de Silveira Martins		

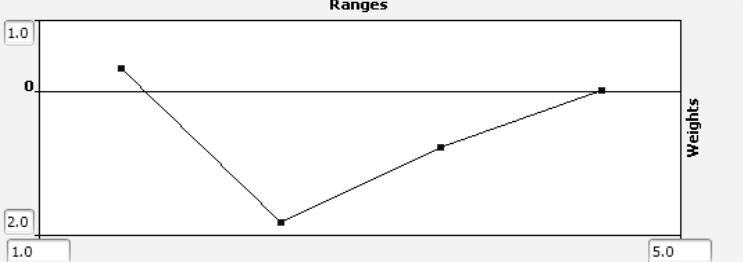
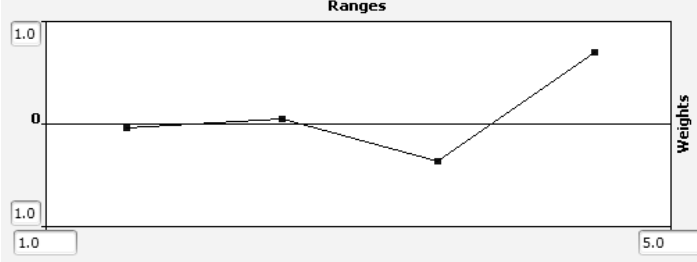
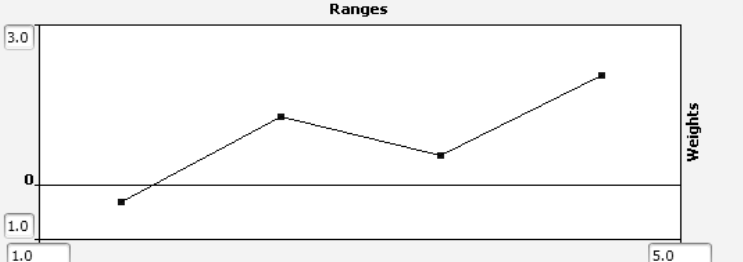
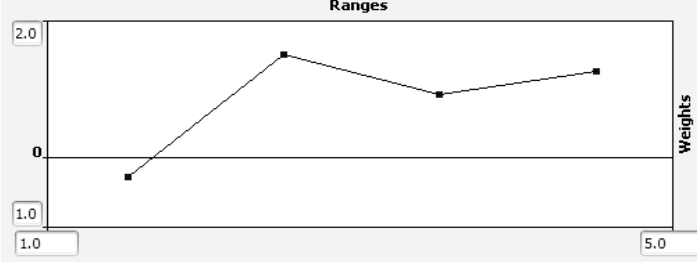
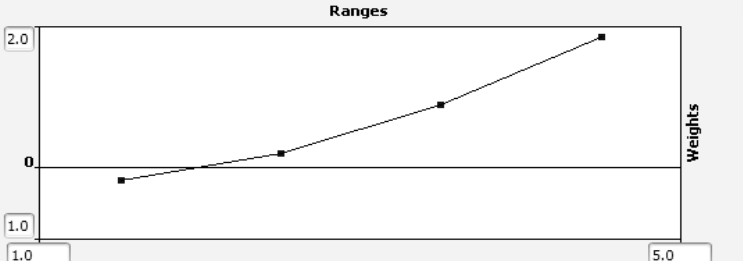
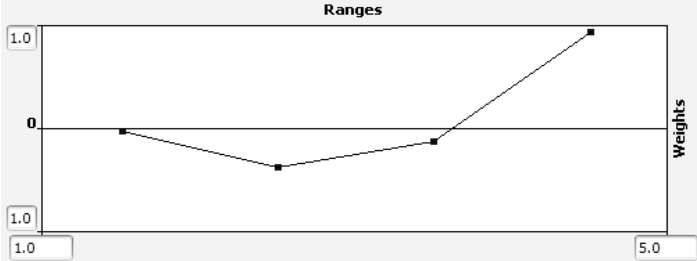
Transição Campos para Florestas	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	1991 -2002
Distância para Declividade	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância para Estradas Principais	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância para Rede de drenagem	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>

Transição Campos para Uso agrícola	Período	
Variáveis Dinâmicas	1991 -2002	2002 -2011
Distância Florestas para		
Distância Campos para		
Distância Lâminas d'água para		

Transição Campos para Uso agrícola	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	2002-2011
Distância para a sede do distrito de Arroio Grande	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância para sede do município de Itaara	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância para sede do município de Silveira Martins	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>

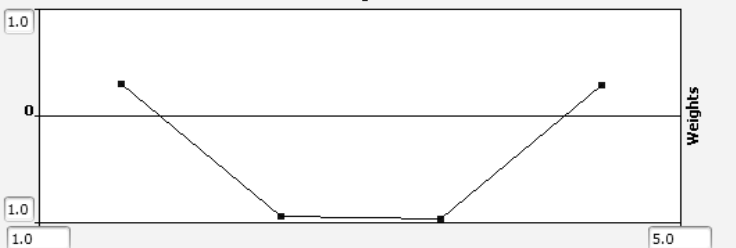
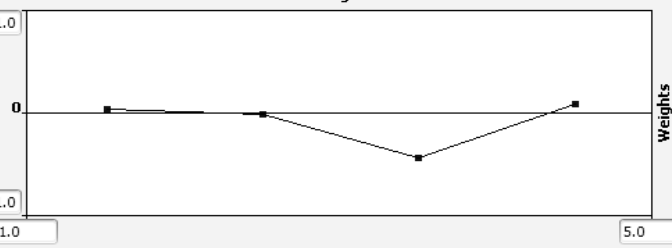
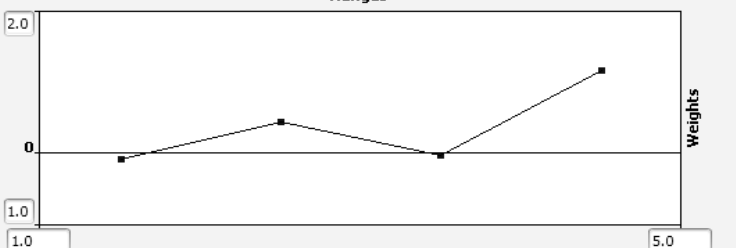
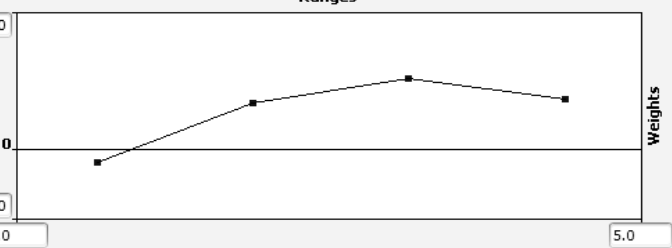
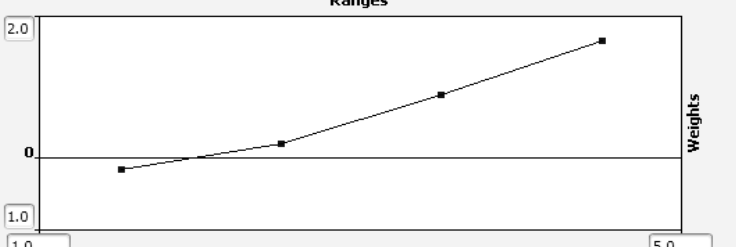
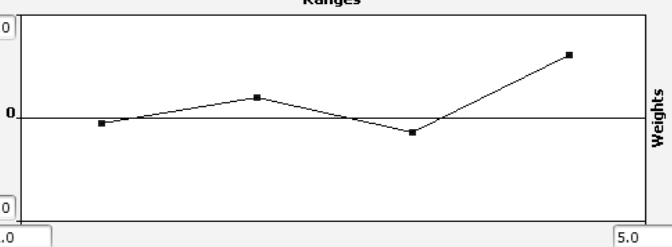
Transição Campos para Uso agrícola	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	1991 -2002
Distância para Declividade		
Distância para Estradas Principais		
Distância para Rede de drenagem		

Transição Uso agrícola Para Florestas	Período	
Variáveis Dinâmicas	1991 -2002	2002 -2011
Distância Florestas para		
Distância Campos para		
Distância Lâminas d'água para		

Transição Uso agrícola Para Florestas	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	2002-2011
Distância para a sede do distrito de Arroio Grande		
Distância para sede do município de Itaara		
Distância para sede do município de Silveira Martins		

Transição Uso agrícola Para Florestas	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	1991 -2002
Distância para Declividade		
Distância para Estradas Principais		
Distância para Rede de drenagem		

Transição Uso agrícola Para Campos	Período	
Variáveis Dinâmicas	1991 -2002	2002 -2011
Distância Florestas para	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância Campos para	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>
Distância Lâminas d'água para	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>	<p>Ranges</p> <p>Weights</p>

Transição Uso agrícola Para Campos	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	1991 -2002
Distância para a sede do distrito de Arroio Grande		
Distância para sede do município de Itaara		
Distância para sede do município de Silveira Martins		

Transição Uso agrícola Para Campos	Período	
Variáveis Estáticas	1991 -2002	2002 -2011
Distância para Declividade		
Distância para Estradas Principais		
Distância para Rede de drenagem		

Apêndice C. Programação em LEGAL para mapas de transição de uso e cobertura da terra.

Programação em LEGAL – Transição 1991-2002

```

{
//Avaliacao das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra
//Declaracoes
Tematico LS1991 ("LandUseCover");
Tematico LS2002 ("LandUseCover");
Tematico LEGAL ("LEGAL");

//RecuperarPI's
LS1991 = Recupere (Nome= "LS_1991");
LS2002 = Recupere (Nome= "LS_2002");

//Cria cruzamento entre PI's
LEGAL= Novo (Nome = "Cruzamento_91-2002", ResX=30, ResY=30, Escala =
60000);

//Cria Tabela de Conflitos Ambientais pelo Uso da Terra
LEGAL= Atribua
{
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS1991.Classe == "Agricultura" && LS2002.Classe
== "Agricultura"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS1991.Classe == "Agricultura" && LS2002.Classe
== "Agricultura_Irrigada"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS1991.Classe == "Agricultura" && LS2002.Classe
== "Solos_Expostos"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS1991.Classe == "Agricultura_Irrigada" &&
LS2002.Classe == "Agricultura"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS1991.Classe == "Agricultura_Irrigada" &&
LS2002.Classe == "Agricultura_Irrigada"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS1991.Classe == "Agricultura_Irrigada" &&
LS2002.Classe == "Solos_Expostos"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS1991.Classe == "Solos_Expostos" &&
LS2002.Classe == "Agricultura"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS1991.Classe == "Solos_Expostos" &&
LS2002.Classe == "Agricultura_Irrigada"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS1991.Classe == "Solos_Expostos" &&
LS2002.Classe == "Solos_Expostos"),

"ManutencaoFLORESTA": (LS1991.Classe == "Florestas" && LS2002.Classe ==
"Florestas"),
"ManutencaoCAMPOS": (LS1991.Classe == "Campos" && LS2002.Classe ==
"Campos"),

"AGRICULTURA_CAMPOS" : (LS1991.Classe == "Agricultura" && LS2002.Classe
== "Campos"),

```

"AGRICULTURA_CAMPOS" : (LS1991.Classe == "Agricultura_Irigada" && LS2002.Classe == "Campos"),
 "AGRICULTURA_CAMPOS" : (LS1991.Classe == "Solos_Expostos" && LS2002.Classe == "Campos"),

"AGRICULTURA_FLORESTA" : (LS1991.Classe == "Agricultura" && LS2002.Classe == "Florestas"),
 "AGRICULTURA_FLORESTA" : (LS1991.Classe == "Agricultura_Irigada" && LS2002.Classe == "Florestas"),
 "AGRICULTURA_FLORESTA" : (LS1991.Classe == "Solos_Expostos" && LS2002.Classe == "Florestas"),

"CAMPOS_AGRICULTURA" : (LS1991.Classe == "Campos" && LS2002.Classe == "Agricultura"),
 "CAMPOS_AGRICULTURA" : (LS1991.Classe == "Campos" && LS2002.Classe == "Agricultura_Irigada"),
 "CAMPOS_AGRICULTURA" : (LS1991.Classe == "Campos" && LS2002.Classe == "Solos_Expostos"),

"CAMPOS_FLORESTA" : (LS1991.Classe == "Campos" && LS2002.Classe == "Florestas"),

"FLORESTA_AGRICULTURA" : (LS1991.Classe == "Florestas" && LS2002.Classe == "Agricultura"),
 "FLORESTA_AGRICULTURA" : (LS1991.Classe == "Florestas" && LS2002.Classe == "Agricultura_Irigada"),
 "FLORESTA_AGRICULTURA" : (LS1991.Classe == "Florestas" && LS2002.Classe == "Solos_Expostos"),

"FLORESTA_CAMPOS" : (LS1991.Classe == "Florestas" && LS2002.Classe == "Campos"),

"Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Lamina_Agua" && LS2002.Classe == "Lamina_Agua"),
 "Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Lamina_Agua" && LS2002.Classe == "Agricultura"),
 "Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Lamina_Agua" && LS2002.Classe == "Agricultura_Irigada"),
 "Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Lamina_Agua" && LS2002.Classe == "Solos_Expostos"),
 "Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Lamina_Agua" && LS2002.Classe == "Florestas"),
 "Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Lamina_Agua" && LS2002.Classe == "Campos"),
 "Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Agricultura" && LS2002.Classe == "Lamina_Agua"),
 "Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Agricultura_Irigada" && LS2002.Classe == "Lamina_Agua"),
 "Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Solos_Expostos" && LS2002.Classe == "Lamina_Agua"),

```
"Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Florestas" && LS2002.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Lamina_Agua" : (LS1991.Classe == "Campos" && LS2002.Classe ==
"Lamina_Agua");
}
```

Programação em LEGAL – Transição 2002-2011

```
{
//Avaliacao das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra
//Declaracoes
Tematico LS2002 ("LandUseCover");
Tematico LS2011 ("LandUseCover");
Tematico LEGAL ("LEGAL");

//RecuperarPI's
LS2002 = Recupere (Nome= "LS_2002");
LS2011 = Recupere (Nome= "LS_2011");

//Cria cruzamento entre PI's
LEGAL= Novo (Nome = "Cruzamento_02-2011", ResX=30, ResY=30, Escala =
60000);

//Cria Tabela de Conflitos Ambientais pelo Uso da Terra
LEGAL= Atribua
{
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2002.Classe == "Agricultura" && LS2011.Classe
== "Agricultura"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2002.Classe == "Agricultura" && LS2011.Classe
== "Agricultura_Irrigada"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2002.Classe == "Agricultura" && LS2011.Classe
== "Solos_Expostos"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2002.Classe == "Agricultura_Irrigada" &&
LS2011.Classe == "Agricultura"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2002.Classe == "Agricultura_Irrigada" &&
LS2011.Classe == "Agricultura_Irrigada"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2002.Classe == "Agricultura_Irrigada" &&
LS2011.Classe == "Solos_Expostos"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2002.Classe == "Solos_Expostos" &&
LS2011.Classe == "Agricultura"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2002.Classe == "Solos_Expostos" &&
LS2011.Classe == "Agricultura_Irrigada"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2002.Classe == "Solos_Expostos" &&
LS2011.Classe == "Solos_Expostos"),

"ManutencaoFLORESTA": (LS2002.Classe == "Florestas" && LS2011.Classe ==
"Florestas"),
"ManutencaoCAMPOS": (LS2002.Classe == "Campos" && LS2011.Classe ==
"Campos"),
```


"AGRICULTURA_CAMPOS" : (LS2002.Classe == "Agricultura" && LS2011.Classe == "Campos"),
 "AGRICULTURA_CAMPOS" : (LS2002.Classe == "Agricultura_Irrigada" && LS2011.Classe == "Campos"),
 "AGRICULTURA_CAMPOS" : (LS2002.Classe == "Solos_Expostos" && LS2011.Classe == "Campos"),

"AGRICULTURA_FLORESTA" : (LS2002.Classe == "Agricultura" && LS2011.Classe == "Florestas"),
 "AGRICULTURA_FLORESTA" : (LS2002.Classe == "Agricultura_Irrigada" && LS2011.Classe == "Florestas"),
 "AGRICULTURA_FLORESTA" : (LS2002.Classe == "Solos_Expostos" && LS2011.Classe == "Florestas"),

"CAMPOS_AGRICULTURA" : (LS2002.Classe == "Campos" && LS2011.Classe == "Agricultura"),
 "CAMPOS_AGRICULTURA" : (LS2002.Classe == "Campos" && LS2011.Classe == "Agricultura_Irrigada"),
 "CAMPOS_AGRICULTURA" : (LS2002.Classe == "Campos" && LS2011.Classe == "Solos_Expostos"),

"CAMPOS_FLORESTA" : (LS2002.Classe == "Campos" && LS2011.Classe == "Florestas"),

"FLORESTA_AGRICULTURA" : (LS2002.Classe == "Florestas" && LS2011.Classe == "Agricultura"),
 "FLORESTA_AGRICULTURA" : (LS2002.Classe == "Florestas" && LS2011.Classe == "Agricultura_Irrigada"),
 "FLORESTA_AGRICULTURA" : (LS2002.Classe == "Florestas" && LS2011.Classe == "Solos_Expostos"),

"FLORESTA_CAMPOS" : (LS2002.Classe == "Florestas" && LS2011.Classe == "Campos"),

"Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Lamina_Agua" && LS2011.Classe == "Lamina_Agua"),
 "Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Lamina_Agua" && LS2011.Classe == "Agricultura"),
 "Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Lamina_Agua" && LS2011.Classe == "Agricultura_Irrigada"),
 "Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Lamina_Agua" && LS2011.Classe == "Solos_Expostos"),
 "Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Lamina_Agua" && LS2011.Classe == "Florestas"),
 "Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Lamina_Agua" && LS2011.Classe == "Campos"),
 "Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Agricultura" && LS2011.Classe == "Lamina_Agua"),

```

"Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Agricultura_Irigada" && LS2011.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Solos_Expostos" && LS2011.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Florestas" && LS2011.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Lamina_Agua" : (LS2002.Classe == "Campos" && LS2011.Classe ==
"Lamina_Agua"));
}

```

Programação em LEGAL – Transição 2011-2020

```

{
//Avaliacao das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra
//Declaracoes
Tematico LS2011 ("LandUseCover");
Tematico LS2020 ("LandUseCover");
Tematico LEGAL ("LEGAL");

//RecuperarPI's
LS2011 = Recupere (Nome= "LS_2011");
LS2020 = Recupere (Nome= "marco_2020_class-T");

//Cria cruzamento entre PI's
LEGAL= Novo (Nome = "Cruzamento_2011-2020_MARCO", ResX=30, ResY=30,
Escala =
60000);
//Cria Tabela de Conflitos Ambientais pelo Uso da Terra
LEGAL= Atribua
{
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2011.Classe == "Agricultura" && LS2020.Classe
== "Agricultura"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2011.Classe == "Agricultura_Irigada" &&
LS2020.Classe == "Agricultura"),
"ManutencaoAGRICULTURA": (LS2011.Classe == "Solos_Expostos" &&
LS2020.Classe == "Agricultura"),

"ManutencaoFLORESTA": (LS2011.Classe == "Florestas" && LS2020.Classe ==
"Florestas"),
"ManutencaoCAMPOS": (LS2011.Classe == "Campos" && LS2020.Classe ==
"Campos"),

"AGRICULTURA_CAMPOS" : (LS2011.Classe == "Agricultura" && LS2020.Classe
== "Campos"),
"AGRICULTURA_CAMPOS" : (LS2011.Classe == "Agricultura_Irigada" &&
LS2020.Classe == "Campos"),
"AGRICULTURA_CAMPOS" : (LS2011.Classe == "Solos_Expostos" &&
LS2020.Classe == "Campos"),

```

```

"AGRICULTURA_FLORESTA" : (LS2011.Classe == "Agricultura" && LS2020.Classe
== "Florestas"),
"AGRICULTURA_FLORESTA" : (LS2011.Classe == "Agricultura_Irrigada" &&
LS2020.Classe == "Florestas"),
"AGRICULTURA_FLORESTA" : (LS2011.Classe == "Solos_Expostos" &&
LS2020.Classe == "Florestas"),

"CAMPOS_AGRICULTURA" : (LS2011.Classe == "Campos" && LS2020.Classe ==
"Agricultura"),
"CAMPOS_FLORESTA" : (LS2011.Classe == "Campos" && LS2020.Classe ==
"Florestas"),

"FLORESTA_AGRICULTURA" : (LS2011.Classe == "Florestas" && LS2020.Classe
== "Agricultura"),

"FLORESTA_CAMPOS" : (LS2011.Classe == "Florestas" && LS2020.Classe ==
"Campos"),

"Lamina_Agua" : (LS2011.Classe == "Lamina_Agua" && LS2020.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Lamina_Agua" : (LS2011.Classe == "Lamina_Agua" && LS2020.Classe ==
"Agricultura"),
"Lamina_Agua" : (LS2011.Classe == "Lamina_Agua" && LS2020.Classe ==
"Florestas"),
"Lamina_Agua" : (LS2011.Classe == "Lamina_Agua" && LS2020.Classe ==
"Campos"),
"Lamina_Agua" : (LS2011.Classe == "Agricultura" && LS2020.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Lamina_Agua" : (LS2011.Classe == "Agricultura_Irrigada" && LS2020.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Lamina_Agua" : (LS2011.Classe == "Solos_Expostos" && LS2020.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Lamina_Agua" : (LS2011.Classe == "Florestas" && LS2020.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Lamina_Agua" : (LS2011.Classe == "Campos" && LS2020.Classe ==
"Lamina_Agua"));
}

```

Anexo I. Gráficos das áreas cultivadas e da produção em toneladas de soja e arroz no Rio Grande do Sul e no Brasil.

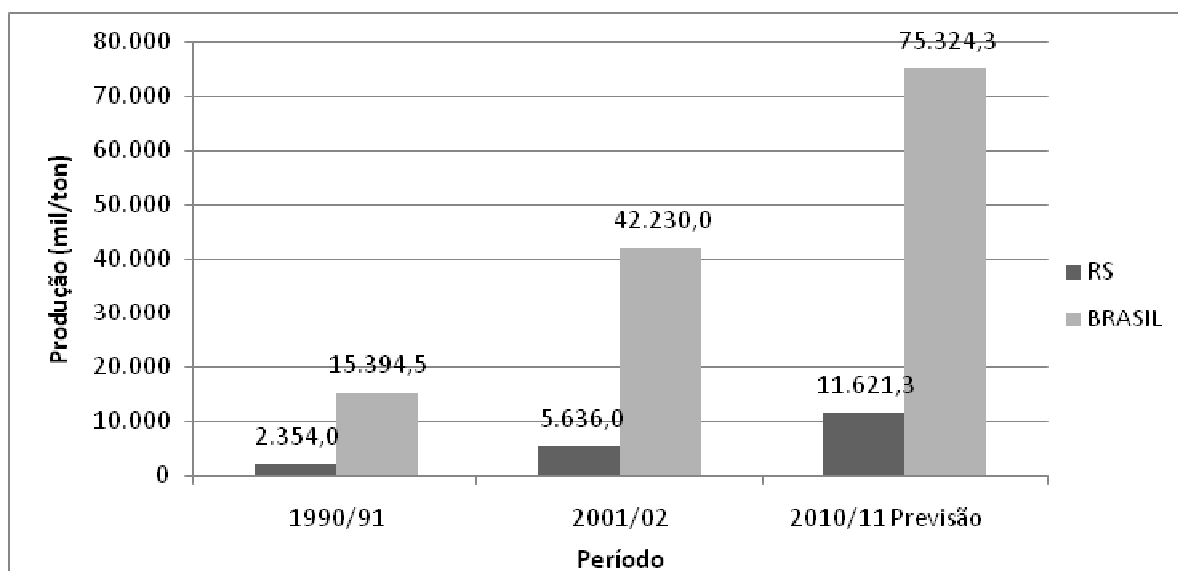


Figura 29. Gráfico produção de soja (mil toneladas) no Rio Grande do Sul e Brasil para as safras de 1990/91, 2001/02 e 2010/11. Org.: FURLAN, M.F. Fonte: CONAB.

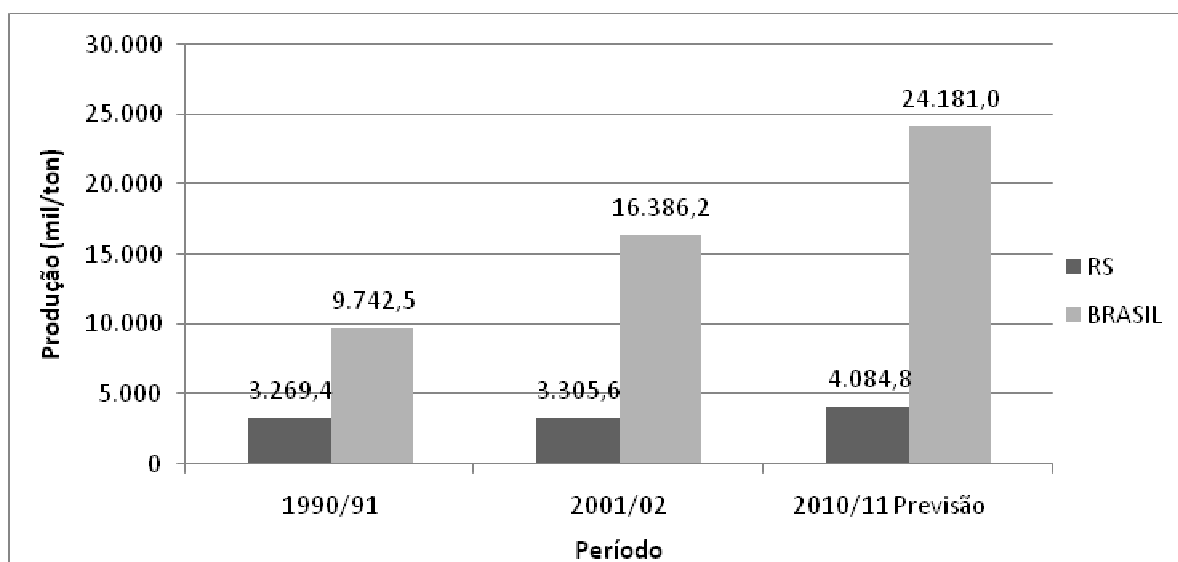


Figura 30. Gráfico da área plantada de soja no Rio Grande do Sul e Brasil para as safras de 1990/91, 2001/02 e 2010/11. Org.: FURLAN, M.F. Fonte: CONAB.

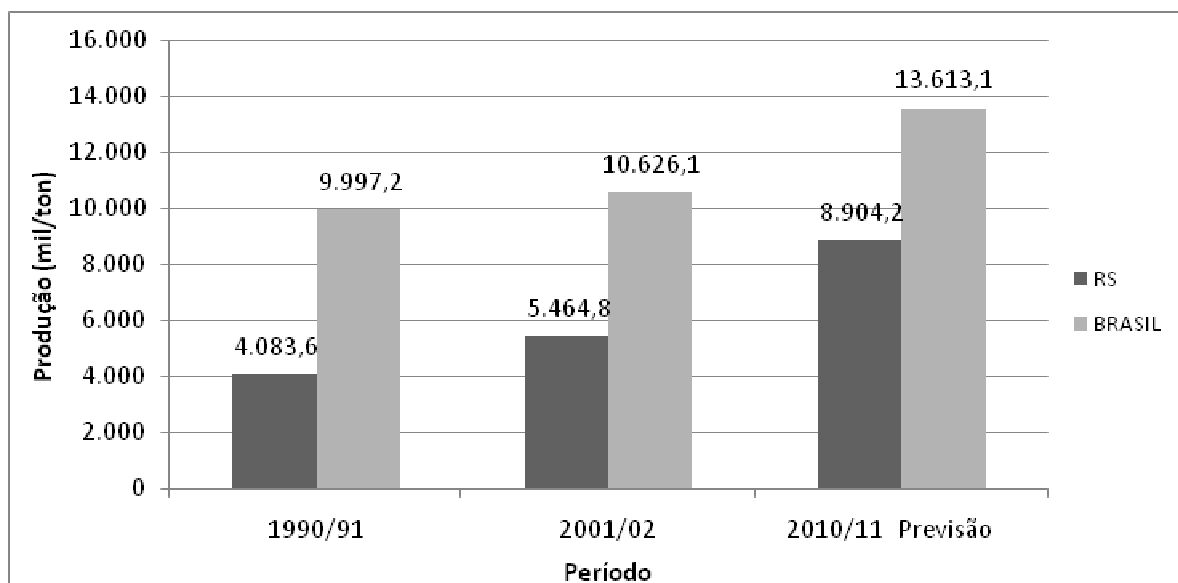


Figura 31. Gráfico da produção (mil toneladas) de Arroz no Rio Grande do Sul e Brasil para as safras de 1990/91, 2001/02 e 2010/11. Org.: FURLAN, M.F. Fonte: CONAB.

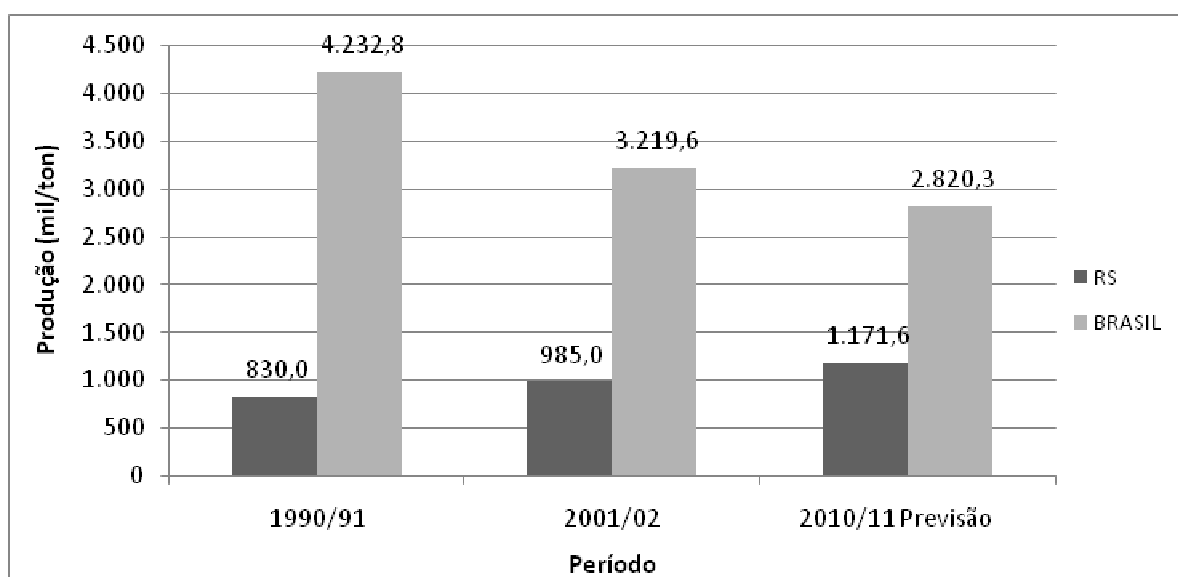


Figura 32. Gráfico da área plantada de arroz no Rio Grande do Sul e Brasil para as safras de 1990/91, 2001/02 e 2010/11. Org.: FURLAN, M.F. Fonte: CONAB.

Anexo II. Tabela da área plantada e quantidade produzida da lavoura temporária.

Tabela 1612 - Área plantada e quantidade produzida da lavoura temporária							
Brasil, Unidade da Federação e Município	Lavoura temporária	Variável X Ano					
		Área plantada (Hectares)			Quantidade produzida (Toneladas)		
		1991	2002	2010	1991	2002	2010
Brasil	Amendoim (em casca)	89.420	97.125	94.670	140.548	195.284	261.455
	Arroz (em casca)	4.224.316	3.171.955	2.778.173	9.488.007	10.445.986	11.235.986
	Aveia (em grão)	274.166	264.438	173.455	230.423	298.686	395.056
	Batata-inglesa	162.232	161.139	145.682	2.267.035	3.126.411	3.547.510
	Cana-de-açúcar	4.241.352	5.206.656	9.164.756	260.887.893	364.389.416	717.462.101
	Cebola	77.182	69.024	70.464	887.728	1.222.124	1.753.311
	Feijão (em grão)	5.679.728	4.321.809	3.655.538	2.744.711	3.064.228	3.158.905
	Fumo (em folha)	287.330	344.798	450.076	413.831	670.309	787.617
	Mandioca	1.968.801	1.747.147	1.812.183	24.537.505	23.148.303	24.524.318
	Milho (em grão)	13.580.647	12.304.986	12.967.620	23.624.340	35.940.832	55.394.801
	Soja (em grão)	9.667.625	16.376.035	23.339.094	14.937.806	42.107.618	68.756.343
	Tomate	61.039	62.647	68.086	2.343.811	3.652.923	4.114.312
	Trigo (em grão)	2.064.561	2.151.831	2.182.667	2.916.823	3.105.658	6.171.250
Rio Grande do Sul	Amendoim (em casca)	4.988	5.085	4.118	4.322	7.030	6.530
	Arroz (em casca)	815.121	983.178	1.101.311	3.809.459	5.486.333	6.875.077
	Aveia (em grão)	186.857	55.698	98.012	136.976	85.279	220.370
	Batata-inglesa	45.927	35.938	21.447	323.460	384.115	367.406
	Cana-de-açúcar	32.025	33.002	35.970	849.840	1.075.300	1.503.000

	Cebola	17.363	14.055	11.130	110.901	162.344	180.186
	Feijão (em grão)	229.350	167.077	103.610	99.453	146.063	112.510
	Fumo (em folha)	123.183	165.213	220.512	186.568	339.832	343.482
	Mandioca	112.485	84.717	81.714	1.509.924	1.275.913	1.303.655
	Milho (em grão)	1.860.768	1.464.836	1.151.397	2.046.555	3.901.171	5.633.912
	Soja (em grão)	3.132.322	3.307.252	4.021.778	2.220.502	5.610.518	10.480.026
	Tomate	2.873	2.735	2.368	56.555	102.156	104.028
	Trigo (em grão)	624.923	800.307	787.480	682.684	1.126.524	2.116.952
Itaara - RS	Amendoim (em casca)	-	-	-	-	-	-
	Arroz (em casca)	-	-	-	-	-	-
	Aveia (em grão)	-	20	-	-	28	-
	Batata-inglesa	-	95	100	-	1.633	2.200
	Cana-de-açúcar	-	6	10	-	360	600
	Cebola	-	2	-	-	24	-
	Feijão (em grão)	-	180	250	-	346	369
	Fumo (em folha)	-	2	-	-	5	-
	Mandioca	-	30	15	-	360	180
	Milho (em grão)	-	600	400	-	2.664	2.160
	Soja (em grão)	-	1.600	2.400	-	4.512	7.488
	Tomate	-	2	5	-	80	300
	Trigo (em grão)	-	250	560	-	345	1.814
Júlio de Castilhos - RS	Amendoim (em casca)	6	3	4	3	4	5
	Arroz (em casca)	650	120	10	743	310	27

	Aveia (em grão)	5.000	500	-	3.000	300	-
	Batata-inglesa	600	400	140	4.400	6.000	3.290
	Cana-de-açúcar	60	25	25	1.200	500	875
	Cebola	30	8	5	120	96	60
	Feijão (em grão)	1.480	550	700	788	660	762
	Fumo (em folha)	650	90	70	439	117	63
	Mandioca	500	40	300	20.000	1.200	9.000
	Milho (em grão)	7.500	6.500	3.000	6.750	17.550	16.200
	Soja (em grão)	45.000	55.000	80.000	37.800	105.600	201.600
	Tomate	5	2	2	150	30	30
	Trigo (em grão)	2.300	9.900	10.000	2.990	11.880	27.000
Santa Maria - RS	Amendoim (em casca)	20	3	5	36	7	10
	Arroz (em casca)	6.500	8.640	8.490	32.500	48.300	46.182
	Aveia (em grão)	150	-	-	180	-	-
	Batata-inglesa	340	274	120	2.525	3.288	1.440
	Cana-de-açúcar	150	72	115	6.000	2.880	4.600
	Cebola	45	9	3	720	108	2
	Feijão (em grão)	900	20	325	378	18	326
	Fumo (em folha)	200	95	215	300	228	361
	Mandioca	3.750	1.800	740	45.000	21.600	8.880
	Milho (em grão)	13.720	2.600	2.600	21.466	7.020	7.280
	Soja (em grão)	8.500	9.750	26.000	7.395	23.400	57.502
	Tomate	25	10	10	375	618	75

	Trigo (em grão)	50	-	750	50	-	1.440
Silveira Martins - RS	Amendoim (em casca)	-	6	5	-	6	10
	Arroz (em casca)	10	5	-	6	10	-
	Aveia (em grão)	80	5	-	64	5	-
	Batata-inglesa	1.500	400	400	12.000	5.200	6.600
	Cana-de-açúcar	30	90	40	1.200	5.400	1.400
	Cebola	25	15	3	250	150	36
	Feijão (em grão)	155	260	400	117	372	570
	Fumo (em folha)	40	50	20	48	65	27
	Mandioca	30	50	5	360	1.500	75
	Milho (em grão)	700	800	600	630	2.880	1.800
	Soja (em grão)	240	1.200	2.300	216	2.880	7.360
	Tomate	3	4	3	30	260	150
	Trigo (em grão)	50	50	150	55	65	315

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal