

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**MODELAGEM DINÂMICA DO USO E COBERTURA
DA TERRA DA QUARTA COLÔNIA, RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Renata Ferrari

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**MODELAGEM DINÂMICA DO USO E COBERTURA
DA TERRA DA QUARTA COLÔNIA, RS**

por

Renata Ferrari

Dissertação apresentada no Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Sensoriamento Remoto, 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
2008**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

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

**MODELAGEM DINÂMICA DO USO e COBERTURA
DA TERRA DA QUARTA COLÔNIA, RS**

elaborada por
RENATA FERRARI

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA

**Rudiney Soares Pereira, Dr.
(Presidente/Orientador)**

Claudia Maria de Almeida, Dr^a. (INPE)

Enio Giotto Dr. (UFSM)

Santa Maria, 01 de dezembro de 2008.

Dedico essa dissertação à minha mãe Eleni, ao meu pai Geraldo, aos meus irmãos e ao meu esposo Cristiano.

“Que o MESTRE dos MESTRES” lhe ensine que nas falhas e lágrimas se esculpe a sabedoria.

“Que o MESTRE da SENSIBILIDADE” lhe ensine a ostentar as coisas simples e a navegar nas águas da emoção.

“Que o MESTRE da VIDA” lhe ensine a não ter medo de viver e a superar os momentos mais difíceis da sua história.

Augusto Cury

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente à Universidade Federal de Santa Maria e seu Programa de Pós-Graduação em Geomática, pela oportunidade proporcionada a minha formação acadêmica, pela infra-estrutura de apoio e conhecimento oferecidos.

Também gostaria de expressar meus agradecimentos ao meu orientador, Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira, pelo acompanhamento no processo de elaboração dessa dissertação, pela sua ajuda, paciência, seriedade e compreensão.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa que tornou economicamente viável a minha qualificação profissional e a elaboração dessa dissertação no primeiro ano de estudo.

A meus pais, Geraldo e Eleni, assim como meus irmãos Oscar e Roberta pelo apoio incansável, auxílio, ombros amigos nos momentos mais difíceis da minha vida acadêmica, assim como nos mais felizes.

Um agradecimento especial também para meus sogros, Neimar e Elida e minha cunhada Fernanda que sempre me apoiaram, me ajudaram em tudo que precisei e me deram coragem para enfrentar os desafios na busca por minhas conquistas.

Ao amor da minha vida, meu esposo Cristiano, para o qual envio todos os beijos do mundo, não simplesmente por me acompanhar em todos os momentos de minha vida, em toda a luta pela constituição dessa dissertação, mas porque o amo muito.

Profundos agradecimentos são endereçados a Dra. Claudia Maria de Almeida, professora do INPE, pela intensa orientação na operacionalização do modelo de simulação utilizado nesta dissertação, DINÂMICA EGO, assim como em toda a metodologia até se chegar com os dados nesse programa, auxílios indispensáveis para que eu conseguisse concluir essa pesquisa.

Gostaria de agradecer de forma especial a minha colega Ana Carolina Paim Benedetti por todo apoio operacional dessa dissertação, assim como seu ombro amigo em todos os momentos em que precisei.

Enfim a todos os demais que de alguma forma contribuíram, auxiliando-me tanto operacionalmente ou mentalmente para a elaboração deste Estudo.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

MODELAGEM DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA DA QUARTA COLÔNIA, RS

AUTORA: RENATA FERRARI
ORIENTADOR: RUDINEY SOARES PEREIRA
Santa Maria, 01 de dezembro de 2008

As questões de mudanças nos padrões de uso e cobertura da terra, ligadas às preocupações atuais da sustentabilidade do desenvolvimento e ao balanço adequado entre as questões sociais, econômicas e ambientais envolvidas, motivam pesquisas no campo da simulação de cenários em diversas regiões do mundo. Nesse contexto, a presente pesquisa pretende simular as tendências de evolução do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia/RS, para o ano de 2018, a partir de variáveis físicas; analisando as mudanças nos padrões de uso e cobertura da terra de 1988 a 2002 e de 2002 a 2008, espacializando-as e quantificando-as. Para tanto, foram classificados os padrões de uso e cobertura da terra em imagens dos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 7, referentes aos anos de 1988, 2002 e 2008, sendo os dois últimos mapas utilizados para a modelagem. A partir do cruzamento dos padrões de uso e cobertura da terra (floresta, campo, solo agrícola e água) entre si, em análise LEGAL, foram gerados mapas contendo as informações das mudanças evolutivas específicas de cada classe, inclusive das tendências individuais da simulação gerada para 2018, observando-se que não houve grandes mudanças. Os mapas de uso e cobertura da terra de 2002 e 2008 no Dinamica EGO possibilitaram a definição das probabilidades globais de transição do modelo markoviano, e as probabilidades locais de transição foram definidas pelo método probabilístico empírico – pesos de evidência, baseado no teorema da probabilidade condicional de Bayes. As probabilidades de mudança de uso e cobertura da terra obtida permitiram a constituição de um modelo de autômatos celulares, baseado em algoritmos de transição estocásticos, sendo que as variáveis físicas se mostraram ser colaboradoras desse processo de mudança de uso e cobertura da terra ao longo do tempo. Os resultados da simulação foram validados espacialmente em função de um embasamento do procedimento estatístico, baseado em lógica fuzzy, apresentando resultados satisfatórios da simulação.

Palavras-chave: Modelagem dinâmica do uso e cobertura da terra, modelo estocástico; Geomatica.

ABSTRACT

Master's Thesis
Graduation Program in Geomatics
Universidade Federal de Santa Maria

DYNAMIC MODELING OF LAND USE AND COVERAGE AT QUARTA COLÔNIA, RS

AUTHOR: RENATA FERRARI
ADVISER: RUDINEY SOARES PEREIRA
Santa Maria, December 1st, 2008.

The matter about the changes in land use and coverage patterns, connected to present time concerns on development sustainability and the adequate balance between social, economic and environmental questions involved in it, stimulate the research in the field of scenery simulation at several different regions of the world. In this context, the present research intends to simulate the land use and coverage evolution tendency at Quarta Colônia, RS, for the year 2018, from physical variables, analyzing the change on the land use and coverage in the period of 1988 to 2002 and 2008, spacing and quantifying them. To do so, the land use and coverage patterns were classified using images from the satellites LANDSAT 5 and LANDSAT 7 relative to the years 1988, 2002 and 2008, being the last two maps used for modeling. After performing the crossing of land use and coverage patterns (forest, field, agricultural soil and water) between each other, in a LEGAL analysis, we created maps containing the specific evolutionary changes of each class, including the individual tendencies from the simulation made for the year 2018. It was observe that there wasn't any big change. The maps of land use and coverage from 2002 and 2008 processed in the Dinamica EGO modeling platform enabled the definition of the Markov model global transition probabilities and, local transition probabilities were defined using the empiric probabilistic method – weight of evidence, based on Bayes conditional probability theorem. The change probabilities to land use and coverage obtained allowed the formation of a cell automata model based on stochastic transition algorithm where the physical variables demonstrated to be collaborator in this process of land use and coverage changes over time. The simulation results were validated specially due to a knowledge of the statistical procedure, the fuzzy method, demonstrating satisfactory results of the simulation.

Key words: Dynamic modeling of land use and land cover, stochastic model, Geomatics.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente <i>Kappa</i>	34
TABELA 2 - Áreas de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia/RS em ha	91
TABELA 3 - Classes de uso e cobertura da terra que contribuíram nas mudanças da classe floresta, ocorridas nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008	93
TABELA 4 - Classes de uso e cobertura da terra que contribuíram nas mudanças da classe campo, ocorridas nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008	95
TABELA 5 - Classes de uso e cobertura da terra que contribuíram nas mudanças da classe solo agrícola, ocorridas nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008	97
TABELA 6 - Classes de uso e cobertura da terra que contribuíram nas mudanças da classe água, ocorridas nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008	99
TABELA 7 - Matriz de transição do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia entre 2002 e 2008	100
TABELA 8 - Variáveis independentes das transições de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia: 2002-2008	101
TABELA 10 - Apresentação dos dados de análise exploratória de variáveis através do Índice Cramer e do “Índice de Incerteza de Informação Conjunta”	103
TABELA 12 - Resultado da Validação para distintos tamanhos de janela	105
TABELA 13 - Áreas evolutivas de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia/RS em ha	108
TABELA 14 - Mudanças previstas de 2008 a 2018 das classes de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia	109

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Variáveis Visuais	27
FIGURA 2 - Componentes de um Sistema de Informação Geográfica	37
FIGURA 3 - Localização da Quarta Colônia.....	55
FIGURA 4 - Página da internet acessada em Julho de 2006	62
FIGURA 5 - Seleção e pedidos das imagens	62
FIGURA 6 - Cenas do satélite LANDSAT, utilizadas para a classificação do uso e cobertura da terra nos anos de 1988, 2002 e 2008.....	63
FIGURA 7 - Manipulação de contraste em imagem de satélite LANDSAT	64
FIGURA 8 - Chave de interpretação – imagem LANDSAT 345	65
FIGURA 9 - Exemplos de amostras digitalizadas.....	68
FIGURA 10 - Visualização no IDRISI da conversão da paleta de cores da legenda dos mapas.....	73
FIGURA 11 - Visualização no IDRISI da realização do CROSSTAB	73
FIGURA 12 - Interface gráfica para a geração das matrizes unitária e periódica no DINAMICA EGO	75
FIGURA 13 - Interface gráfica para a geração do fatiamento no DINAMICA EGO	76
FIGURA 14 - Interface gráfica para o cálculo dos coeficientes dos pesos de evidência no DINAMICA EGO	77
FIGURA 15 - Interface gráfica para o cálculo da correlação dos pesos de evidência no DINAMICA EGO	81
FIGURA 16 - Interface gráfica para a execução do modelo com a geração dos mapas de probabilidade e paisagem anual no DINAMICA EGO	83
FIGURA 17 - Exemplificação do processo realizado pela aplicação dos algoritmos de similaridade <i>fuzzy</i>	83
FIGURA 18 - Validação utilizando a “ <i>exponential decay function</i> ”.....	85
FIGURA 19 - Validação utilizando a “ <i>constant decay function</i> ”	85
FIGURA 20 - Distribuição das áreas em porcentagem territorial das classes de uso da terra da Quarta Colônia/RS.....	91

FIGURA 21 - Tendência evolutiva das classes de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia	92
FIGURA 22- Espacialização em mapas das mudanças e manutenção florestal nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008	94
FIGURA 23 - Espacialização em mapas das mudanças e manutenção de campo nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008.....	96
FIGURA 24 - Espacialização em mapas das mudanças e manutenção do uso solo agrícola de 1988 a 2002 e de 2002 a 2008.....	98
FIGURA 25 - Espacialização em mapas das mudanças e manutenção do uso solo agrícola de 1988 a 2002 e de 2002 a 2008.....	99
FIGURA 26 - Visualização dos mapas de uso e cobertura da terra de 2008 e sua respectiva simulação.....	104
FIGURA 27 - Visualização do mapa de similaridade fuzzy, baseado em “ <i>exponential decay function</i> ”	105
FIGURA 28 - Variação do índice de similaridade <i>fuzzy</i> (ISF), com tamanho médio de mancha de 50 ha., em função de diferentes tamanhos de janela de amostragem	106
FIGURA 29 - Simulação anual de 2008 a 2018 do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia	107
FIGURA 30 - Espacialização em mapas das previsões de mudanças e manutenção do uso e cobertura da terra de 2008 a 2018	110

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Chave de interpretação, ferramenta essencial para a classificação supervisionada de padrões de imagens.....	66
QUADRO 2 - Matriz de confusão do algoritmo da máxima verossimilhança (1988).....	87
QUADRO 3 - Matriz de confusão do algoritmo da máxima verossimilhança (2002	88
QUADRO 4 - Matriz de confusão do algoritmo da máxima verossimilhança (2008).....	89

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – Base Cartográfica da Quarta Colônia/RS	121
ANEXO 2 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia/RS-1988	122
ANEXO 3 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia/RS-2002	123
ANEXO 4 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia/RS-2008.....	124
ANEXO 5 – Buffer da Rede de Drenagem da Quarta Colônia/RS	125
ANEXO 6 - Tabela 9 - <i>Pesos Positivos de Evidência W_+</i> para cada faixa de distância das variáveis em relação às transições dos usos	126
ANEXO 7 - 11 - <i>Pesos Positivos de Evidência W_+</i> para cada faixa de distância das variáveis em relação às transições dos usos	128
ANEXO 8 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia/RS-2018.....	130

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Contextualização do tema	15
CAPÍTULO 2	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Aspectos de colonização e economia da Quarta Colônia	18
2.4 Noções de cartografia	23
2.2 Sensoriamento remoto	27
2.2.1 Classificação de imagens	32
2.2.1.1 Avaliação da classificação	33
2.3 Geoprocessamento e sistemas de informações geográficas	34
2.5 Modelagem dinâmica	39
2.5.1 Modelo estocástico	42
2.6 Principais aplicativos computacionais	49
2.6.1 Aplicativo SPRING	49
2.6.2 Aplicativo Dinamica EGO	51
CAPÍTULO 3	55
MATERIAL E MÉTODOS	55
3.1 Localização da área de estudo	55
3.2 Aspectos físicos da paisagem	56
3.3 Material	60
3.4 Procedimentos metodológicos	61
3.4.1 Classificação das imagens	61
3.4.2 Contraste de Imagem	64
3.4.3 Classificação supervisionada	65
3.4.4 Elaboração dos mapas temáticos	66
3.4.4.1 Mapa temático de distâncias	70
3.4.4.2 Mapa temático baseado na declividade do terreno	70

3.4.5 Procedimentos e métodos para a construção do modelo de análise da dinâmica de usos e cobertura da terra da Quarta Colônia	71
3.4.5.1 Conversão dos mapas no software IDRISI.....	72
3.4.5.2 Conversão dos mapas no software ERmapper	73
3.4.5.3 Modelagem de dados no programa DINAMICA EGO	74
CAPÍTULO 4	87
RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS	87
4.1 Resultados dos mapas de uso e cobertura da terra.....	90
4.1.1 Análise dos mapas de mudanças de uso e cobertura da terra entre 1988 e 2002 e 2002 a 2008	92
4.1.2 Resultados obtidos nos processos de modelagem da Quarta Colônia	100
4.1.3 Análise do mapa de simulação para o ano de 2018.....	106
CAPÍTULO 5	111
CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
ANEXOS	120

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema

A análise do espaço em que o homem está inserido, o entendimento das transformações que nele ocorre, sua complexidade e interdependência entre os elementos que o compõem são de grande importância para a ciência. A partir dessa compreensão, pode-se alcançar uma relação harmoniosa entre o homem e suas várias formas de intervenção sobre o meio, ressaltando que o Brasil é um país no qual ocorreu, ao longo de seu processo de colonização – e ocorre principalmente na contemporaneidade –, transformação referente ao uso e cobertura da terra.

As questões sobre mudanças nos padrões de uso e cobertura da terra têm despertado interesse, dentro e fora do meio científico, devido ao acelerado processo e aos possíveis impactos ambientais e socioeconômicos dessas alterações, as quais causam preocupações em nível local e até global.

Para se obter uma melhor compreensão dessas interações dinâmicas entre sociedade e natureza, ou seja, entre a ocupação humana e os diferentes ecossistemas, é indispensável a experiência contemporânea, que aponta para o desenvolvimento e incorporação de modelos científicos integrados com foco nas características sociais e ecológicas de regiões e lugares específicos.

Os modelos espaciais dinâmicos ou modelos de paisagem, conhecidos também como modelos LUCC (Land Use Land Cover Change), simulam mudanças nos atributos do ambiente através do território geográfico. O uso de tais modelos visa auxiliar o entendimento dos mecanismos causais e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais, e, assim, determinar como eles evoluem diante de condições circunjacentes, e ainda representam cenários traduzidos por diferentes quadros socioeconômicos, políticos e ambientais.

Um dos modelos de simulação mais utilizados em estudos da paisagem é o modelo estocástico, também denominado estocástico-probabilístico, o qual, por meio de uma matriz de transição definida a partir de mudanças de uso e cobertura da terra em épocas passadas e a relação dessas mudanças com critérios definidos por pesos, torna possível definir as áreas futuras que são mais susceptíveis a novas alterações de uso e cobertura.

Dessa forma, os modelos espaciais dinâmicos se tornaram uma ferramenta interessante para o planejamento regional, pois permitem o estudo de fenômenos de transição no uso e cobertura da terra em um determinado local, além da geração de cenários futuros, uma vez que as questões mais importantes que se expõem atualmente são a sustentabilidade do desenvolvimento e o balanço adequado entre as questões sociais, econômicas e ambientais envolvidas.

A Quarta Colônia, que será a área de estudo sobre o qual se desenvolverá o presente trabalho, foi criada em 1877, sendo colonizada principalmente por alemães e italianos, que tinham como intuito principal a produção, não levando em conta a derrubada das florestas e modificação do espaço geográfico dessa região.

Desse modo, faz-se necessária a implementação de uma modelagem dinâmica do uso e cobertura da terra na Quarta Colônia, justificado principalmente pela necessidade de melhor compreender seus recursos naturais, sua ocupação humana e alterações em seu uso e cobertura da terra, bem como a repercussão desses fatos em conjunto. A simulação de cenários futuros auxiliará na formulação de políticas públicas, assim como na redução e amenização dos efeitos de mudanças rápidas que acontecem no seu meio ambiente, ciclos naturais e biodiversidade.

Nesse sentido, o objetivo geral deste estudo é aplicar um sistema de modelagem para avaliar a dinâmica de mudança do uso e cobertura da terra nos últimos seis anos (2002 a 2008), além de prever uma simulação de um cenário futuro para o ano de 2018.

Em relação aos objetivos específicos, destacam-se:

- Realizar o mapeamento temático do uso e cobertura da terra nos anos de 1988, 2002 e 2008, identificando suas alterações através de uma análise temporal de imagens LANDSAT, gerando informações quantitativas sobre as mudanças ocorridas e verificando a veracidade de classificação digital através da aplicação do *Índice Kappa*;

- Cruzar os mapas de uso e cobertura da terra de 1988, 2002 e 2008, para analisar e quantificar os usos que sofreram alteração ao longo dos 20 anos analisados;
- Elaborar mapas temáticos, espacializando características físicas da Quarta Colônia, que interferiram nas mudanças de uso da terra ao longo dos 20 anos estudados;
- Prever a simulação de um cenário futuro para o uso e cobertura da terra da Quarta Colônia para o ano de 2018, com o auxílio de um modelo estocástico, no programa Dinamica EGO.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos de colonização e economia da Quarta Colônia

A emigração italiana para o Brasil ocorreu principalmente devido à necessidade do governo italiano de criar alternativas para sua superpopulação, em razão das dificuldades econômicas, associado ao momento em que o Governo Imperial Brasileiro incentivava o povoamento do Brasil e, principalmente, das fronteiras sul do país (Rio Grande do Sul), recentemente conquistada através da Guerra do Paraguai (1870). Outro fator foi a necessidade de mão-de-obra na lavoura cafeeira (região sudeste do Brasil), unindo esses dois países suas forças, e iniciando definitivamente em 1876 a emigração italiana para o Brasil.

No Rio Grande do Sul, foram criadas quatro colônias de imigração italiana, principiando por Caxias do Sul, passando a Bento Gonçalves, Garibaldi e, finalmente, Silveira Martins, atualmente conhecida como Quarta Colônia. O nome Colônia Silveira Martins foi assim denominado devido ao grande tribuno rio-grandense Gaspar de Silveira Martins, o qual era senador do Império no momento em que se iniciou o processo de imigração e colonização do Rio Grande do Sul (RIGHI et al., 2001).

A Colônia de Silveira Martins foi criada, segundo Sponchiado (1996), por iniciativa do Engenheiro José Thomé Salgado, através de um ofício dirigido à Inspetoria Especial de Terras e Colonização, solicitando a elevação do Núcleo Colonial de Santa Maria da Boca do Monte para a categoria de Colônia, sob a denominação, então, de Silveira Martins. Sua justificativa estava centrada no fato de o referido local possuir uma população representativa, solo fértil, boa posição geográfica e muitas condições favoráveis ao seu desenvolvimento, sendo seu pedido concretizado em 21 de dezembro de 1878.

Em 19 de agosto de 1882, foi determinado pelo Imperador que a Colônia Silveira Martins estaria emancipada do regime colonial, passando ao domínio da legislação

comum, vindo a ser, juridicamente, o 5º Distrito de Santa Maria. Faz-se importante lembrar que, ainda naquela época, o fluxo de imigrantes espontâneos era grande e, em função disso, foi criada uma Comissão para a medição de lotes e estabelecimentos de imigrantes para acomodação das pessoas, sob a presidência de Dr. José Siqueira Couto, criando-se diversos núcleos coloniais como, por exemplo: Núcleo Dona Francisca, Núcleo Norte, Núcleo Soturno (Nova Palma), Núcleo Silveira Martins (KAMINSKI, 2001).

Mas, apesar de serem divididos em núcleos, a descontinuidade territorial e a divisão de seu território em municípios eram necessárias para terem autonomia política. Dessa forma, um importante movimento de emancipação da região da Quarta Colônia foi desenvolvido:

Pelo trabalho do Padre Luizinho Sponchiado com o objetivo de formar um município aglutinador do antigo território, dividido entre Santa Maria, Cachoeira do Sul e Júlio de Castilhos. Faxinal do Soturno, entretanto, resolve emancipar-se isoladamente, em 12 de janeiro de 1959. Torna-se o primeiro município da Quarta Colônia, mas o projeto de unificação do Padre Sponchiado sofre um golpe mortal. No ano seguinte, emancipa-se Nova Palma e, em 1965, foi a vez de Dona Francisca. Silveira Martins fez uma nova tentativa em 1963. Desta vez teria tido sucesso, se não fosse o mandato judicial, impetrado por um grupo de moradores descontentes de Faxinal da Palma. Finalmente, consegue sua autonomia em 11 de dezembro de 1987. Já na década de 1990, São João do Polêsine, Ivorá e Pinhal Grande completam a lista dos municípios da ex-Colônia (SANTIN, 2002).

O tamanho dos lotes que foram entregues aos italianos era em média de 25 hectares, caracterizando-os como pequenos proprietários. Eles cultivavam em suas propriedades produtos agrícolas, como o trigo, feijão, milho, batata, cana-de-açúcar, fumo, videira e criavam animais (bovinos, suínos e outros).

A falta de adubos químicos, ou do conhecimento da adubação verde, e ainda do rodízio das plantações, fazia com que a prática do rodízio do solo fosse utilizada, juntamente com o desmatamento de áreas florestais, ou seja, cultivavam determinado período e espaço geográfico, e, no período seguinte, era dado um descanso para esse solo, plantando-se em outra parte da propriedade. Além disso, a falta de instrumentos agrícolas, que se resumia praticamente ao pequeno arado e enxada, levava-os a utilizar o fogo para limpar a capoeira crescida durante o descanso do solo (KAMINSKI, 2001).

Nesse sentido, FARINATTI (1999) reafirma que:

De fato a derrubada e queimada de um trecho de floresta, sua utilização por alguns anos e seu posterior abandono, para que ali se recompusesse naturalmente a vegetação, foi a técnica preponderante em todo o Brasil colonial e imperial, com variações em relação a tipos de relevo, solos ou culturas... De origem indígena, esse sistema não cessou de ser criticado tanto por autoridades e viajantes contemporâneos quanto por intelectuais do século XX, que viam nele um símbolo de atraso dos plantadores brasileiros.

Porém, De Boni e Costa (1984) afirmam que a acusação de que os italianos derrubaram as matas arbitrariamente é afirmação gratuita, ou seja, as derrubadas não eram provocadas pela incultura italiana e, sim, pela necessidade de plantar e cultivar para a sobrevivência. Mesmo assim, os italianos criaram uma tradição de proteção aos pinus, ao angico, ao tarumã, aos cedros, às perobas, às caneleiras e a outras essências de bom uso para construções de diferentes serventias na vida agrícola.

Nas várzeas do rio Jacuí, adquiridas tanto por alemães como por italianos, o arroz irrigado foi o produto mais cultivado, apesar do forte da produção agrícola da Quarta Colônia permanecer nas encostas das serras com grande índice de desmatamento. Essa realidade só foi ter mudanças após a 2ª Guerra Mundial, quando as pessoas começaram a ter acesso à mecanização e às novas tecnologias difundidas pela “Revolução Verde”. Outrossim, a aprovação do Código Florestal Brasileiro, em 1965, auxiliou na preservação das florestas, pois restringiu e normatizou as ações dos agricultores, principalmente no corte das matas de encostas da serra com declividade maior que 45º, no corte da mata ciliar e nas queimadas (ITAQUI, 2002).

Além disso, todas as áreas coloniais, desgastadas pelo uso intensivo de práticas tradicionais de cultivo, pioneiras na produção de grãos, frutas, verduras e produtos que alimentavam todo o estado, passaram a ser vigiadas e multadas pela fiscalização ambiental, e, ainda, como as áreas destinadas para as colônias eram pequenas e as famílias numerosas, a segunda e terceira geração de descendentes italianos já tiveram uma grande migração para as cidades, principalmente na década de 1960/1970, saindo

também em busca de novas fronteiras agrícolas dentro e fora do Rio Grande do Sul (ITAQUI, 2002).

A economia da Quarta Colônia é essencialmente agropecuária, ocupando uma área de aproximadamente 120.000 ha., sendo 69.000 ha. com agricultura (milho, feijão, fumo, batata, soja e arroz). Na região, predominam unidades familiares de produção, com áreas médias de 20 ha e topografia bem acidentada.

Villagran (2002) destaca que até os anos 1950/1960 essa região de minifúndios tinha uma exploração intensiva, baseada em sistemas de produção tradicionais; com o advento da “modernização da agricultura”, fomentada por uma forte política oficial, que abrangia pesquisa, ensino, assistência técnica e crédito rural, houve uma mudança radical na base técnica da agricultura, com o uso massivo de insumos modernos (adubos solúveis, agrotóxicos e sementes melhoradas) e da mecanização. Com isso, acelerou-se o processo de degradação ambiental e socioeconômico, e, mesmo em menor escala, a prática de roçadas e queimadas continuou sendo utilizada pelos agricultores das encostas, na busca de novas áreas para seus cultivos e de lenha para energia.

Villagran destaca ainda que, a partir dos anos 1970, com o aumento da pressão da sociedade sobre a questão ambiental e, essencialmente, com as mudanças na legislação florestal, acentuaram-se as dificuldades das famílias que viviam sob esse sistema de agricultura itinerante, principalmente nas propriedades localizadas em áreas de encostas. Com isso, aumentou o êxodo rural, principalmente em relação aos mais jovens. Com menos braços para o trabalho na lavoura e a impossibilidade técnico-econômica para a contratação o emprego de equipamentos e maquinários mais modernos, as áreas que até então eram destinadas ao cultivo foram sendo abandonadas por espaços de tempo maiores, propiciando que a mata voltasse a tomar conta de seus espaços históricos.

Também se destaca que em um contexto nacional é possível perceber que, nesse período, entre 1970 e 1980, ocorreu na agricultura um aumento significativo na produção de soja, devido à Política Agrícola de incentivos articulada ao crescimento da indústria de máquinas e insumos e aos altos preços da soja no mercado externo. Não foi diferente do acontecido nos municípios da Quarta Colônia, os quais reduziram

principalmente a produção de feijão e milho devido à implantação da soja. O cultivo desta, produto de exportação, é privilegiado em detrimento dos produtos de subsistência, e a construção do espaço agrário local, subordinado aos interesses dos capitais industriais e financeiros e ao Estado.

Nesse sentido, Brum (1987) destaca que, a partir da década de 1970, há pouco incremento de produtos agrícolas tradicionais para o mercado interno, notoriamente os alimentos básicos, como mandioca, feijão e milho (-2,36% em 1971/1980 e -1,06% em 1981/1989).

A partir de 1980, o ritmo de crescimento na produção de soja diminuiu devido aos baixos preços, como pode ser observado pelos dados do município de Nova Palma, onde, entre 1970 e 1980, o aumento da produção da soja foi de aproximadamente 900%, entre 1980 e 1990 o percentual registrado foi de cerca de 13% apenas (FERRARI, 2007).

A partir de 1980, nota-se no município de Nova Palma, a exemplo dos demais da Quarta Colônia, uma retomada da produção de feijão, do milho e do fumo, em virtude dos melhores preços desses produtos. No caso do milho e do fumo, isso decorreu também do aumento na produtividade, e no caso do feijão, pelo aumento da área cultivada até 1990, com uma pequena redução em 1995 e retorno do aumento até pelo menos 2003. Já o arroz tem maior incremento na produção entre 2000 e 2003, devido ao aumento da área cultivada, da produtividade e incentivos (SAQUET, 1996).

Faz-se importante destacar, para entendermos um pouco melhor a evolução da produção agrícola da quarta Colônia, que o processo de modernização da agricultura no RS e no Brasil começou na região do planalto gaúcho, a noroeste do estado, no pós-guerra, mas se expandiu para outros lugares (BRUM, 1987).

A modernização da agricultura no Brasil se dá a partir da articulação entre Estado e capital, sob o comando do capital industrial e financeiro. Para CORADINI (1982), essa nova forma de produção agrícola, agora modernizada, está estreitamente integrada e subordinada à agroindústria e às políticas estatais. Foi através das políticas agrícolas que o Estado incentivou a produção, e, segundo esse mesmo autor, é por meio delas que o mesmo Estado controla a apropriação dos excedentes agrícolas.

Esses incentivos governamentais foram essenciais ao desenvolvimento principalmente do cultivo da soja, ressaltando que mesmo que a prática agrícola na Quarta Colônia esteja encaminhando-se para um processo integrado de modernização, ainda não é totalmente modernizada, mas apenas foi atingida pela expansão do capitalismo do espaço agrário brasileiro.

O processo de modernização da agricultura no Brasil foi centrado, em um primeiro momento, na produção do trigo, até o início da década de 1970; e no período pós-1972, com a supremacia da soja, produto de exportação. No RS, por exemplo, segundo CORADINI (1982), em 1978, dos 90% do crédito de custeio destinado ao cultivo da soja, do trigo e do arroz, 46% coube à produção de soja, o que demonstra claramente a prioridade dada pelo governo a essa cultura. Só mais recentemente a modernização atinge o cultivo de outros produtos.

2.4 Noções de cartografia

Duarte (2002) destaca a grande importância que a cartografia sempre representou para todas as sociedades, assim como sua relevância em nosso mundo moderno, enfatizando um conceito básico dessa cartografia, adotado pela Associação Cartográfica Internacional, a qual define Cartografia como um “conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, com vistas à elaboração e preparação de cartas, planos e outras formas de expressão, bem como sua utilização.”

A Cartografia também pode ser compreendida como um conhecimento que vem se desenvolvendo desde a pré-história até os dias de hoje, e que, por intermédio dessa linguagem, é possível sintetizar informações, expressar conhecimentos, estudar situações – sempre envolvendo a idéia da produção da sociedade no espaço: sua organização e distribuição (PCN's, 1998).

Esta ciência “tenta há muito dominar o processo de representação da realidade através de mapas, sendo advento da necessidade do homem em compreender o

universo que o cerca, exigindo desta ciência também a arte de conceber, levantar, redigir e divulgar mapas” (JOLY, 1990, p. 7).

O mapa é um produto cartográfico importante na identificação da organização do espaço, assim como na dinâmica da ocorrência de ocupações e como forma de expressão de resultados de dados compilados, enfatizando-se a importância da leitura desse instrumento de comunicação visual, levando-se em consideração principalmente seu conteúdo para que ações da sociedade no espaço não sejam apenas resultado de alguns privilegiados leitores de mapas (PASSINI, 1994).

Além dos mapas, a cartografia desenvolveu ao longo do tempo outras formas de representação do espaço geográfico, destacando-se de forma geral o globo, as cartas e plantas, sendo que para essa pesquisa é necessária uma boa compreensão de alguns conceitos básicos das cartas e mapas utilizados em geoprocessamento.

Mapa:

Mapa, podemos entender como qualquer representação, geralmente plana (existe técnica de confecção em alto relevo), parcial ou total da superfície de um astro (Terra, Lua, Marte, etc.) ou mesmo do céu, em escala reduzida, mostrando seus componentes por meio de símbolos e, às vezes, cores também, concebidos arbitrariamente ou respeitando o estabelecido em planos técnicos (DUARTE, 2002).

Carta:

Carta é a representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinada aos fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa das distâncias, direções e a localização plana, geralmente em média ou grande escala, de uma superfície terrestre, subdivididas em folhas, de forma sistemática, obedecendo a um plano nacional ou internacional (ZIMBACK, 2003).

Os mapas e as cartas podem ser divididos de acordo com sua natureza de classificação, em três categorias distintas: geral, especial e temática.

No momento em que um mapa ou uma carta é considerado uma representação geral, estes possuem como objetivo básico o conhecimento da superfície terrestre, dos seus fatos concretos, os acidentes geográficos, naturais e as obras do homem, servindo de base para os demais tipos de cartas e mapas, além de atender a uma grande quantidade de usuários. Como um exemplo particular desse tipo de

representação, cita-se um mapa que é edição do IBGE na escala 1: 5 000 000, representando todo território Brasileiro.

A representação especial se refere a cartas e mapas que são elaborados para a utilização de um grupo restrito de usuários, pois são estritamente técnicos em determinada área de conhecimento científico, representando fatos, dados ou fenômenos. Uma carta náutica é um bom exemplo, pois possui informações precárias em relação à representação terrestre e, por outro lado, minuciosa quanto a representações marítimas.

Já uma representação temática, as cartas e mapas, descrevem de forma qualitativa a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, podendo ser representada em qualquer escala, visando sempre ao estudo, à análise e à pesquisa de temas, no seu aspecto especial, como, por exemplo, um mapa de uso da terra de determinada região.

Os métodos para produção de mapas, assim como para atualização cartográfica, evoluíram gradativamente com o advento de novos processos tecnológicos, principalmente na área da informática, com o mapeamento digital, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS), tratamento digital de imagens e Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Para a elaboração de um mapa temático que explora além de duas dimensões (X, Y), identificando a posição do lugar através de coordenadas uma terceira dimensão visual (Z) que representa o tema, independente de ser quantitativo ou qualitativo, há elementos essenciais que devem ser expostos nele, favorecendo sua leitura de forma correta. O primeiro elemento é o *título* que exporá o tema do mapa temático que, além de dizer do que se trata, deve especificar onde o acontecimento ocorreu e em que data, respondendo as questões básicas “o quê?”, “onde?” e “quando?” (Martinelli, 2006).

A legenda é o segundo elemento, no qual todo raciocínio, reflexão e organização mental que o autor empreenderá em relação ao tema serão expostos e estruturados nela. Muita atenção deve ser dada em sua elaboração, pois constitui a porta de entrada para que o leitor entenda de forma completa o mapa, relacionando os signos empregados no mapa com seu respectivo significado (Martinelli, 2006).

A escala também não pode faltar no mapa, pois ela proporcionará a noção clara de quantas vezes a realidade foi reduzida no papel, para tanto, decisões em termos de escolha do que incluir ou não na representação permitirão ao leitor avaliar o tema coerente com a escala, lembrando também de declarar a fonte dos dados utilizados na elaboração do mapa (Martinelli, 2006).

Além desses elementos básicos que devem conter os mapas temáticos, é preciso ressaltar que os temas dos mapas devem ser representados de forma clara através de variáveis visuais, representadas por uma diversidade de símbolos que traduzem uma informação para a linguagem gráfica. Duarte (2002) apresenta seis variáveis visuais: tamanho, cor, forma, valor, orientação e granulação. Todavia, apenas as três primeiras são utilizadas com maior frequência, e essas variáveis visuais podem ser utilizadas em pontos, linhas ou áreas (zonas) conforme a manifestação do fenômeno na realidade.

- Tamanho: Corresponde à variação da dimensão do símbolo, permitindo que sejam extraídas informações sobre a grandeza dos componentes dos mapas, melhor expressando dados quantitativos (Figura 1) (Duarte, 2002).

- Cor: Está relacionada à diversificação da tonalidade de uma cor, quando valores fracos e fortes são representados, respectivamente, por tons escuros e claros. Essa variável é mais apropriada para mostrar a ordenação ou seqüência de um fenômeno (Figura1) (Duarte, 2002).

- Forma: Trata-se da configuração dos símbolos, podendo ser utilizadas variações geométricas, combinações de traços e figuras, além de símbolos evocativos. Essa variável é mais utilizada para representação do nível de informações qualitativas (Figura 1) (Duarte, 2002).

Com a apresentação de algumas considerações básicas que a cartografia nos fornece em relação à elaboração de mapas, é preciso também ressaltar a indiscutível importância do sensoriamento remoto para a cartografia. A agilidade e a redução de custos obtidos por meio da utilização de imagens orbitais para atualização cartográfica vêm acompanhadas de uma qualidade cada vez maior no que diz respeito à resolução espacial e multiespectral de alta tecnologia, atendendo aos requisitos de precisão planimétrica exigidos para as escalas do mapeamento sistemático.

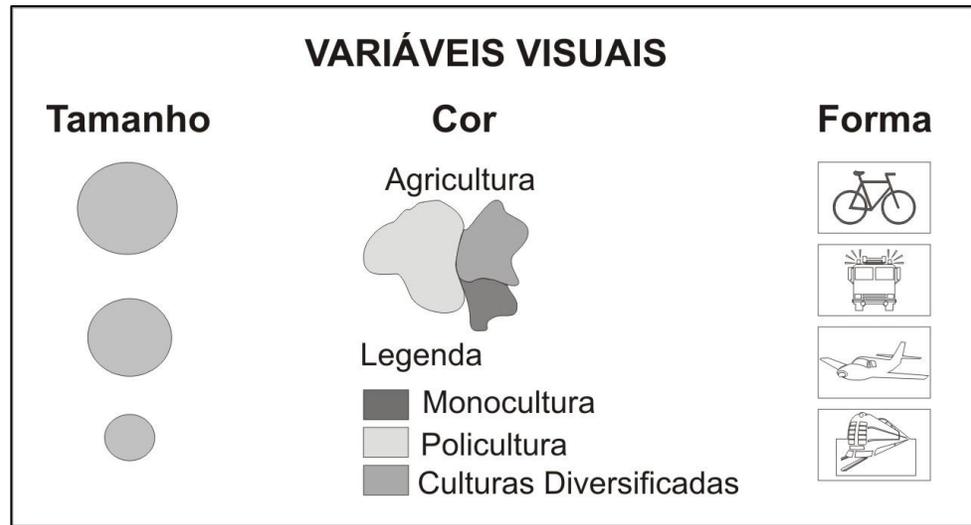


Figura 1 - Variáveis Visuais. Organização: Autora.

Também a cartografia possui uma grande relação interdisciplinar com o Geoprocessamento em razão do espaço geográfico. A Cartografia preocupa-se em apresentar um modelo de representação de dados para os processos que ocorrem no espaço geográfico, e o Geoprocessamento representa a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais, fornecidas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para tratar os processos que ocorrem no espaço geográfico, estabelecendo de forma clara a relação interdisciplinar entre Cartografia e Geoprocessamento (D'ALGE, 1999).

2.2 Sensoriamento remoto

Os recursos naturais e o meio ambiente estão em mudanças contínuas em resposta à evolução natural e às atividades humanas. Para compreender o complexo inter-relacionamento dos fenômenos que causam essas mudanças, é necessário fazer observações com uma grande gama de escalas temporais e espaciais. A observação da Terra por meio de satélites, utilizando as técnicas de Sensoriamento Remoto, é a

maneira mais efetiva e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e modelar esses fenômenos, especialmente em países de grande extensão territorial, como o Brasil.

Sabins (1999) diz que a utilização do sensoriamento remoto no mapeamento do uso da terra de uma dada área tem papel fundamental, pois oferece a oportunidade da realização de um inventário sistemático da superfície terrestre, possibilitando a categorização dos diferentes usos da terra em classes. Comenta ainda que, quando o mapeamento do uso da terra estiver associado aos sistemas de informações geográficas, será possível conhecer a evolução da dinâmica espacial do uso da terra com a produção de séries temporais de mapas de uma mesma área, afirmando serem informações essenciais para o planejamento da maioria das atividades, desenvolvidas em âmbito nacional, regional e municipal.

Segundo Novo (1992), Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aquisição de informações sobre o objeto a partir de medidas feitas com um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele. As informações do objeto, nesse caso, são derivadas da detecção e mensuração das modificações que ele impõe sobre os campos de força que o cercam.

Um conceito clássico que define Sensoriamento Remoto é o citado por Lillesand & Kiefer (1994, p.1): “O Sensoriamento Remoto é a ciência e arte de obter informação acerca de um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação.”

Para se obter essas informações, usa-se um meio que, nesse caso, é a radiação eletromagnética, supondo que esta possa chegar diretamente ao sensor. No entanto, isso não é possível em todas as partes do espectro eletromagnético, porque a transmissividade atmosférica é variável para os diversos comprimentos de onda.

As diversas técnicas de Sensoriamento Remoto foram muito utilizadas durante a Primeira e Segunda Guerra Mundial nos planejamentos militares, apesar de serem apenas fotografias aéreas com baixa e média altitude. Em 1957, os EUA deram um salto em relação a essa ciência e lançaram o primeiro satélite com finalidade civil, sendo que no Brasil o Sensoriamento Remoto tomou impulso na década de 60, com o desenvolvimento do projeto RADAM Brasil, que objetivava a realização de um

levantamento integrado dos recursos naturais no país, proporcionando o treinamento e especializações de diversos técnicos brasileiros que, até o momento, só tinham conhecimento de fotografias aéreas (ROSA, 1990).

Para Rocha (2000), a evolução do Sensoriamento Remoto através do desenvolvimento de sensores mais potentes veio proporcionando ao longo do tempo imagens com resoluções cada vez melhores, associadas às técnicas de extração de informações oriundas do processamento de imagens, ampliando suas aplicações a diversas áreas do conhecimento: levantamento de recursos ambientais, Análise Ambiental, Geologia, Agricultura, Florestas, Estudos Urbanos.

Mas não se pode compreender o Sensoriamento Remoto apenas como a realização de um simples imageamento da superfície terrestre, pois ele permite o desenvolvimento de análises mais complexas. Nesse sentido, Menezes & Madeira Neto (2001, p11) se referem ao Sensoriamento Remoto, ressaltando que:

Esses olhos conseguiram superar a visão do homem, estendendo a sua capacidade de identificar os objetos terrestres muito além dos comprimentos de onda da luz normalmente percebidos. Com as imagens, tomadas em bandas espectrais, contidas ao visível, no infravermelho refletido, no infravermelho termal e no domínio das microondas, a superfície terrestre, coberta pela vegetação, pelos afloramentos de rochas, pelos solos e corpos d'água, passou a ser identificada com formas que desconhecíamos.

De acordo com Novo (1992 p.3), “a complexidade das atuais técnicas de Sensoriamento Remoto faz com que, cada vez mais, um maior número de pessoas de áreas diferentes participem do processo de transformação da energia registrada pelo sensor em informação.” Segundo a autora, o Sensoriamento Remoto visto como um sistema de aquisição de informações pode ser subdividido em dois subsistemas, denominados de subsistema de coleta de dados e subsistema de análise de dados.

O subsistema de coleta de dados apresenta algumas condições especiais para que seu funcionamento seja garantido: a existência da radiação, a propagação de radiação pela atmosfera, a incidência da radiação sobre a superfície terrestre, a ocorrência de interações entre a radiação e os objetos da superfície e a produção de radiação que retorna ao sensor após propagar-se pela atmosfera. A intensidade de energia que chega ao sensor é posteriormente transformada em um sinal passível de

interpretação por parte dos sistemas de análise de dados, que incluem o processamento fotográfico, o processamento eletrônico do sinal e a modelagem.

Em relação aos sistemas sensores, são dispositivos capazes de captar, registrar e processar a radiação de determinada faixa do espectro eletromagnético, gerando um produto em uma forma adequada para ser interpretada pelo usuário. “A energia eletromagnética é o meio através dos quais os dados do objeto são transmitidos pelo sensor, transformando-se através de sua frequência, intensidade e polarização em informação” (ROCHA, 2000, p.116). De acordo com sua fonte de radiação, os sensores podem ser classificados em dois grupos: sensores ativos e sensores passivos.

Os sensores que medem a radiação refletida pelos alvos, proveniente de uma fonte externa (Sol), são chamados *passivos*, pois não possuem uma radiação própria, dependendo de iluminação externa; e os sensores que possuem uma fonte de radiação, isto é, não dependem de uma fonte externa de iluminação para irradiar o alvo, são denominados *ativos*, sendo que esse tipo de sensor emite um fluxo de radiação em determinada faixa espectral que interage com os alvos na superfície terrestre, e a parte que é então retroespelhada é captada por ele (MOREIRA, 2003).

As imagens oriundas dos sistemas sensores possuem alguns parâmetros inerentes, como a resolução espacial, espectral, radiométrica, temporal e largura da faixa imageada (ROCHA, 2000).

A *resolução espacial* é determinada pela capacidade do detector em distinguir objetos na superfície terrestre, expressa em geral nos termos do seu campo instantâneo de visada ou IFOV (“instantaneous field of view”), que define a área do terreno focalizada a uma dada altitude pelo instrumento sensor. De uma forma simplificada, o IFOV representa o tamanho do pixel. A resolução geométrica de um detector é determinada pela resolução do ângulo sólido do IFOV, em mrad (milirad), e pela altitude do sistema sensor, e é expressa em metros na superfície terreno. Como exemplo, um IFOV de 1 mrad ($1 \text{ mrad} = 0,057^\circ$) significa que o elemento de terreno abrangido pelo detector, numa altitude nadir de 1000 m, tem o tamanho de 1 m (MOREIRA, 2003).

A *resolução espectral* é um conceito inerente às imagens multiespectrais de sensoriamento remoto, definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela amplitude do intervalo de comprimento de onda de cada banda. O sistema óptico (espelhos e lentes) decide em que parte do espectro o sensor será capaz de receber a radiação refletida ou emitida pela superfície terrestre, e o tipo do detector é responsável pela sensibilidade e pelo intervalo espectral de cada banda (MOREIRA, 2003).

A *resolução radiométrica* representa a menor diferença de brilho que um sistema sensor é capaz de perceber, determinando se o alvo pode ser visto na imagem em função de seu contraste com alvos vizinhos. Essa resolução está relacionada ao número de níveis de cinza usados para expressar os dados coletados pelo sensor, considerando que, quanto maior o número de níveis de cinza, maior a resolução radiométrica (SILVA, 1995).

A *resolução temporal* é conceituada como sendo a frequência com a qual um sistema sensor é capaz de imagear um alvo, determinando o período mínimo a ser aguardado para um novo imageamento de um determinado alvo. Essa resolução é importante para a identificação de processos que se modificam de forma dinâmica, permitindo o monitoramento desses recursos (SILVA, 1995).

A *largura da faixa imageada*, segundo Rocha (2000), ou largura da faixa de varredura, é uma característica que varia de acordo com o satélite imageador. O satélite LANDSAT, por exemplo, possui a largura da faixa de imageamento de 185 Km; já o satélite CBERS possui uma largura de 120 Km.

Também é preciso lembrar que uma imagem, de acordo com Rosa (1990), é definida como sendo um conjunto de pontos (*pixel*) que formam uma matriz, em que cada um corresponde a uma unidade de informação do terreno, formada através de uma função bidimensional $f(x,y)$, na qual x e y são coordenadas espaciais, e o valor de f no ponto x, y é proporcional ao brilho ou radiância.

2.2.1 Classificação de imagens

A classificação digital de imagens é uma prática cada vez mais presente no campo do Sensoriamento Remoto, que proporciona de forma eficiente a identificação das formas de uso e ocupação da terra, subsidiando de forma rápida, confiável e atual as atividades de planejamento regional.

A técnica da classificação de imagens consiste na associação de cada pixel a uma parte ou a um todo de um objeto do mundo real, tratando-se de um problema de reconhecimento em que os valores numéricos presentes em uma imagem devem estar associados à identificação de um tipo de cobertura da terra, sendo que o usuário do sistema deve esperar que o processo de classificação seja automatizado, executando a associação dos valores numéricos com a característica de reflectância espectral de cada uma das classes existentes na superfície (INPE, 2007).

Moreira (2003) destaca que:

Durante a classificação de dados digitais, os alvos do universo real recebem a denominação genérica de classes ou classes temáticas. Em outras palavras, na classificação, procura-se rotular cada *pixel* da imagem segundo a ocupação do solo, semelhante o que se faz na abordagem visual. Para tal, utilizam-se programas apropriados, também denominados algoritmos de classificação ou simplesmente classificadores. A categorização (rotulação) dos valores de níveis de cinza é feita utilizando algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais. Dependendo do algoritmo utilizado neste procedimento, a classificação é dita supervisionada ou não supervisionada, envolvendo duas fases distintas: o treinamento e a classificação propriamente dita.

Segundo Novo (1992), a classificação supervisionada, que será utilizada nessa pesquisa para agrupar os padrões de imagens semelhantes em classes de uso da terra, o classificador orienta sua busca de classes a partir de amostras de treinamento feitas anteriormente com as classes de interesse da cena.

É preciso salientar que nessa pesquisa será utilizado o método da máxima verossimilhança que, de acordo com Santos e Venturini (1998), complementando a citação acima, baseia-se no cálculo da distância estatística entre cada pixel e a média

dos níveis de cinza da classe previamente definida a partir das amostras de treinamento, cuja seleção deve refletir a variabilidade de cada categoria dentro da área estudada, não existindo um número ideal dessas amostras para representar a classe de interesse.

2.2.1.1 Avaliação da classificação

Segundo Congalton e Green (1999), os mapas ajudam a medir a extensão e distribuição dos recursos, analisar interações, identificar locais apropriados para ações específicas (por exemplo, intervenção ou preservação de um local) e planos para eventos futuros. No entanto, decisões efetivas requerem mapas de conhecimento acurado.

Um dos parâmetros mais utilizados e eficientes para quantificar a exatidão de levantamentos de uso da terra é o índice Kappa, que é obtido mediante a adoção de uma referência para comparação dos mapeamentos produzidos. Nesse caso, a análise da exatidão dos mapeamentos é obtida através de matrizes de confusão ou matrizes de erro, que apresentam a distribuição de percentagem de pixels classificados correta e incorretamente, sendo posteriormente calculado o índice Kappa de concordância. A confiabilidade da matriz de erros depende da amostragem, registro e conhecimento, sendo importante que a amostra de treinamento seja bem homogênea e representativa da classe de interesse (Congalton e Green, 1999).

Congalton (1992) destaca que o índice Kappa é um coeficiente baseado na diferença entre concordância observada (diagonal principal da matriz de confusão com a concordância entre a classificação e os dados de referência) e a chance de concordância entre os dados de referência de uma classificação aleatória (produto entre os totais marginais da matriz). A equação que fornece o valor de *Kappa* é apresentada a seguir:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ij} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}$$

Em que: r = Número de classes; x_{ij} = Número de elementos classificados corretamente; x_{i+} = Total de elementos classificados para uma categoria i; x_{+i} = Total de elementos de referência amostrados para uma categoria i; N = Número total de amostras.

O valor do coeficiente de Kappa (K) varia entre -1 e 1, em que o valor 1 representa uma completa concordância entre a imagem classificada com o dado de referência. O valor K pode ser comparado como os valores e conceitos contidos na Tabela 1, desenvolvidos por Landis e Koch (1977), e dessa forma, avaliar o mapa temático obtido da classificação da imagem.

Tabela 1 - Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente *Kappa*,

<i>Valor do Kappa</i>	<i>Qualidade da Classificação</i>
< 0,00	Péssima
0,0 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977)

2.3 Geoprocessamento e sistemas de informações geográficas

Com o advento da informática na automação de processos, surgiram ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas, sendo que a ligação técnica e conceitual dessas

ferramentas propiciou o desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos, denominada de Geoprocessamento (ROCHA, 2000).

O Geoprocessamento pode ser definido também como:

A tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados. Dentro dessa perspectiva, o principal objetivo dessa técnica é fornecer ferramentas computacionais, para que os diferentes analistas determinem as evoluções espaciais e temporais de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre os diferentes fenômenos (TEIXEIRA, 1997).

Essa tecnologia tem influenciado de maneira crescente diversas áreas, dentre as quais se pode citar a Cartografia, a Geografia, a Agricultura e a Geologia, lembrando que a introdução do Geoprocessamento ocorreu no Brasil no início dos anos 1980, a partir dos esforços do professor Jorge Xavier da Silva, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (MOREIRA, 2003).

Nos países com grandes dimensões territoriais e que possuem carência de informações adequadas para a tomada de decisões em relação a problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento disponibiliza um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento pode ser adquirido localmente (ASSAD; SANO, 1998).

Ao se tratar de Geoprocessamento, é preciso conceituar seus instrumentos computacionais, denominados de Sistemas de Informações Geográficas, que podem ser definidos como sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados georreferenciados, que manipulam dados de diversas fontes e formatos, dentro de um ambiente computacional ágil e capaz de integrar as informações espaciais temáticas e gerar novos dados derivados dos originais (ASSAD; SANO, 1998).

Os Sistemas de Informações Georreferenciadas ou Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são:

Usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementada, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia, ao lado do processamento Digital de Imagens (PDI) e da Geoestatística. A tecnologia SIG

está para as análises geográficas, assim como o microscópio, o telescópio e os computadores estão para outras ciências (Geologia, Astronomia, Geofísica, Administração, entre outras) (SILVA, 2003).

Veiga (in XAVIER-DA-SILVA, 2004) define que “os Sistemas de Informações Geográficas são ferramentas que manipulam objetos (ou feições geográficas) e seus atributos (ou registros que compõem um banco de dados) através do seu relacionamento espacial (topologia).”

Os SIG necessitam utilizar o meio digital e, por esse motivo, o uso intensivo da informática se torna imprescindível, devendo existir uma base de dados integrada, em que esses dados precisam estar georreferenciados e com controle de erro, contendo funções de análises desses dados que variem com a álgebra cumulativa (operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão etc.) até a álgebra não cumulativa (operações lógicas). Percebe-se que os SIG têm inter-relações com inúmeras técnicas e tecnologias (SILVA, 2003).

Arelado ao Geoprocessamento, a comunidade envolvida com SIG foi contemplada com um aumento substancial de estudiosos e pesquisadores a partir da década de 1980, em que, paralelamente a esse fato, pesquisas e programas de treinamentos foram implementados em universidades e empresas em vários países, com as mais diversas finalidades. Novas aplicações foram encontradas e novos produtos apareceram no mercado, sendo que novos bancos de dados que armazenam informações alfa-numérico, raster ou vetoriais, passaram a estar disponíveis a custos baixos, apresentando fácil manuseio e segurança para o usuário (SILVA, 2003).

Os Sistemas de Informações Geográficas abrangem as técnicas mais eficientes disponíveis no tratamento de informações espaciais, que são consideradas atualmente requisitos necessários para controlar e ordenar a ocupação das unidades físicas do meio-ambiente, tão pressionadas por decisões que invariavelmente se contrapõem a uma lógica racional de seu uso. Para acompanhar o ritmo veloz e a complexidade dessa ocupação e utilização da terra, é preciso dispor dessas técnicas que os SIG oferecem para prover de referências espaciais a ordenação dessa ocupação, passíveis de tratamentos automatizados.

Além disso, as duas principais características dos Sistemas de Informações Geográficas são permitir a inserção e integração em uma única base de dados (banco de dados), informações espaciais provenientes de fontes como a cartografia, imagens de satélite, dados censitários, dados de um Modelo Numérico do Terreno (MNT), entre outras, e oferecer mecanismos na combinação de várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo dessa base de dados georreferenciados (MOREIRA, 2003).

Em uma visão geral e abrangente, podem-se identificar as seguintes partes integrantes de um SIG (Figura 2): a interface com o usuário; a entrada e integração de dados; a consulta, análise espacial e processamento de imagens; a visualização e plotagem; e o armazenamento e recuperação de dados (banco de dados geográficos) (ASSAD;SANO,1998).

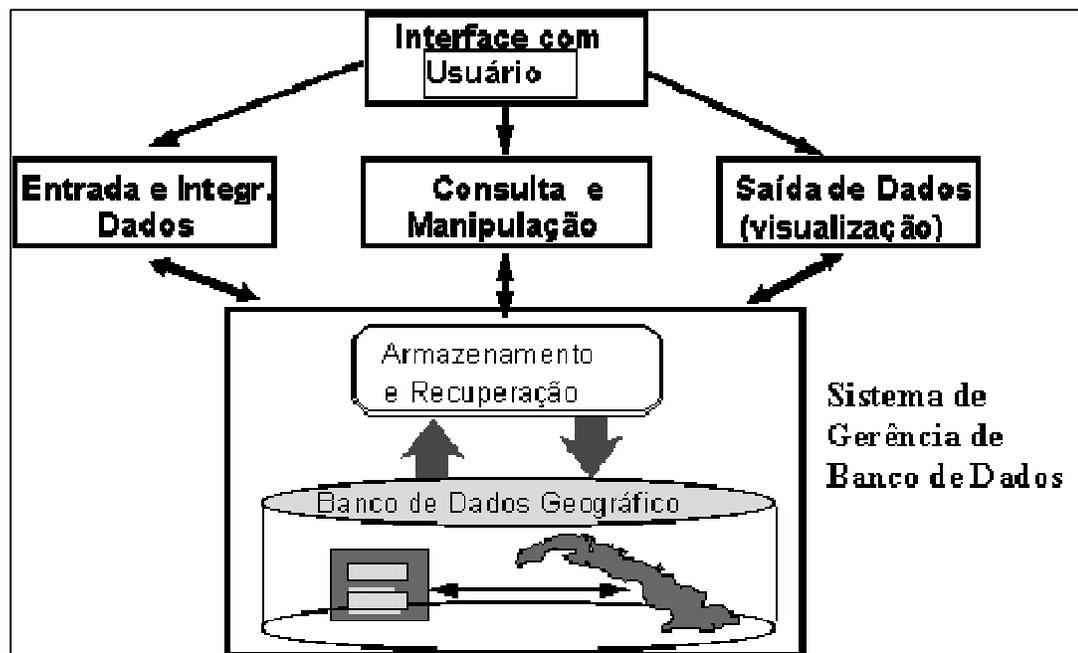


Figura 2 - Componentes de um Sistema de Informação Geográfica. FONTE: adaptada de Câmara (1995).

O relacionamento entre estas partes se relaciona de forma hierárquica:

...No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG apresenta mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de banco de dados geográficos controla o armazenamento e a recuperação de dados espaciais e seus atributos (ASSAD;SANO,1998).

Além disso, os dados utilizados em SIG podem ser divididos em dois grandes grupos, denominados de dados gráficos, espaciais ou geográficos, os quais descrevem as características geográficas da superfície terrestre (forma e posição) e dados não gráficos, alfanuméricos ou descritivos, que descrevem os atributos dessas características (ROCHA, 2000).

Dados cartográficos, fotografias aéreas, imagens de satélites e mapas temáticos são armazenados no banco de dados geográficos de um SIG em duas grandes classes de representação, sejam elas a forma Vetorial (Vetor) e a Matricial (Raster), às vezes denominadas de estruturas ou, erroneamente, de formato.

No modelo vetorial, as entidades do mundo real são representadas graficamente sob a forma de pontos, linhas ou polígonos. Já no formato matricial, tem-se uma matriz de células, às quais estão associados valores, que permitem reconhecer o objeto sob a forma de uma imagem digital, em que cada uma das células, chamadas de *pixel*, é endereçada por meio de suas coordenadas (linha, colunas), sendo que cada pixel está associado a valores que serão sempre números inteiros e limitados, geralmente entre 0 e 255 (ROCHA, 2000).

Segundo o mesmo autor, os dados alfanuméricos podem ser subdivididos em dois atributos, que são os dos dados espaciais e os dos atributos georreferenciados. Os primeiros fornecem informações descritivas acerca das características de algum dado espacial, estando ligados aos elementos espaciais através de identificadores comuns, normalmente chamados de geocódigos, que estão armazenados tanto nos registros alfanuméricos como nos espaciais. Já os atributos georreferenciados são dados em que a preocupação é apenas georreferenciar alguma característica específica, sem que sejam descritas as suas feições espaciais.

Nesse contexto, também é necessário uma abordagem em relação aos tipos de mapas de dados geográficos, destacando-se os mapas temáticos e os mapas cadastrais.

Os mapas temáticos descrevem, de forma qualitativa, a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, como os mapas de aptidão agrícola de uma determinada região, sendo que esses dados são obtidos a partir de levantamento de campo e inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens. Os mapas cadastrais distinguem-se dos temáticos, pois cada elemento é considerado como um objeto geográfico, possuindo atributos e podendo estar associados a várias representações gráficas (ASSAD; SANO 1998).

É muito importante ressaltar que a utilização dos SIG não proporciona total segurança de que o produto final corresponda a alternativas de soluções corretas, pois se não houver um controle da qualidade do banco de dados, ou seja, se este for impreciso, com erros, o resultado final será um mapa colorido, talvez que impressione, mas, na prática, nada mais será que um mapa sem significado, impróprio para o uso.

2.5 Modelagem dinâmica

Historicamente, o desenvolvimento das tecnologias associadas ao Geoprocessamento enfatizou a representação dos fenômenos do espaço no computador de forma estática, pois a principal abstração utilizada em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é o mapa. Mas a maioria dos fenômenos, tais como planejamento urbano, escoamento da água da chuva, dispersão de sementes e evolução do uso da terra são inerentemente dinâmicos, e as representações estáticas comumente utilizadas em SIG não as capturam adequadamente no espaço, sendo, dessa maneira, uma grande preocupação da Ciência da Informação Espacial o desenvolvimento de técnicas e abstrações eficazes na representação adequada de fenômenos espaço-temporais dinâmicos (PEDROSA; CÂMERA, 2002).

O estudo de mudanças na paisagem vem sendo desenvolvido através da aplicação de técnicas de modelagem, através do desenvolvimento de modelos. Soares Filho (1998, p.55) lembra que o termo modelagem se refere:

...ao processo de pesquisa que leva à geração do modelo (representação) de um sistema. Este processo se desenvolve, então, através da definição de um

conjunto de hipóteses ou predições, que poderão ser comparadas com medidas do mundo real. Dependendo da concordância entre o observado e o resultado gerado, o modelo será aceito, rejeitado ou modificado de alguma maneira, para novamente ser testado.

Burrough (1998) complementa que “um modelo espacial dinâmico é uma representação matemática de um processo do mundo real em que uma localização na superfície terrestre muda em resposta a variações nas forças dirigidas.”

Esses modelos de paisagem conceituados acima são classificados em três grandes grupos: modelo de escala, modelo conceitual e modelo matemático, sendo que o modelo de escala é, em geral, um modelo que reproduz uma redução simplória do sistema original. Já o modelo conceitual descreve o processo através da construção de organogramas que mostram o sistema principal e os processos e inter-relações entre os subsistemas formadores deste; o modelo matemático que será o desenvolvido e analisado por essa pesquisa utiliza-se de sistemas de equações na construção deste, e podem ser classificados em dois grupos distintos: determinísticos ou estocástico-probabilísticos (STEYAERT, 1993).

No modelo determinístico, o estado de um sistema é definido por causas que se podem determinar e identificar e descrito adequadamente sem recorrer a elementos probabilísticos, determinando os resultados, exatamente, a partir das condições iniciais. Já no modelo estocástico, suas variáveis respondem a uma distribuição específica, não oferecendo soluções únicas, mas apresentam uma distribuição de soluções associadas a uma probabilidade, segundo uma determinada distribuição de probabilidades, ou seja, é o modelo matemático que incorpora elementos probabilísticos e cujos resultados representam probabilidades (AGRITEMPO, 2007).

Como os modelos da paisagem estão intimamente ligados aos padrões de uso da terra que definem o arranjo dos diferentes elementos da paisagem, a definição de terra de Stewart (apud ALMEIDA, 2003), no contexto científico, é o de que o termo terra é usado em um sentido compreensivo, integrador, referindo-se a um vasto espectro de atributos de recursos naturais em um perfil que vai desde a atmosfera até alguns metros abaixo da superfície da terra. Seus principais atributos são clima, relevo, solo, vegetação, fauna e recursos hídricos.

O termo uso da terra está ligado à ação antrópica, ou seja, a destinação que o homem dá a terra e, nesse sentido, Skole (1994) afirma que o uso do solo é o emprego humano de certa cobertura da terra, o meio pelo qual a atividade humana se apropria dos resultados da produção primária líquida, conforme determinado por um complexo de fatores socioeconômicos. Já o termo “mudança de uso da terra”, para Briassoulis (2000), significa transformações quantitativas na área (aumento ou diminuição) de um dado tipo de uso do solo. Segundo essa autora, a mudança de uso pode envolver a conversão de um uso em outro, ou ainda a modificação de certo tipo de uso no seu padrão de desenvolvimento do mesmo uso, e assim o uso da terra pode modificar um sistema formador da paisagem. Em vista disso, os modelos de simulação procuram descrever os processos de uso da terra passados para então prever os cenários futuros.

É preciso também salientar que a modelagem tem aplicações em vários campos da ciência, como na Geomorfologia, em estudos Climáticos e de impacto ambiental, na dinâmica populacional e na análise do uso e cobertura da terra, requerendo, dessa forma, que os SIG tenham a capacidade de representar os tipos de processos dinâmicos encontrados em estudos de sistemas físicos e socioeconômicos.

Nesse contexto, a Modelagem Dinâmica procura superar as limitações atuais da tecnologia de Geoprocessamento, fortemente baseada em uma visão estática e bidimensional do mundo, sendo que o objetivo dos modelos dinâmicos em SIG é realizar a simulação numérica de processos dependentes do tempo, como nos modelos hidrológicos, que simulam o fluxo e transporte de água (BURROUGH, 1998).

Lambin (1994) afirma que para um modelo responder corretamente na simulação da paisagem, este deve responder às seguintes questões:

- Quais variáveis ambientais e culturais contribuem para explicar o fenômeno e quais são os processos ecológicos e socioeconômicos existentes por trás do fenômeno?
- Como o processo evolui?
- Onde ocorrem os fenômenos?

O entendimento das questões “Por quê”, “Quando” e “Onde” contribui de forma relevante na descrição quantitativa e qualitativa de um fenômeno e na previsão de sua evolução, integrando suas escalas temporal e espacial.

Também conforme Carneiro (2004), Modelagem é o processo cognitivo no qual os princípios de uma ou mais teorias são aplicados para se produzir um modelo de um determinado fenômeno real, considerando-se fenômeno como qualquer fato ou situação concreta de interesse científico, passível de descrição ou explicação, como, por exemplo, os fenômenos meteorológicos.

Dessa forma, qualquer modelo é resultado da criatividade e do conhecimento que o modelador possui a respeito do fenômeno observado e, por isso, um único fenômeno pode ser modelado de várias maneiras. Durante a modelagem, existe a necessidade, por parte do modelador, de especificar a estrutura e o comportamento do modelo idealizado. Essa especificação pode ser representada de várias maneiras, como, por exemplo: os modelos matemáticos geralmente são especificados na forma de equações algébricas, se discretos, ou de equações diferenciais, quando contínuos (CARNEIRO, 2004), ao passo que modelos computacionais são representados utilizando-se variadas linguagens de programação. Portanto, um mesmo modelo pode ser representado de várias maneiras. Com base nesses fatos, a noção de modelo pode ser definida como uma representação simplificada e abstrata de algum fenômeno que, baseada em uma descrição formal de objetos com suas relações e de processos, permite sua simulação (CARNEIRO, 2004).

2.5.1 Modelo estocástico

Pedrosa e Câmara (2002) descrevem Cadeias de Markov como modelos matemáticos empíricos que servem para descrever processos estocásticos e podem ser denotadas por:

$$\Pi (t+1) = P^n . \Pi (t)$$

Onde $\Pi(t)$ é o estado do sistema no tempo t , $\Pi(t+1)$ é o estado do sistema no instante $t+1$ e P^n são os estados passíveis de acontecer, que são representados em matrizes de probabilidades de transição. 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 $t \rightarrow t+1$.

As cadeias de Markov também podem ser compreendidas como uma máquina de mudanças de estados, em que se emprega a teoria de grafos para descrevê-las, na qual o funcionamento de um sistema tem um conjunto de estados possíveis que ele pode assumir (nós), e outro de transições que cada estado pode assumir (arcos) (BACA et.al, 2007).

O processo analisado pela matriz de Markov simula a mudança de uso e cobertura da terra de uma maneira multidirecional, ou seja, parcelas de terra podem teoricamente mudar de uma categoria de uso mutuamente exclusiva para uma outra em um tempo qualquer. Portanto, três categorias de uso geram nove possibilidades diferentes de mudança, as quais estão dispostas na seguinte matriz:

$$P = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{vmatrix}$$

As probabilidades de transição são usualmente derivadas de amostras relativas a certo instante de tempo. Cadeias de Markov de 1ª ordem assumem que o estado futuro do sistema depende apenas do seu estado presente e das possibilidades de transição, sendo independente da trajetória que o levou àquele estado (estados em um tempo $t-1$). Esse modelo não ignora o passado, mas assume que toda a informação do passado está concentrada no presente estado do sistema. Dessa forma, as iterações são instantâneas, sendo irrelevante o tempo de permanência das variáveis em cada estado (SOARES-FILHO, 1998).

Outra característica das Cadeias de Markov é que as probabilidades de transição não mudam com o tempo, o que caracteriza o modelo como um processo estacionário.

As principais vantagens das Cadeias de Markov são a simplicidade operacional e matemática do modelo aliadas à facilidade com que podem ser aplicadas a dados provenientes de sensoriamento remoto e implementadas em SIG. Outra grande vantagem é o fato de não necessitarem de grande quantidade de dados antigos para prever o futuro (Pedrosa; Câmara, 2002).

É importante reiterar que a cadeia de Markov é adequada para a geração de prognósticos de mudanças de uso e cobertura da terra. Ela também pode ser usada para se estimar a quantia global de mudança, quando dados sobre o uso e cobertura da terra em uma dada fronteira de um período de simulação forem ausentes, posto que dados sobre o uso e cobertura da terra em tempo inicial e final do período de simulação anterior sejam conhecidos.

Baker (1989) também salienta que as cadeias de Markov mostram-se extremamente úteis na simulação de cenários, pois se as transições forem não estacionárias na realidade, a estacionariedade pode ser assumida como um dispositivo heurístico, ou seja, cadeias de Markov podem ser ajustadas para incorporar efeitos de mais alta ordem, como a influência de variáveis endógenas e exógenas, sanando a falta e estacionariedade inerente dos modelos markovianos ao simular o uso da terra.

Para definir as variáveis que influenciam as probabilidades de mudanças de uso expressas pelas cadeias de Markov, Soares-Filho (2002) utilizou o Método de pesos de evidência, que, por sua vez, é baseado no teorema da probabilidade condicional de Bayes (BONHAM-CARTER, 1994). O teorema de Bayes define que a mudança de um uso I para J, (representado na formula por R) ocorre devido a uma evidência S, também definida como variável explicativa. Assim, a formula para se definir a ocorrência de um uso R para J em relação à presença de uma evidência S é definida por:

$$P \{R/S\} = \frac{P \{R \cap S\}}{P \{S\}}$$

Sendo R o evento que representa a variável de transição de um uso I para J; e o S a variável explicativa, P {R ∩ S} então representa a probabilidade condicional de

ocorrência da transição R, dada a presença da variável S. Sendo N a contagem total de pixels dos mapas (área de um evento ou uma evidência), a fórmula anterior pode ser reescrita para:

$$P \{R/S\} = \frac{N \{R \cap S\}}{N \{S\}}$$

Como o método de pesos de evidência relaciona variáveis através de probabilidades de ocorrência, a probabilidade a posteriori de transição I para J (evento R) é definida pela relação da probabilidade a priori de transição já definida e relacionada à probabilidade condicional de estar ou não na área da evidência S, ou seja, pela fórmula:

$$P \{S/R\} = \frac{N \{S \cap R\}}{N \{R\}}$$

Como $P \{S \cap R\}$ é o mesmo que $P \{R \cap S\}$, as equações anteriores podem ser combinadas para determinar $P \{R / S\}$:

$$P \{R/S\} = \frac{P \{R\} \cdot P \{S/R\}}{P \{S\}}$$

Porém, não basta para o modelo estocástico calcular o peso da probabilidade de ocorrência de uma transição de uso da terra a posteriori em relação à presença de uma variável evidência S. Logo, tem-se que calcular também a probabilidade de ocorrência da transição dada a ausência da variável S.

$$P \{R/\bar{S}\} = \frac{P \{R\} \cdot P \{\bar{S}/R\}}{P \{\bar{S}\}}$$

As equações anteriormente apresentadas podem ser expressas sob a forma de odds, que são definidos como a razão da probabilidade de que um evento irá ocorrer pela probabilidade de que ele não irá ocorrer. O método de pesos de evidência usa os logaritmos naturais dos odds, conhecidos por log odds ou logits. Para se clarificar essa abordagem, as equações anteriores serão convertidas para odds. Para tanto, basta dividirem-se os dois lados da equação por: $P \{R/S\}$:

$$\frac{P \{R/S\}}{P \{\bar{R}/S\}} = \frac{P \{R\} \cdot P \{S/R\}}{P \{\bar{R}/S\} \cdot P \{S\}}$$

Considerando-se definições de probabilidade condicional e as equações anteriores, tem-se que:

$$P \{\bar{R}/S\} = \frac{P \{\bar{R} \cap S\}}{P \{S\}} = \frac{P \{S/\bar{R}\} \cdot P \{\bar{R}\}}{P \{S\}}$$

Substituindo-se as equações anteriores, chega-se à seguinte fórmula:

$$\frac{P \{R/S\}}{P \{\bar{R}/S\}} = \frac{P \{R\} \cdot P \{S\} \cdot P \{S/R\}}{P \{\bar{R}\} \cdot P \{S\} \cdot P \{S/\bar{R}\}}$$

Substituindo-se odds nas probabilidades de ocorrência pela presença e ausência de transição, tem-se que:

$$O \{R/S\} = O \{R\} \cdot \frac{P \{S/R\}}{P \{S/\bar{R}\}}$$

Em que o odds condicional (a posteriori) de R dado S é o odds a priori de R; multiplicado pelo que se convencionou chamar modelos de modelagem como razão de

suficiência (LS). No Método de Pesos de Evidência, calcula-se o logaritmo natural de ambos os lados da equação anterior, e o log de LS é denominado peso positivo de evidência $W+$, estimado na presença da variável. Assim, tem-se a fórmula que postula o valor do peso para uma transição em decorrência de uma variável endógena, que influencia, de certa forma, a mudança do uso da terra:

$$\log \{R/S\} = \log \{R\} + W^+$$

Complementando a descrição da fórmula de determinação dos pesos de evidência, Almeida (2003) salienta que, embora a determinação de parâmetros nesse método seja feita individualmente para cada variável, a fórmula de probabilidade agrega toda a informação relacionada a cada uma dessas variáveis, e, portanto, pode ser considerado um método em que o modelador monitora todo o processo de determinação de parâmetros.

É preciso salientar que ainda quando a evidência de vários mapas é combinada, os pesos são calculados para cada mapa independentemente, e então combinados em uma única equação. A probabilidade condicional de um evento ocorrer, dada a presença de duas evidências, S_1 (declividade) e S_2 (buffer de drenagem) é:

$$P \{R/S_1 \cap S_2\} = \frac{P \{R \cap S_1 \cap S_2\}}{P \{S_1 \cap S_2\}}$$

sendo que essa pode ser escrita como:

$$\begin{aligned} P \{R/S_1 \cap S_2\} &= \frac{P \{S_1 \cap S_2/R\} \cdot P \{R\}}{P \{S_1 \cap S_2\}} \\ &= \frac{P \{S_1 \cap S_2/R\} \cdot P \{R\}}{P \{S_1 \cap S_2/R\} \cdot P \{R\} + P \{S_1 \cap S_2/\bar{R}\} \cdot P \{\bar{R}\}} \end{aligned}$$

Este é o teorema de Bayes. Segundo ele, há apenas duas hipóteses mutuamente exclusivas, R e \bar{R} , com $P\{R\} + P\{\bar{R}\} = 1$. Os efeitos da interação entre S_1 e S_2 podem ser ignorados supondo-se a independência condicional entre eles. Isto fornece uma simplificação, pois permite que os efeitos de cada mapa de evidência sejam avaliados individualmente e então combinados pela multiplicação (ou adição no caso log-linear) dos fatores dos vários mapas juntos.

A suposição de independência condicional pode ser expressa como:

$$P\{S_1 \cap S_2 / R\} = P\{S_1 / R\} \cdot P\{S_2 / R\}$$

o que permite que essa equação seja simplificada da seguinte forma:

$$P\{R / S_1 \cap S_2\} = P\{R\} \cdot \frac{P\{S_1 / R\}}{P\{S_1\}} \cdot \frac{P\{S_2 / R\}}{P\{S_2\}}$$

Usando-se a forma de odds, o odds condicional ou posterior é dado por:

$$O\{R / S_1 \cap S_2\} = O\{R\} \cdot LS_1 \cdot LS_2$$

ou utilizando-se a forma log-linear de pesos de evidência, como:

$$\text{logit}\{R / S_1 \cap S_2\} = \text{logit}\{R\} + W_1^* + W_2^*$$

Qualquer que seja a formulação usada para o modelo, há quatro modos diferentes de se combinar dois mapas de evidência: a primeira sendo ambas evidências presentes e as outras três maneiras são S_1 presente e S_2 ausente; S_1 ausente e S_2 presente; e S_1 e S_2 ausentes. Na forma log-linear, essas combinações são escritas como:

$$\text{logit } \{R/S_1 \cap \bar{S}_2\} = \text{logit } \{R\} + W_1^* + W_2^*$$

$$\text{logit } \{R/\bar{S}_1 \cap S_2\} = \text{logit } \{R\} + W_1^* + W_2^*$$

$$\text{logit } \{R/\bar{S}_1 \cap \bar{S}_2\} = \text{logit } \{R\} + W_1^* + W_2^*$$

2.6 Principais aplicativos computacionais

No desenvolvimento dessa pesquisa, serão utilizados basicamente quatro aplicativos computacionais, sendo o primeiro denominado de SPRING, que é um programa direcionado ao Geoprocessamento, no que se refere à criação e desenvolvimento de mapas com as mais variadas informações referentes à Quarta Colônia. O segundo programa, em ordem de utilização, será o IDRISI, para a realização da tabulação cruzada para gerar os mapas de uso e cobertura da terra de 2002 a 2008, que serão utilizados para a simulação. Em seqüência, será utilizado o Ermapper, responsável pela preparação final dos mapas no formato ers, para serem utilizados no Dinamica EGO, programa responsável pela simulação do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia para o ano de 2018.

2.6.1 Aplicativo SPRING

De acordo com o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que foi o elaborador do software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), este é um SIG para ser utilizado em ambiente UNIX e Windows, operando também como um sistema gerenciador de banco de dados que suporta um grande volume de informações, mantendo a identidade dos objetos geográficos, não

apresentando limitações de escalas, projeções e fusos, permitindo a manipulação de dados vetoriais e matriciais. Também realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto com dados espaciais não-espaciais.

Para que o SPRING consiga desempenhar suas funções, o INPE (2007, p.34) destaca que esse software é:

Baseado em um modelo de dados, orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL. Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações.

No SPRING, um conjunto de objetos componentes de um mapa tem como características básicas o fato de serem tratados como um *plano de informação (PI)*, em que um *projeto* que serve para definir a projeção cartográfica e delimitar a área de estudo, cada *PI* está associado a uma *categoria* e, conseqüentemente, refere-se a um único modelo de dados (temático, numérico, imagem, cadastral ou rede). As representações de um *PI* são diferenciadas em função do modelo de dados ao qual pertencem; por exemplo, um *PI* de categoria numérica poderá ter como representações: amostras (pontos e linhas), grade regular, grade triangular (TIN) ou isolinhas (Hendges, 2007).

Existem diferentes formas de classificação de objeto da paisagem quando são incorporados em um banco de dados no SPRING, como pode ser visualizado a seguir:

- Temático: podem ser: - Pontos, apresentação de todos os pontos 2D; Linhas, apresentação de todas as linhas que definem ou não polígonos; Matriz, formato matricial dos vetores; Classes, apresentação de pontos/linhas/polígonos que estão associados às classes, com seus respectivos visuais; Texto, toponímia gerada automaticamente ou editada.

- Numérico: podem ser: Amostras, pontos cotados e isolinhas importadas ou editadas; Grade, grade retangular; TIN, grade triangular; Isolinhas, isolinhas geradas a partir de grade; Imagem, imagem em níveis de cinza da grade; Texto, toponímia gerada automaticamente ou editada.

- Imagem: pode ser representada por: M, canal monocromático; R, canal vermelho; G, canal verde; B, canal azul; Texto, toponímia editada sobre a imagem; Sintética, codificação de três bandas em uma única imagem; Classificada, imagem criada por processos de classificação; Rotulada, linhas criadas pela segmentação de imagens.

- Rede: representadas por: Linhas, apresentação de todas as linhas; Objetos, apresentação das linhas/nós que estão associados a objetos, com seus respectivos visuais; Texto, toponímia gerada automaticamente ou editada.

- Cadastral: podem ser: Pontos, apresentação de todos os pontos 2D; Linhas, apresentação de todas as linhas que definem ou não polígonos; Objetos, apresentação de pontos/linhas/polígonos que estão associados aos objetos, com seus respectivos visuais; Texto, toponímia gerada automaticamente ou editada.

Dessa forma, é através de algoritmos pré-programados do aplicativo SPRING que será possível a classificação do uso da terra nas datas previstas nos objetivos dessa pesquisa, por meio das imagens de satélite, como também a confecção dos demais mapas temáticos referentes aos diversos elementos formadores das paisagens gaúchas. O SPRING possui ainda um amplo conjunto de possibilidades para os formatos de exportação de dados, facilitando assim o uso dos diferentes aplicativos requeridos para elaboração dos mapas finais de simulação de cenários pelo modelo estocástico.

2.6.2 Aplicativo Dinamica EGO

Para a simulação proposta nessa pesquisa, foi utilizado o software Dinamica EGO – acrônimo para Environment for Geoprocessing Objects (ambiente para objetos de geoprocessamento), baseado em autômatos celulares, sendo que o núcleo do Dinamica EGO, responsável pela criação e execução dos modelos, é escrito em C++, enquanto a interface gráfica é escrita em Java.

Stephen Wolfram, considerado um dos mais renomados estudiosos sobre autômatos celulares, define-os como sendo:

... idealizações matemáticas de sistemas físicos, no qual o espaço e o tempo são discretos, e os atributos assumem um conjunto de valores também discretos. Um autômato celular consiste de uma grade regular uniforme (ou 'campo matricial'), comumente infinito em sua extensão, com uma variável discreta em cada localidade ('célula'). O estado de um autômato celular é completamente especificado pelos valores das variáveis em cada célula. Um autômato celular evolui em passos de tempo discretos, com o valor da variável em uma célula sendo afetado pelos valores das variáveis nas células vizinhas encontrados no passo de tempo anterior. A vizinhança de uma célula é tipicamente formada pela própria célula em consideração e todas as demais células localizadas nas suas adjacências imediatas. As variáveis em cada célula são atualizadas simultaneamente ('sincronizadamente'), baseando-se nos valores das variáveis da sua vizinhança no passo de tempo precedente, e de acordo com um conjunto predefinido de 'regras locais' (WOLFRAM, 1983, p. 603).

Em geral, o mecanismo de autômatos celulares consiste em um arranjo n -dimensionais de células, no qual o estado de cada célula depende de seu estado prévio e de um conjunto de regras de transição, de acordo com um arranjo específico de certa vizinhança, sendo todas as células atualizadas simultaneamente a passos discretos de tempo.

Recentemente, os conceitos de autômatos celulares têm sido utilizados para a modelagem de fenômenos físicos e urbanos (PEDROSA e CÂMARA, 2003). Nessa abordagem, um espaço é representado por um mosaico de células, geralmente de tamanhos e formatos idênticos, e sobre cada autômato celular são aplicadas regras de transição que determinam quando e por que o estado de uma célula se altera. As regras de transição especificam que o estado de uma célula em um instante $t+1$ é igual ao dos seus vizinhos no instante t , se esses vizinhos tiverem os estados iguais; caso contrário, o estado da célula permanece o mesmo.

No Dinamica EGO, o ambiente de modelagem considera uma série de operadores denominados de *functores* (*functors*), em que um *functor* pode ser compreendido como um processo que atua sobre um conjunto de dados de entrada sobre o qual é aplicado um número finito de operações, produzindo como saída um novo conjunto de dados, sendo cada *functor* responsável pela execução de uma tarefa

específica, que incluem toda uma gama de operadores de álgebra cartográfica (Tomlim, 1990).

Soares Filho (2006) menciona que esses *functores* podem ser considerados como os elementos básicos de um modelo cartográfico, que, até a atualidade, foram implementados os operadores de análise espacial mais comuns disponíveis em SIG comerciais, mais uma série de operadores especialmente desenhados para simulação espacial, incluindo métodos de calibração e validação.

Também é preciso destacar que o Dinamica é um simulador de paisagens baseado em simulação discreta e em autômatos celulares, sendo que esse software utiliza como parâmetro de entrada o mapa temático da paisagem (originado usualmente de dados de sensoriamento remoto), que é representado por uma matriz. Para a modelagem, são consideradas outras variáveis espaciais (bases cartográficas), que são classificadas em dinâmicas e estáticas, levando-se também em consideração outros parâmetros que são necessários à composição dos dados de entrada: as taxas anuais de transição, eventual valor de saturação de desmatamento, tempo mínimo de permanência em cada estado, porcentagens de transição alocadas por cada um dos algoritmos de transição desenvolvidos, entre outros. Como saída, o software produz mapas temáticos da paisagem para cada passo de tempo simulado (SOARES-FILHO, 2001).

Soares Filho (1998) diferencia as variáveis estáticas das dinâmicas, sendo que as primeiras referem-se a mapas referentes às diferentes características humanas e físicas da paisagem, e as variáveis dinâmicas referem-se a mapas de distância a certos tipos de uso da terra. Essas variáveis, por sua vez, sofrem alterações a cada iteração do programa, que são continuamente atualizadas de modo a influenciar o cálculo das probabilidades de transição na próxima iteração, e, portanto, a cada iteração do programa ocorrem mudanças no estado (uso da terra) das células, mudando assim a distribuição dos usos que novamente são recalculados para novas etapas da simulação.

Três variáveis espaciais são essenciais para a execução de uma simulação: são os mapas de uso da terra, o mapa com o tempo de permanência dos tipos de uso e os mapas das variáveis estáticas. Além disso, é necessária a inserção da matriz de

transição, responsável por informar ao algoritmo de simulação o percentual de alteração de um uso para outro, sendo essa informação obtida externamente, podendo ser conseguida através da tabulação cruzada do mapa de cobertura de uso da terra inicial com outro mapa desse mesmo tipo em um instante de tempo ulterior, ou seja, a matriz de transição é que determina os tipos de alteração de uso da terra possíveis e a sua extensão. É necessária também a inserção da matriz de pesos de evidência, que é a influência de cada faixa de valores das variáveis estáticas nas probabilidades espaciais de uma transição, em que, através dessas informações, o software determina onde vai ocorrer a transição (GONÇALVES et. al, 2007).

Também é preciso definir os dados sobre as funções ou algoritmos de transição *expand* e *patcher* (responsáveis pela característica espacial das transições) que o DINAMICA apresenta para a realização da transição do uso da terra. A função *expand* responde pela expansão de manchas previamente existentes de certa classe de uso da terra, e a função *patcher*, por sua vez, destina-se à geração de novas manchas através de um mecanismo de constituição de sementes, ou seja, a função *expand* executa transições de um estado i para um estado j apenas nas vizinhanças adjacentes de células com estado j , e a função *patcher* realiza transições de um estado i para um estado j apenas nas vizinhanças adjacentes de células com estado diferente de j (SOARES-FILHO et al. 2002).

Almeida (2002) destaca que ambos os algoritmos de transição do aplicativo DINAMICA adotam um mecanismo estocástico de seleção, no qual o algoritmo aplicado consiste no escaneamento do mapa de uso da terra inicial para identificar as células com valores de probabilidade mais elevados, e dispô-las em um vetor de dados, e seguindo esse procedimento, as células desse vetor são selecionadas aleatoriamente em sentido descendente (o mecanismo estocástico de seleção interna pode ser suavizado ou realçado, dependendo do grau de aleatoriedade desejada). No final, o mapa de uso da terra é novamente escaneado para se executarem as transições selecionadas.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

A Quarta Colônia, que será a área de estudo, localiza-se no centro geográfico do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas $29^{\circ} 09' 15,39''$ e $29^{\circ} 58' 37,68''$ de latitude sul e $53^{\circ} 55' 12''$ e $53^{\circ} 55' 12''$ de longitude oeste. É composta por nove municípios: Silveira Martins, Ivorá, São João do Polêsine, Faxinal do Soturno, Dona Francisca, Nova Palma, Pinhal Grande, Agudo e Restinga Seca (Figura 3).

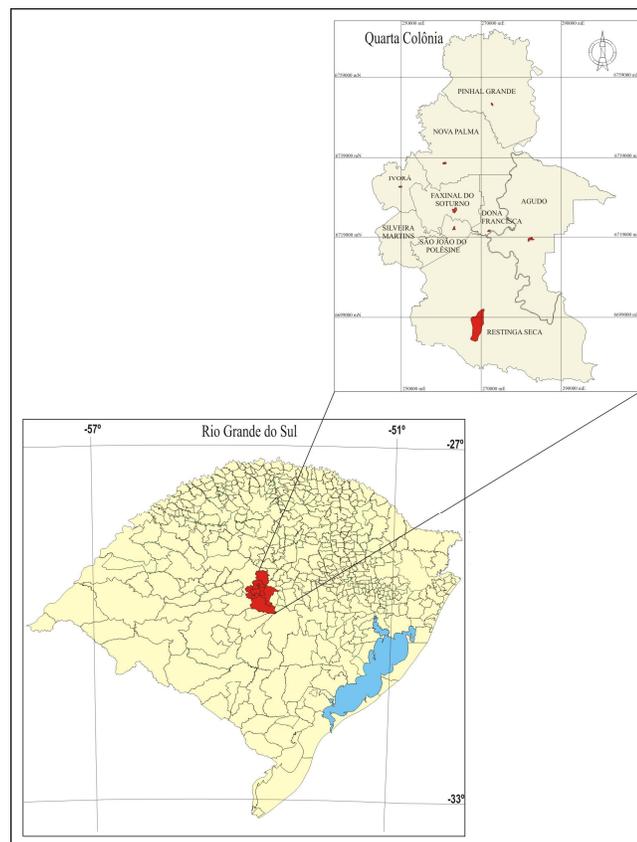


Figura 3 - Localização da Quarta Colônia. Elaboração: autora

3.2 Aspectos físicos da paisagem

A Quarta Colônia situa-se em relação à geomorfologia na Depressão Central do Rio Grande do Sul, que faz limite com a Serra do Sudeste, ao sul, com a Campanha, a oeste, com o litoral, ao leste, e a Serra Geral, ao norte. Como menciona Rambo (1954), essa é considerada, entre as regiões naturais do Rio Grande do Sul, a menor de todas e a mais importante no ponto de vista antropogeográfico. A Depressão Central é constituída principalmente de arenito Triássico, sendo classificada pelos geólogos em duas formações: a do Rio do Rastro, inferior, abrangendo uma faixa central da região, e a do Botucatu, superior, nas proximidades da Serra Geral.

A região da Quarta Colônia possui alguns municípios que estão situados na região de transição do Planalto Meridional e a Depressão Central, como por exemplo, os municípios de Ivorá, Silveira Martins e Nova Palma, ou seja, estão situados no Rebordo do Planalto.

De acordo com o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2002, p.11), “ao centro do estado está a Depressão Central, que é formada de rochas sedimentares dando origem a um extenso corredor que liga o oeste ao leste através de terrenos de baixas altitudes.” Dessa maneira, é explicada a origem da maioria dos solos, com grande percentagem de areia, na Depressão Central.

A borda do Planalto e os vales profundos são compostos de solos areníticos e de transporte fluvial. Os solos de origem arenítica são geralmente pobres em elementos nutrientes; já os solos de origem de transporte por água, proveniente do meláfico (terra rocha, vermelha e preta) são um dos melhores solos para a agricultura do estado (Rambo,1954). Pela acumulação geomórfica, ocorrem áreas de acumulação aluvial da bacia Vacacaí-Jacuí, e esse tipo de solo ocorre nas partes mais baixas (vales), sendo muito utilizado para o cultivo do arroz. Essas características são diretamente refletidas na formação e coloração do solo e perceptíveis na composição destes na região em estudo.

Em relação ao relevo da Quarta Colônia, este é condicionado pela formação geológica-geomorfológica e pelas condições de clima pertinentes na região. O relevo da Depressão Central se caracteriza por um modelado tipicamente arenítico de formas

tabulares, colinas com altitudes não superiores a 300m e com presença de morros testemunhos, como o Morro Agudo.

O arenito já bastante erodido resulta em coxilhas esparsas, como ocorre mais predominantemente em Restinga Seca; o restante dos municípios se caracteriza por um relevo mais movimentado, com grande quantidade de morros e sucessivos vales, em virtude de estarem no rebordo do Planalto Meridional. Portanto, quase toda a região da Quarta Colônia é caracterizada por uma região de relevo mais movimentado com presença de vales de aluvião.

Como a Quarta Colônia se encontra parcialmente no rebordo do Planalto e parcialmente na Depressão Central, forma-se uma região mista, além da formação vegetal apresentar influências das formações limítrofes.

Na Depressão Central,

...os contingentes vegetais estão em proporção direta com o montante das regiões marginais: a vegetação litorânea é pouco sensível no extremo leste; as planuras de campos limpos e secos são também raros no extremo oeste; por sua vez, em toda a margem meridional do Jacuí, o quadro vegetativo é fortemente influenciado pelas formações campestres de coxilhas secas próprias da Serra do Sudeste; ao norte do Jacuí, já predomina o caráter vegetativo da Serra Geral, com largas galerias compostas de espécies migradas do Planalto, e grandes extensões de mata virgem fechada, em nada inferior às das fraldas da Serra (Rambo, 1954, p. 169)

Ainda sobre a vegetação, Rambo relata que, ao se aproximar da antiga Colônia de Santo Ângelo, da qual faziam parte também Agudo e Dona Francisca, entre outros municípios, avistavam-se florestas que formavam a mata virgem contínua da Serra, e as planícies dos campos tornavam-se mais limitadas, até se reduzirem em manchas rodeadas de mata e moitas de arbustos. Onde ocorre o limite do campo com a mata, aparece o característico gravatá.

Essa microrregião, na maior parte dos municípios, possui campos com capões e mata nativa em grande proporção. Conforme o Projeto de Desenvolvimento da Quarta Colônia Italiana do Rio Grande do Sul (PRODESUS), “A região da Quarta Colônia Italiana do RS faz parte do ecossistema da Mata Atlântica.”

Essa mata revela uma formação exuberante, com grande diversidade de espécies. Dentre as denominações mais comuns de vegetações nos campos, além das

gramíneas presentes, encontram-se os capões e as restingas, que podem estar compostos por Aroeiras e Maria Mole, entre outras espécies. Nas matas virgens encontram-se árvores como o Cedro, Cangerana, Louro, Figueira, Camboatá, Mamica de Cadela etc. Os capões, muitas vezes, são utilizados pelo gado para se proteger das intempéries (dias frios de inverno ou no verão) ou para a alimentação dos galhos mais baixos em época de falta de pasto no campo.

A Mata Galeria, ao longo dos rios, também é característica da Depressão Central, na proximidade da mata virgem da Serra Geral e o solo pantanoso de grandes trechos da margem dos rios. Hoje, essa mata se encontra bastante destruída pelo avanço da agricultura, como, por exemplo, nas várzeas próximas ao rio Jacuí, na cidade de Dona Francisca, com o cultivo do arroz irrigado. Também essa realidade se repete nas várzeas às margens do rio Soturno, no qual estão os municípios de Nova Palma, Faxinal do Soturno e São João do Polêsine.

A hidrografia do Rio Grande do Sul tradicionalmente se divide em três grandes bacias: a do Uruguai, a do litoral e a do Guaíba.

O rio mais importante do estado encontra-se na Bacia do Guaíba, sendo ele o rio Jacuí, banhando as terras de uma parte da região da Quarta Colônia, passando pelos municípios de Dona Francisca e Nova Palma. O rio nasce no município de Mato Castelhano, sendo responsável por 85% das águas que formam o Lago Guaíba.

O rio Jacuí se destaca pela sua grande potencialidade hidrelétrica, possuindo várias usinas, dentre elas a Usina Dona Francisca (quinta usina desse rio), situada no município de Nova Palma, com capacidade para produzir energia suficiente para abastecer uma cidade de 350 mil habitantes. Hoje se tornou mais um cartão postal da Quarta Colônia, juntamente com uma grande quantidade de cascatas e balneários – oriundos de rios de tamanhos menores –, os quais merecem ser citados: a Cascata das Pedras Pretas do rio Piruva (Ivorá), com altura de aproximadamente 35m; o Balneário Dom Vitório (São João do Polêsine); a Cascata do Segatto, afluente do arroio Trombudo (Dona Francisca); a Cascata Oliveira, do rio Igarapó (Silveira Martins); o Balneário Nova Palma (Nova Palma), do rio Soturno, que nasce em Júlio de Castilhos passando por Nova Palma, Faxinal do Soturno, São João do Polêsine e deságua no rio

Jacuí, em Dona Francisca. Também em Nova Palma se encontra a cascata das Pedras Brancas.

Em relação ao clima atual do estado do Rio Grande do Sul, é possível inferir que é influenciado pela inclinação do eixo de rotação da Terra, que proporciona alternâncias bem definidas das estações do ano (latitude), e pela sua posição junto ao Oceano Atlântico, sendo afetado com facilidade pela entrada das massas de ar marítimas. Dentre as massas de ar mais importantes destacam-se: a massa de ar polar atlântica, fria e úmida, e a massa de ar tropical, quente e seca. As massas de ar polar atlântica, mais intensas no inverno, ocasionam as frentes frias (que atuam pela elevação de uma massa de ar mais quente, polar aquecida ou velha), em média, uma vez por semana. As frentes frias podem estacionar, provocando chuvas contínuas, ou passar rapidamente, provocando chuvas rápidas, mas, normalmente, provocando quedas de temperatura. Durante o verão, a elevação da temperatura ocorre pelo enfraquecimento das massas de ar polar atlântica, que dão lugar às massas de ar tropical quente e seca, originárias do Oceano Atlântico ou do continente, proveniente da região do Chaco paraguaio (COSTA e MOREIRA, 1982).

No Estado, a temperatura média está em torno de 18°C, mas varia entre 16°C e 19,4°C, dependendo da zona geomorfológica. As mais elevadas são encontradas na porção oeste, noroeste e central. As menores ocorrem, principalmente, a nordeste e a centro-norte. A temperatura média mensal do mês mais frio é de 9,9°C a 13,6°C, e do mês mais quente de 22,3°C a 26,1°C (BRASIL, Ministério da Agricultura, 1973).

As precipitações anuais são de 1.186 mm a 2.468 mm. Nas porções oeste, noroeste e central, os índices de precipitação são menores, em torno de 100 mm mensais, e, nas porções nordeste e centro-norte, os índices são maiores, cerca de 200 mm mensais. As chuvas são muito variáveis, podendo ocorrer períodos chuvosos e períodos secos. A duração, época e frequência não são bem definidas. Há anos chuvosos (como os de 1928, 1936, 1941 e 1985), com índices de precipitação em torno de 3.000 mm, e anos secos (como os de 1918, 1942, 1943 e 1984), com chuvas inferiores a 600 mm (BRASIL, Ministério da Agricultura, 1973).

O clima da região da Quarta Colônia, de acordo com a classificação de Köpen, é Cfa, caracterizado pela ocorrência de chuvas todos os meses do ano, por possuir a

temperatura do mês mais quente superior a 22° e a do mês mais frio superior a -3°C (MORENO, 1961).

Na região da Quarta Colônia, a precipitação média anual está entre 1500 e 1700 mm, sendo a época da concentração máxima da precipitação os meses de julho, agosto e setembro, enquanto que novembro, dezembro e março são os meses que apresentam menor índice pluviométrico. A temperatura média anual situa-se entre 18°C e 20°C. O mês mais quente é Janeiro, com uma temperatura média em torno de 23°C (NIMER, 1990).

Na região, há grande formação de nevoeiros, predominando ventos do quadrante leste. As geadas ocorrem com frequência entre abril e setembro, inclusive nevando de julho a agosto em raras localidades, principalmente na Serra Nordeste.

3.3 Material

Na execução dessa pesquisa, foram utilizados materiais cartográficos e materiais de processamento e análise. Entre os materiais cartográficos estão:

- Imagens TM do satélite LANDSAT 5 órbita-ponto: 222-080 e 222 - 081 de 04 de novembro de 1988 e 16 de março de 2008, nas bandas espectrais 3, 4, 5 e imagens ETM do satélite LANDSAT 7 de 19 de janeiro de 2002 nas mesmas órbita-ponto e bandas espectrais de 1988 e 2008.

- Cartas topográficas da DSG elaboradas pelo Ministério do Exército – Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) – Região Sul do Brasil, todas na escala 1:50.000 com impressão em 1979.

Já os materiais de processamento e análise compreendem computadores, periféricos como scanner de mesa, impressora, e aplicativos computacionais como o de tratamento digital de imagens Adobe Photoshop, versão 8.0; Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING, versão 4.3.2; programa de desenho vetorial Corel Draw, versão 13, desenvolvido pela API ICC Kodak Digital

Science; programa IDRISI32; programa ERmapper (versão 7.1) e programa de simulação espacial DINAMICA EGO.

3.4 Procedimentos metodológicos

A metodologia descrita a seguir visa a montagem de um banco de dados geográficos referente a imagens multitemporais e dados cartográficos da região da Quarta Colônia, a partir dos quais será desenvolvido um processo de modelagem espacial dinâmica.

3.4.1 Classificação das imagens

Para a confecção dos mapas de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia, foi preciso realizar a aquisição das imagens de satélite LANDSAT 5 de 1988, LANDSAT 7 de 2002 e LANDSAT 5 de 2008.

As imagens LANDSAT foram adquiridas através da página <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/> da internet, sendo que esse é um portal de distribuição de produtos gratuitos de sensoriamento remoto, que possibilita a realização de pesquisas científicas (Figura 4).

Nessa página, o primeiro procedimento é a escolha do satélite em que se deseja adquirir as imagens (ASTER, IKONOS, LANDSAT, MODIS, QUICKBIRD, ORBVIEW, SRTM); no caso, o LANDSAT, seleciona-se a interface Mapservice, que no site é denominada de ESDI (Earth Science Data Interface), informando o sensor, a data da imagem e as cenas (órbita-ponto), possibilitando ao site disponibilizar as imagens para a visualização e o seu download (Figura 5).

Na Figura 6, abaixo, pode-se visualizar as cenas utilizadas para realização da classificação do uso da terra da Quarta Colônia, sendo que as imagens foram baixadas no formato .tif, que é utilizado no armazenamento de imagens de alta resolução, convertidas no aplicativo IMPIMA (associado ao SPRING) para o formato .grib, compatível com o SPRING, utilizado nessa pesquisa; apesar de possuírem um sistema de georreferenciamento oriundo do satélite, estas passaram por um novo processo de georreferência.

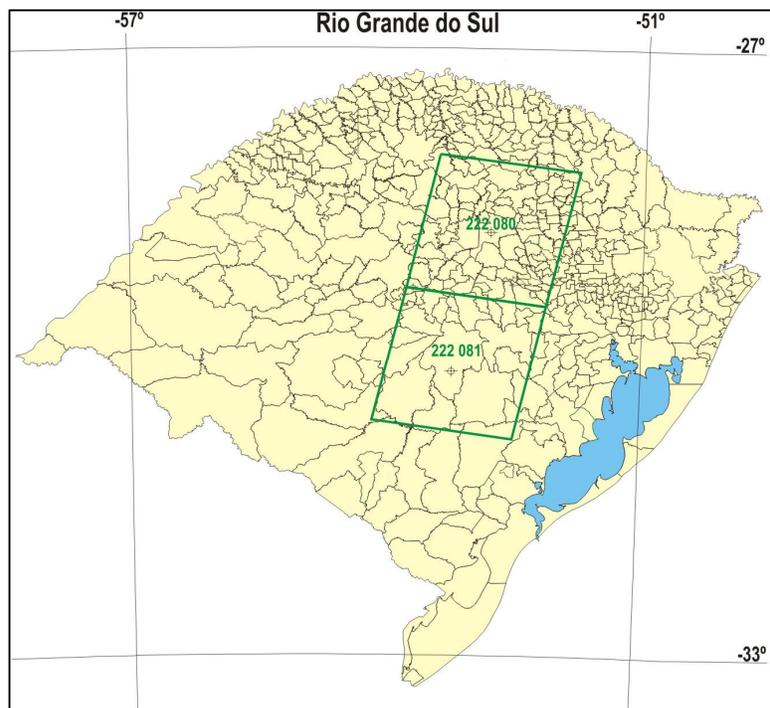


Figura 6 - Cenas do satélite LANDSAT, utilizadas para a classificação do uso e cobertura da terra nos anos de 1988, 2002 e 2008. Elaboração: Autora.

Com a aquisição das imagens de satélite a serem utilizadas, foi realizado o processo de georreferência no aplicativo SPRING, que possui fundamental importância no desenvolvimento de projetos baseados em Sistemas de Informações Geográficas, uma vez que o espaço geográfico é constituído por um conjunto de diferentes planos de

informação e devem possuir o mesmo sistema de referência, para que possam ser sobrepostos.

Dessa forma, esse processo foi realizado pela captura e cálculo de coordenadas geográficas de pontos conhecidos em cartas topográficas analógicas e visíveis nas imagens a serem registradas, podendo estar ao longo das drenagens, barragens, cruzamento de estradas, ferrovias e áreas limite do município.

3.4.2 Contraste de Imagem

A manipulação do contraste tem o objetivo de melhorar a qualidade visual da imagem, visando enfatizar alguma característica de interesse específico, sendo que este foi aplicado às imagens de satélite LANDSAT antes da realização do processo de classificação, para que fosse possível visualizar e diferenciar os padrões de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia. Esse processo é visualizado na Figura 7.

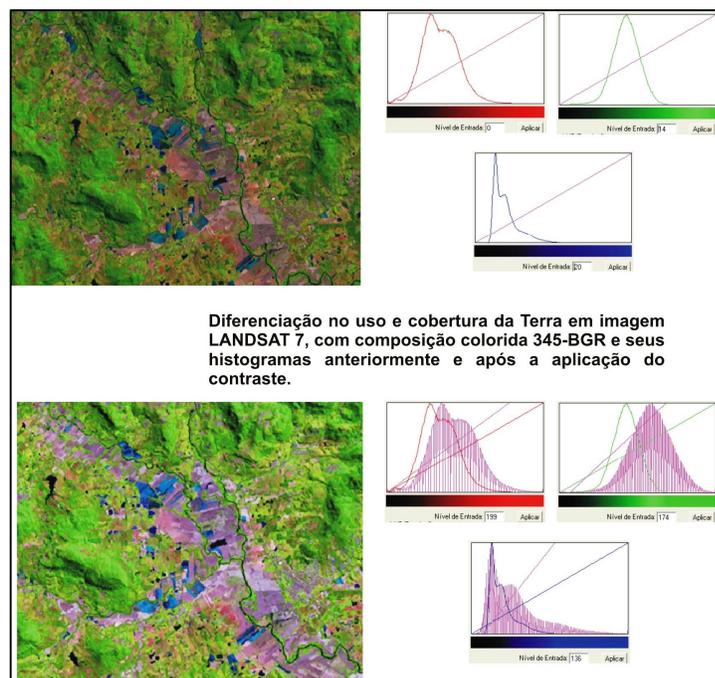


Figura 7 - Manipulação de contraste em imagem de satélite LANDSAT. Elaboração: Autora.

3.4.3 Classificação supervisionada

A classificação digital da carta-imagem da Quarta Colônia foi realizada através da classificação supervisionada, com a utilização do algoritmo classificador da máxima verossimilhança, que adota a função de densidade probabilística, baseada na estatística bayesiana, verificando a probabilidade de cada pixel em pertencer a determinada classe, englobando-a na de maior probabilidade. Para a identificação das áreas de treinamento, elaborou-se a seguinte chave de interpretação:

Classe	Cor	Forma	Textura	Amostra
Floresta	Verde Escuro	Irregular	Rugosa	
Campo	Amarelo Fosco	Irregular	Rugosa Lisa	
Agricultura	Verde Claro Brilhante	Geométrica	Lisa	
Solo Agrícola	Rosa Escuro	Geométrica	Rugosa Lisa	
Água	Azul Escuro	Geometria Irregular	Rugosa Lisa	

Figura 8 - Chave de interpretação – imagem LANDSAT 345. Elaboração: Autora

Para realizar uma boa interpretação e posterior classificação de imagens é necessário conhecer o objeto que se quer agrupar e de como estes aparecem na imagem da Figura 8. Alguns elementos norteiam esse conhecimento como o padrão, a tonalidade ou cor, a forma, o tamanho, a textura e localização no contexto das feições. Estes elementos organizados formam a chamada “chave de interpretação”. Estas chaves de interpretação são importantes para se distinguir quais feições na imagem pertencem a esta ou aquela classe, bem como quais classes existem em um local específico. O Quadro 1 agrupa os principais elementos em uma chave de interpretação.

Padrão	Refere-se ao arranjo espacial de determinados objetos em uma superfície. Dessa maneira, uma área de reflorestamento pode ser distinguida de uma área de floresta nativa pelo espaçamento e distribuição das árvores na superfície.
Tonalidade e Cor	Numa foto ou numa imagem de satélite, as diferentes quantidades de energia refletidas pelos alvos são associadas a diferentes tonalidades, ou seja, quando o objeto reflete muita energia, a quantidade recebida pelo sensor é grande, diferenciando o da tonalidade do objeto que absorve muita energia
Forma	Pode-se considerar a forma como uma expressão topográfica ou de contornos e é tão importante que alguns objetos são identificados apenas por este elemento. As áreas de cultivo florestal por vezes se diferenciam pelas suas formas geométricas, mesmo que as espécies correspondam as mesmas da floresta nativa.
Tamanho	Em interpretação de imagens é comum utilizar o tamanho dos alvos como critério de identificação. Um exemplo prático ocorre na diferenciação de matas de galeria (disposição tênue e comprida) das demais florestas (áreas avolumada).
Textura	Embora com muitas limitações, a textura é definida como grosseira, fina, áspera, aveludada, etc. Em muitos casos a textura está associada ao Padrão, primeiro item citado.
Localização	Diz respeito ao local específico onde uma feição está situada e seu relacionamento com os demais. Este atributo pode ser utilizado para identificar um tipo específico de bioma em uma determinada localização geográfica.

Quadro 1 – Chave de interpretação, ferramenta essencial para a classificação supervisionada de padrões de imagens. Fonte: Florenzano (2002), adaptado pelo Autor.

É preciso ressaltar que o monitoramento do uso e cobertura da terra de uma dada região é fator primordial no planejamento racional da utilização da terra, principalmente devido à grande velocidade de ocupação do espaço físico e às constantes transformações e modificações de uso deste. Através da classificação digital das imagens, baseada na chave de interpretação visualizada na Figura 8, serão gerados planos de informações que posteriormente serão interpolados para avaliar a dinâmica das mudanças no uso e cobertura da terra, considerando-se que a classe de uso “agricultura” foi agrupada juntamente com a classe “solo exposto”, constituindo a classe “solo agrícola”, por considerar-se, nessa pesquisa, essa classe como abrangendo as áreas utilizáveis para agricultura, pois se em determinada época essas podem se apresentar como solo exposto, em outra podem estar sendo utilizadas para a agricultura; e como não foram utilizadas imagens de satélite em mesmo período, optou-se pelo agrupamento.

Após a definição os padrões de uso e cobertura da terra a serem classificados, passou-se a realizar o treinamento das amostras, que consiste na delimitação de um conjunto amostras para o reconhecimento da assinatura espectral de cada uma das classes de uso e cobertura da terra da área imageada, servindo de base para a classificação do algoritmo de máxima verossimilhança. No aplicativo SPRING, as áreas de treinamento são selecionadas através de um arquivo de contexto, no qual são selecionadas as bandas a serem classificadas, assim como o tipo de análise, no caso por pixel, identificando o arquivo com uma nomenclatura específica, passando-se, dessa forma, à digitalização vetorial das amostras na janela de treinamento (Figura 9).

A confiabilidade da classificação digital do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia foi avaliada a partir do desenvolvimento da matriz de confusão das áreas de treinamento das amostras, aplicando-se a fórmula do *Índice Kappa* (relatório gerado pelo aplicativo SPRING após a classificação), considerado um ótimo teste estatístico na análise de confiança da classificação supervisionada através do algoritmo da máxima verossimilhança.



Figura 9 - Exemplos de amostras digitalizadas. Elaboração: Autora.

A partir da classificação das imagens de satélite e, desse modo, obtenção dos mapas de uso e cobertura da terra de 1988, 2002 e 2008, foi possível realizar o cruzamento entre os mapas através da operação de análise LEGAL no SPRING para adquirir a espacialização e quantificação das mudanças ocorridas na evolução em cada classe, ou seja, floresta, campo, solo agrícola e água ao longo do tempo.

Uma análise em LEGAL, como o aplicado na pesquisa conforme menciona Barbosa e Cordeiro (2001), é estruturado em uma lista de sentenças que descrevam um procedimento, ou um conjunto de ações sobre dados espaciais. Tais sentenças são estruturadas em quatro grandes grupos: I) Declarações das variáveis; II) Instanciações das variáveis; III) Operações de álgebra de mapas; e IV) Comandos de controle.

Cada sentença em LEGAL também envolve símbolos, como '{', '(', ')', '}', operadores como '+', '*', '&&', '|'; palavras reservadas como Novo, Nome, Atribua, Pondere; nome de variáveis, como os modelos de dados disponíveis no SPRING; e nomes de itens, referentes aos planos de informação. Uma ampla gama de aplicações

de programas em LEGAL e descrições mais detalhadas podem ser encontradas no Manual do Usuário SPRING (INPE, 2007).

3.4.4 Elaboração dos mapas temáticos

Para a elaboração dos mapas temáticos, todos desenvolvidos no software SPRING, partiu-se para a organização da base cartográfica (Anexo 1) (esta realizada anteriormente ao processo de classificação das imagens LANDSAT), que foi constituída pelo limite territorial da Quarta Colônia, estradas e rede de drenagem, permitindo a confecção do mapa temático de distância (buffer), georreferenciado espacialmente, e que, auxiliou qualitativa e quantitativamente no entendimento da distribuição espacial das informações, como ferramenta para a geração de inúmeros produtos temáticos derivados.

Sua elaboração consistiu inicialmente na importação dos dados digitais contendo os vetores de estradas, drenagem e limites dos municípios digitalizados durante a elaboração do Inventário Florestal da Quarta Colônia, no formato .dxf, seguido da importação e georreferência das cartas topográficas que abrangiam a região, no intuito de realizar uma conferência dos dados adquiridos do Inventário Florestal.

Além da base cartográfica, também foram importantes os dados do levantamento tridimensional da terra realizado pela NASA, denominado de *Missão SRTM* (Shuttle Radar Topography Mission), os quais nos forneceram as curvas de nível (90 m) para a elaboração do mapa temático de declividade.

As curvas de nível da Missão SRTM foram importadas no aplicativo SPRING, no modelo de *MNT* (Modelo Numérico do Terreno); a tabela de dados foi associada a um modelo *Cadastral*, em que suas informações foram relacionadas a um ponto *Objeto* que, nesse caso, foram as coordenadas de localização da sede de cada município da Quarta Colônia.

Faz-se necessário salientar que o mapa temático de distância, a partir da drenagem, e o mapa temático, baseado na declividade do terreno, foram considerados

como variáveis independentes, sendo a variável dependente correspondente a taxas (em hectares) de transição de uso. Esses dados foram utilizados para parametrizar as mudanças de uso e cobertura da terra nos cenários de simulação.

3.4.4.1 Mapa temático de distâncias

O mapa de distâncias, conhecido na linguagem técnica como *buffers*, é agrupado em classes de distâncias do terreno pertencentes a um mesmo intervalo, pré-determinado. O mapa de distâncias, para essa pesquisa, foi elaborado a partir dos cursos de drenagem, importadas do banco de dados do Inventário Florestal da Quarta Colônia e conferidas a partir das cartas topográficas.

Para a definição do intervalo das classes definidas pelas distâncias das drenagens, levou-se em consideração a escala dos mapas de uso e cobertura da terra, onde a menor medida possível no terreno é representada pela resolução de 30m, determinada pelos pixels da imagem LANDSAT, atendendo, desse modo, a uma das considerações previstas pelo Código Florestal Brasileiro¹, de que cursos d'água com largura menor que 10m devem ter 30m de área de preservação permanente (APP), apesar de rios na Quarta Colônia, como o Jacuí e o Soturno, que possuem mais de 10m, serem generalizados devido à resolução da imagem de 30m.

3.4.4.2 Mapa temático baseado na declividade do terreno

Para a elaboração do mapa clinográfico ou mapa de declividade foram importadas as curvas de nível obtidas a partir do SRTM para o aplicativo SPRING, no

¹ Lei Nº 4.771 de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965), que inclui que toda a vegetação natural (arbórea ou não) presente ao longo das margens dos rios e ao redor de nascentes e de reservatórios deve ser protegida, coberta ou não tais áreas por vegetação nativa (com a função ambiental de preservar os recursos naturais e assegurar o bem-estar da população).

formato grade na categoria MNT, como mencionado anteriormente. Através da interpolação dos dados altimétricos dessa grade, foram geradas isolinhas correspondentes às curvas de nível, e, a partir destas, gerou-se uma grade triangular (TIN), na qual cada ponto da imagem recebe uma interligação para os pontos vizinhos, gerando uma malha triangular.

Para a obtenção das classes de declividade, realizou-se o seu fatiamento, com o objetivo de agrupar valores de declividade diferentes em intervalos de classes pré-definidas, indicadas por De Biasi (1991), como intervalos menores que 5%, de 5% a 12%, de 12% a 30%, de 30% a 47% e declividades superiores a 47%. Para isso, através da operação MNT – Fatiamento do SPRING, foi elaborada uma imagem com os valores de declividade mencionados acima.

3.4.5 Procedimentos e métodos para a construção do modelo de análise da dinâmica de usos e cobertura da terra da Quarta Colônia

Os mapas temáticos de uso e cobertura da terra, declividade, *buffers* de drenagem se encontravam no SPRING em diferentes formatos e padrões. O primeiro procedimento adotado consistiu em reprojetar e georreferenciar essas informações para um mesmo sistema de coordenadas e *datum*: UTM Córrego Alegre Zona 22 Sul. A resolução espacial de todos os dados foi reamostrada para 30 metros, assim como a escala para 1:60000; também todos os mapas foram deixados com o mesmo número de linhas (3646) e colunas (3007).

Para realizar esse procedimento, uma seqüência de passos no SPRING foi concretizada, sendo que em análise legal os mapas foram reamostrados para 30m de resolução, com uma escala de 1:60000. Em seguida, foi criado um novo projeto, dentro do mesmo banco de dados, com os parâmetros de projeção do projeto anterior, escala 1:60000, resolução de 30m e com as coordenadas do retângulo envolvente do box dos mapas. Após isso, foram criadas as categorias necessárias no novo projeto, utilizando a opção “Mosaico” do SPRING para importar apenas os layers de interesse. Dessa forma,

todos os mapas ficaram com o mesmo box (retângulo envolvente), ou seja, mesmo número de linhas e colunas e demais parâmetros. Todos os mapas temáticos necessários para a realização da modelagem foram exportados no formato TIFF/GeoTIFF.

3.4.5.1 Conversão dos mapas no software IDRISI

Os mapas no formato TIFF/GeoTIFF foram importados no aplicativo IDRISI, sendo inicialmente observados os valores mínimo e máximo para as coordenadas x e y, e ainda o número de linhas e colunas que devem ser iguais para os mapas de uso e cobertura da terra, assim como para os de variáveis e também para todos os mapas deve-se aplicar a paleta de cores qual 256. Com a verificação dos dados iniciais, realizou-se a conversão da paleta de cores da legenda dos mapas através da aplicação da tabela “Edit”, sendo elaboradas duas colunas de números, a primeira contendo o valor matricial original das classes temáticas, e a segunda, os respectivos valores que estas devem assumir a partir de 1, uma vez que não podem iniciar em 0. A tabela foi salva no formato .avl e aplicada aos mapas importados por meio do comando ASSIGN, lembrando que os números inseridos nessa etapa serão mantidos até o final da simulação no programa DINAMICA. Este procedimento pode ser visualizado na Figura 10.

Os mapas de uso inicial e final foram interpolados no Idrisi 32 para verificar as transições ocorridas de uma classe para outra. Esse procedimento visualizado na Figura 11 foi adotado, pois algumas transições não passíveis de ocorrência apareceram devido à diferença nos planos de informação, sendo editadas no próprio Idrisi 32, através do Menu Data Entry – Edit, no mapa resultante do cruzamento dos mapas de uso inicial e final por meio da operação GIS Analysis – Statistics – CROSSTAB.

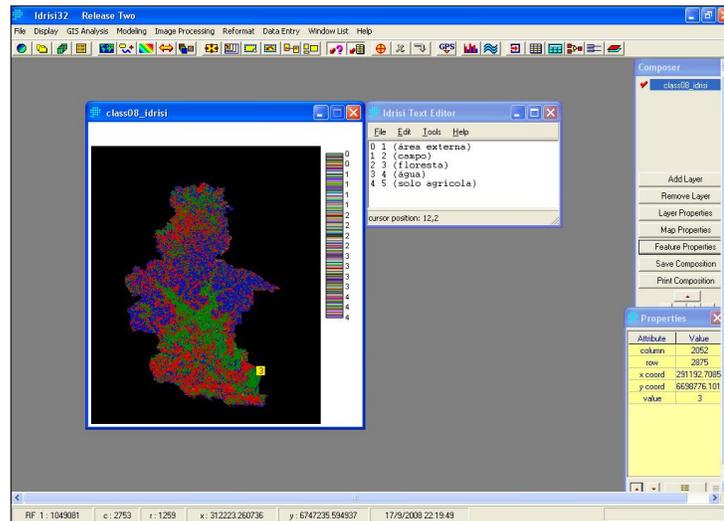


Figura 10 – Visualização no IDRISI da conversão da paleta de cores da legenda dos mapas.

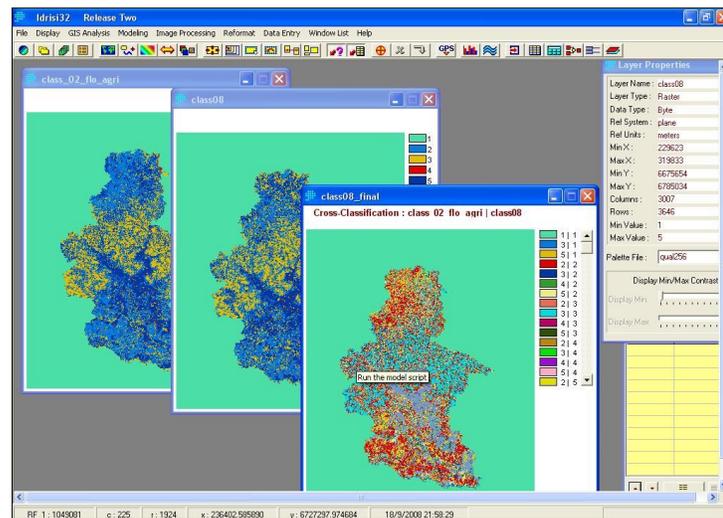


Figura 11 – Visualização no IDRISI da realização do CROSSTAB.

3.4.5.2 Conversão dos mapas no software ERmapper

O próximo procedimento consistiu em construir um cubo de dados no aplicativo ERmapper (Earth Resource Mapping), que contém o formato de arquivo nativo

reconhecido para leitura no processamento de dados no programa DINAMICA, que será utilizado para a simulação do modelo. Neste, em um diretório, foram salvos os mapas do programa Idrisi32 de usos e cobertura da terra inicial e final, assim como os mapas de variáveis, com extensões .rdc e .rst. Juntamente a este diretório, salvou-se um cabeçalho padrão do ERmapper (nomedomapa.rst.ers), além de ser alterado o nome de cada mapa (ex: class08.ers), datum e projeção (conforme gerado no SPRING), coordenadas E e N (equivalentes ao máximo X e máximo Y), salvando-os no mesmo diretório com sua mesma nomenclatura e extensão .rst.ers (ex: class08.rst.ers).

No aplicativo ERmapper, os mapas foram importados através da interface Edit Algorithm, onde o mapa de uso da terra inicial foi aberto, sendo aplicadas as funções de histogramas e salvo um outro diretório (reservado para arquivos do Dinâmica – Arq_Din), escolhendo sempre a opção Algorithm (como tipo de arquivo). O mesmo procedimento foi adotado para o mapa de uso e cobertura da terra final, sendo que para as variáveis o único procedimento adotado de forma diferente consistiu na abertura no mesmo cubo de dados, através da função “Duplicate”, e salvas em um único arquivo, que foi denominado de “Variáveis”.

3.4.5.3 Modelagem de dados no programa DINAMICA EGO

O desenvolvimento dessa etapa foi iniciado com a organização do container “Group”, responsável pelo controle de todo o modelo; através dessa organização inicial processou-se o cálculo das matrizes de transição unitária e periódica entre os mapas de uso e cobertura inicial e final. A matriz unitária é gerada a partir da matriz periódica, utilizando o modelo markoviano, para se ter as probabilidades de transição global, que será a base de desenvolvimento das probabilidades anuais de transições locais (pesos de evidência).

A matriz periódica se refere às transições ocorridas entre as classes consideradas durante todo o período de análise; já a matriz unitária indica as transições ocorridas, considerando o processo anualmente.

Para a geração das matrizes, deverão ser definidos no container “Group” os parâmetros iniciais de construção deste, abaixo relacionados:

a) *Parâmetros de entrada (input):*

a.1) *mapa de uso inicial (2002);*

a.2) *mapa de uso final (2008).*

b) *Parâmetros do modelo (Determine Transition Matrix):*

b.1) *Intervalo de tempo considerado (Time Steps)*

c) *Parâmetros de saída (Output):*

c.1) *nome para o arquivo de matriz unitária (single step);*

c.2) *nome para o arquivo de matriz periódica (multiple step).*

O primeiro procedimento pode ser visualizado na Figura 12, que expõe a interface gráfica do Dinamica EGO para a geração das matrizes unitária e periódica.

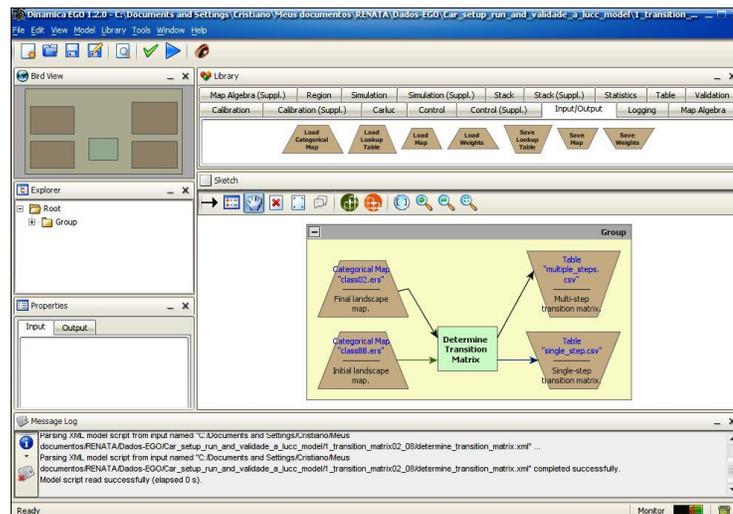


Figura 12 - Interface gráfica para a geração das matrizes unitária e periódica no DINAMICA EGO.

Após estimarem-se as probabilidades globais de transição, isto é, a quantia total de mudanças de uso e cobertura da terra para a Quarta Colônia, foi necessário determinar as probabilidades locais de transição (probabilidades das células). Para esse fim, o conjunto de variáveis para explicar cada tipo de transição foi definido, para, dessa maneira, serem determinados os pesos de evidência. O procedimento adotado em seqüência consistiu em realizar o fatiamento, ou seja, a determinação das faixas de

distâncias ou fatias (*ranges*) para cada transição de uso considerada, cujo resultado dessa etapa do modelo será utilizado para o cálculo dos coeficientes dos pesos de evidência. Para a execução do fatiamento no container “Group” foram determinados os seguintes parâmetros:

a) *Parâmetros de entrada (input):*

a.1) *mapa de variáveis estáticas;*

a.2) *mapa de uso inicial (2002);*

a.3) *mapa de uso final (2008).*

b) *Parâmetros do modelo (Determine Weights of Evidence Ranges):*

b.1) *cálculo do mapa de distância, com inserção do número de classes de uso consideradas;*

b.2) *classificação das variáveis estáticas em categóricas (variáveis que não sofrem mudanças, por ex.: buffer e clinográfico) e não-categóricas (variáveis que sofrem mudança, por ex.: faixas de distância para cada uso) para cada transição considerada, e ainda a definição da resolução espacial adotada.*

c) *Parâmetros de saída (Output):*

c.1) *nome para o arquivo de fatias (Weights Skeleton_original.dcf).*

Na Figura 13, é apresentada a interface gráfica para a determinação do fatiamento das variáveis estáticas em relação às transições dinâmicas do uso da terra.

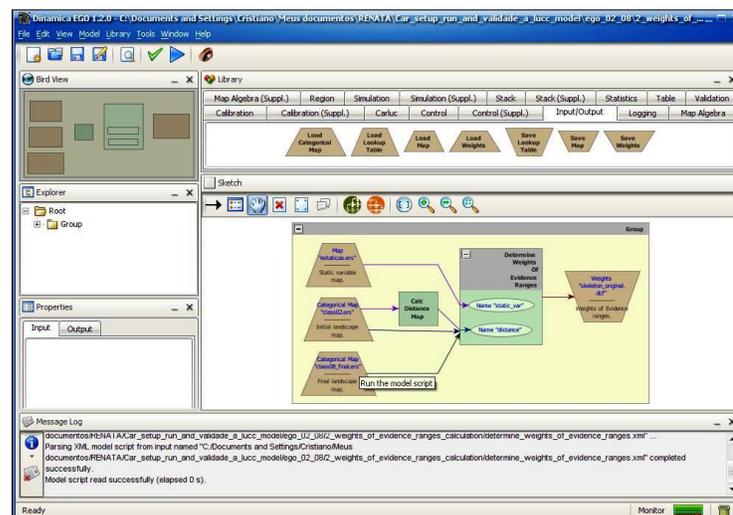


Figura 13: Interface gráfica para a geração do fatiamento no DINAMICA EGO.

Após a definição das faixas de distância, procedeu-se à modelagem para o cálculo dos coeficientes dos pesos de evidência, para a seleção das variáveis espaciais que influenciam na dinâmica de transição do uso e cobertura da terra, gerando-se as probabilidades locais de transição. Nessa etapa, foram definidos os parâmetros relacionados abaixo:

a) *Parâmetros de entrada (input):*

a.1) *mapa de uso inicial (2002);*

a.2) *mapa de uso final (2008);*

a.3) *mapa de variáveis estáticas;*

a.4) *arquivo de fatias (Skeleton_original).*

b) *Parâmetros do modelo (Determine Weights of Evidence Coeficients):* nesse procedimento, os parâmetros adotados são os mesmos da etapa anterior, e portanto nenhuma alteração foi realizada.

c) *Parâmetros de saída (Output):*

c.1) *nome para o arquivo dos coeficientes de pesos de evidência (Weights.dcf).*

A Figura 14, apresentada abaixo, demonstra a interface gráfica para o cálculo dos coeficientes dos pesos de evidência.

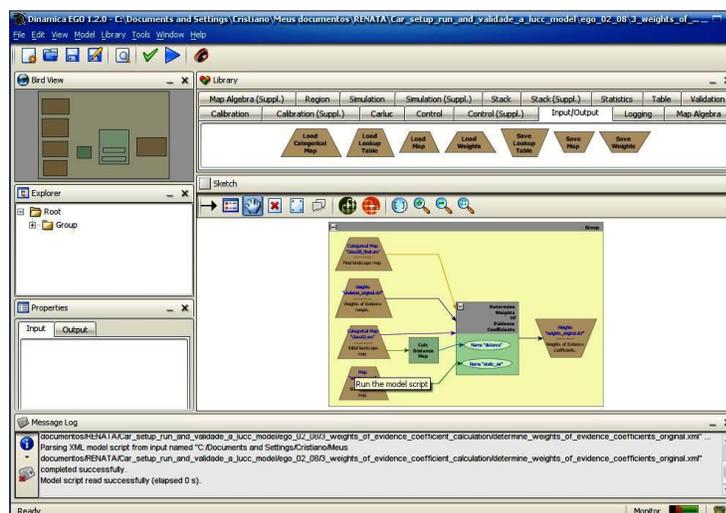


Figura 14 - Interface gráfica para o cálculo dos coeficientes dos pesos de evidência no DINAMICA EGO.

Nessa etapa, observaram-se as variáveis em que havia influência considerável para a continuação da realização do modelo, e, dessa forma, retirou-se do passo

anterior de geração do fatiamento as que não influenciavam, gerando novamente os coeficientes de pesos de evidência.

O procedimento em seqüência consistiu no cálculo dos mapas de correlação, em que são calculados os índices Cramer (V) e a Incerteza de Informação Conjunta (U), entre outros, que colaboram de forma definitiva para a seleção das variáveis que influenciam no modelo, sendo que, em ambos os casos, é necessário se obter valores de áreas de uma tabulação cruzada entre pares de mapas de variáveis sob análise.

Denominando-se a tabela de áreas entre os mapas A e B como matriz T , com elementos T_{ij} , onde há $i = 1, 2, \dots, n$ classes do mapa B (linhas da tabela) e $j = 1, 2, \dots, m$ classes do mapa A (colunas da tabela). Os totais marginais de T são definidos como $T_{i.}$ para a soma da i -ésima linha, $T_{.j}$ para a soma da j -ésima coluna, e $T_{..}$ para o grande somatório de linhas e colunas. Se os dois mapas são independentes um do outro, sem qualquer correlação entre eles, então a área esperada em cada categoria de sobreposição é dada pelo produto entre os totais marginais, dividido pelo somatório total. Portanto, a área esperada T_{ij}^* para a i -ésima linha e j -ésima coluna são:

$$T_{ij}^* = \frac{T_{i.} \cdot T_{.j}}{T_{..}}$$

Dessa forma, a estatística do qui-quadrado é definida como:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(T_{ij} - T_{ij}^*)^2}{T_{ij}^*}$$

a familiar expressão $(\text{observado} - \text{esperado})^2 / \text{esperado}$, que possui um limite inferior de 0 quando as áreas observadas coincidem exatamente com as áreas esperadas, e os dois mapas são completamente independentes. Quando as áreas observadas tornam-se cada vez mais diferentes das esperadas, a qui-quadrado cresce e possui limites superiores variáveis. O Índice de Cramer (V) é então definido por (Bonham-Carter, 1994):

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{T_{..} M}}$$

onde M é o mínimo de $(n-1, m-1)$.

A Incerteza de Informação Conjunta (U) pertence à classe das medidas de entropia, também baseadas na matriz de tabulação cruzada T , que podem ser usadas para medir associações. Supondo-se que os valores T_{ij} sejam transformados em proporções de área, p , dividindo-se cada elemento de área pelo somatório total $T_{..}$. Portanto, $p_{ij} = T_{ij}/T_{..}$, e as proporções marginais são definidas como $p_{i.} = T_{i.}/T_{..}$ e como $p_{.j} = T_{.j}/T_{..}$. Medidas de entropia, ou *estatísticas da informação*, são definidas usando-se as proporções de área como estimativas de probabilidades. Proporções não possuem dimensão, o que faz com que índices de entropia possuam vantagem sobre os de qui-quadrado, por não serem afetados por unidades de medida (Bonham-Carter, 1994).

Assumindo-se que uma matriz de proporções de área para os mapas A e B tenha sido determinada a partir de T , então a *entropia* de A e de B são definidas como:

$$H(A) = - \sum_{j=1}^m p_{.j} \ln p_{.j}$$

$$H(B) = - \sum_{i=1}^n p_{i.} \ln p_{i.}$$

onde \ln é o logaritmo natural. A entropia conjunta da combinação, $H(A,B)$, é simplesmente

$$H(A,B) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$$

Assim, a “*Incerteza de Informação Conjunta*” de A e B, $U(A,B)$, pode ser usada como uma medida de associação e é definida por

$$U(A,B) = 2 \left[\frac{H(A) + H(B) - H(A,B)}{H(A) + H(B)} \right]$$

a qual varia entre 0 e 1. 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.

Esse procedimento é indispensável, uma vez que o método de pesos de evidência é baseado no teorema da probabilidade condicional de Bayes, cuja seleção de variáveis para a análise de modelagem deve considerar a avaliação da independência entre pares de variáveis explicativas selecionadas para explicar o mesmo tipo de transição de uso e cobertura da terra.

Para isso, deverão ser definidos os itens abaixo:

a) Parâmetros de entrada (input):

a.1) mapa de uso inicial (2002);

a.2) mapa de variáveis estáticas

a.3) arquivo de pesos de evidência (Weights_finall).

b) Parâmetros do modelo (Determine Weights of Evidence Correlation):

b.1) cálculo do mapa de distância, com inserção do número de classes de uso consideradas;

b.2) inserção das transições de uso consideradas.

c) Parâmetros de saída (Output):

c.1) nome para o arquivo de correlação dos pesos de evidência

A execução desse procedimento pode ser visualizada na Figura 15:

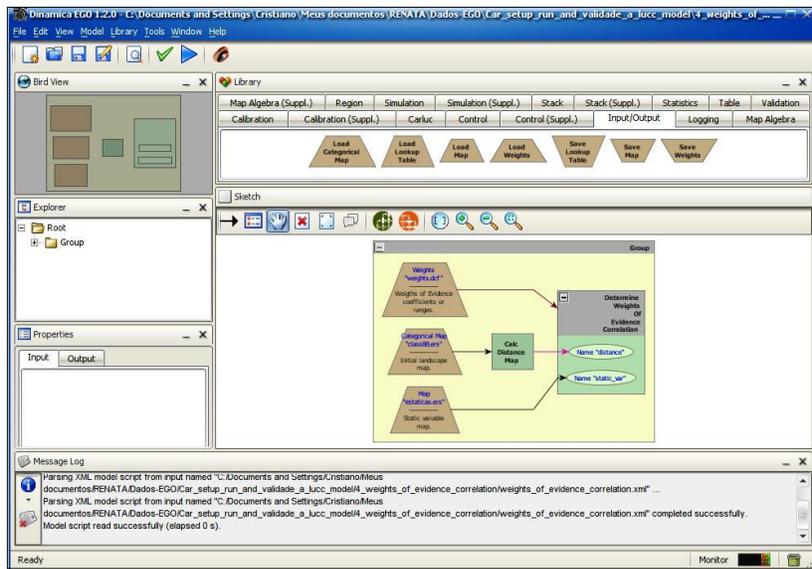


Figura 15 - Interface gráfica para o cálculo da correlação dos pesos de evidência no DINAMICA EGO.

A definição desse procedimento foi fundamental, pois, por meio dele, foi possível realizar a percepção de quais variáveis deviam permanecer no modelo ou serem retiradas, retornando-se, desse modo, ao modelo de determinação dos coeficientes dos pesos de evidências, *retirando* as variáveis desnecessárias, para então utilizar na simulação do modelo para o ano de 2008 e, posteriormente, para 2018.

Para realizar a simulação do modelo, utilizou-se um novo container, denominado “Repeat”, responsável por executar os seus operadores por seis iterações, correspondentes aos seis anos abrangidos pelo intervalo dessa primeira simulação, correspondente ao período de 2002 e 2008. Para essa etapa, foram definidos parâmetros individuais, cujas caracterizações estão relacionadas abaixo:

a) *Parâmetros de entrada (input):*

a.1) *arquivo de matriz unitária (single step);*

a.2) *mapa de uso inicial (2002);*

a.3) *mapa de variáveis estáticas ;*

a.4) *arquivo de pesos de evidência (Weights_final).*

b) *Parâmetros do modelo (Calc. Weights of Evidence Probability Map):*

b.1) *algumas etapas desse processo não sofrem alterações em suas definições, mas são essenciais para o funcionamento do modelo:*

b.1.1) Mux Categorical Map: Esse functor reinjeta mapas produzidos em uma iteração na iteração seguinte, permitindo a retroalimentação dos mapas;

b.1.2) Calc Change Matrix: transforma a taxa de mudança de uso em um número absoluto de mudanças (quantidade de células). A quantidade de células é então dividida entre as funções de transição (Expander e Patcher), através do functor Change Matrix;

b.1.3) Calc Distance: usado para calcular o mapa de distâncias;

b.2) Modulate Change Matrix, onde são definidas as taxas percentuais de mudança para as transições consideradas (0,5);

b.3) Expander: nesse algoritmo de transição são definidas as características espaciais das transições das manchas de uso previamente existentes, para as quais foram adotados os valores de 50 hectares de área para média e variância, e ainda de 1,5 para isometria;

b.4) Patcher: nesse algoritmo de transição, são definidos valores destinados à geração de novas manchas, para os quais foram igualmente adotados os valores de 50 hectares para média e variância, e 1,5 para isometria;

b.5) Inserção das transições consideradas na execução do “Calc. Weights of Evidence Probabillity Map”;

c) Parâmetros de saída (Output):

c.1) nome para a geração dos mapas de paisagem anual;

c.2) nome para a geração dos mapas de probabilidade de mudanças na paisagem anual.

Os procedimentos adotados para a geração da simulação do modelo para o ano de 2008 podem ser visualizados na Figura 16, sendo que esse mesmo procedimento, após a realização da validação do modelo, com a comparação do mapa real de 2008 com o simulado de 2008, foi realizado para 2018, tendo então como mudança nos parâmetros de entrada no modelo o mapa inicial sendo o de 2008 real.

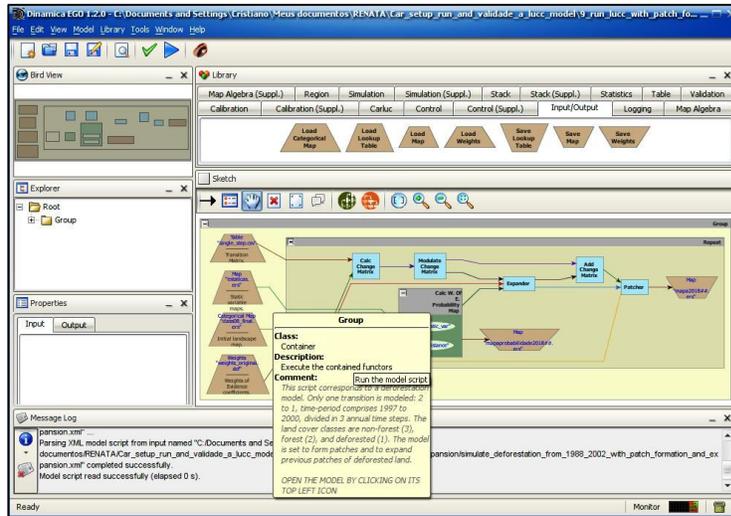


Figura 16 - Interface gráfica para a execução do modelo com a geração dos mapas de probabilidade e paisagem anual no DINAMICA EGO.

Para a realização da avaliação em relação ao desempenho do modelo de simulação, ou seja, a validação deste, foi aplicado diretamente ao mapa real e simulado o “*exponential decay function*” e “*constant decay function*” no Dinamica EGO, que é uma adaptação do método de Hagen (2003), que leva em consideração medidas de similaridade fuzzy, as quais foram aplicadas em uma contextualização de vizinhança local, para os mapas de diferença, como pode ser visualizado na Figura 17.

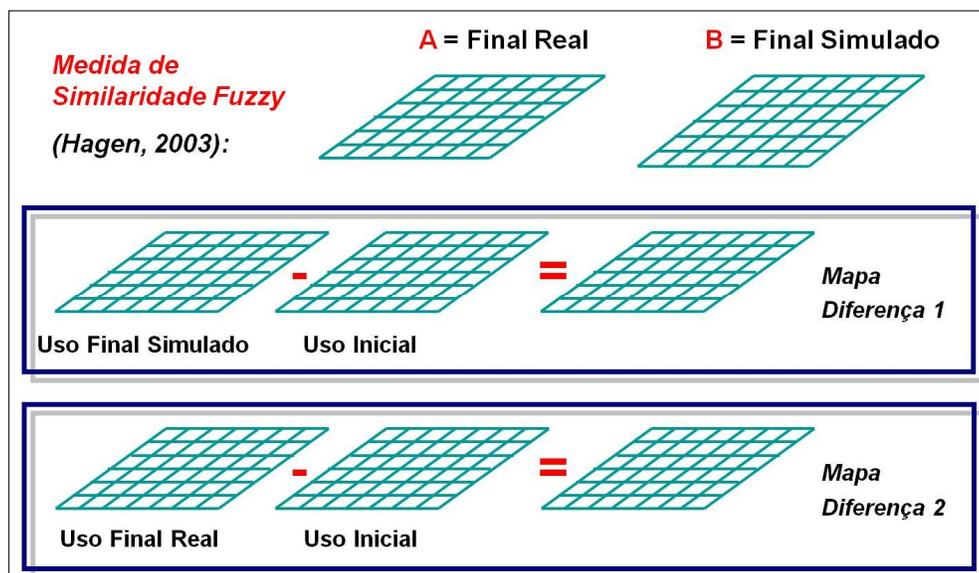


Figura 17 - Exemplificação do processo realizado pela aplicação dos algoritmos de similaridade fuzzy.

O método de Hagen (2003), utilizado nesse trabalho, é baseado no conceito de “fuzziness of location” (dubiedade de localização), no qual a representação de uma célula é influenciada por ela mesma, e, em menor proporção, pelas células vizinhas. Nesse método de validação, um vetor crisp (exato) é associado a cada célula no mapa, onde esse vetor possui tantos elementos quantos forem as categorias (classes de cobertura da terra) dos mapas, assumindo 1 para a categoria = i e 0 para categorias diferentes de i .

Dessa forma, o vetor de vizinhança fuzzy (V_{nbhood}) para cada célula é dado por:

$$V_{nbhood} = \begin{bmatrix} \mu_{nbhood\ 1} \\ \mu_{nbhood\ 2} \\ M \\ \mu_{nbhood\ C} \end{bmatrix}$$

$$\mu_{nbhood\ i} = \mu_{crisp\ i,1} * m_1, \mu_{crisp\ i,2} * m_2, \dots, \mu_{crisp\ i,n} * m_n \quad Max$$

Em que:

$\mu_{nbhood\ i}$ representa a pertinência para a categoria i dentro de uma vizinhança de N células (normalmente $N=n^2$);

$\mu_{crisp\ ij}$ é a pertinência da categoria i para a célula vizinha j , assumindo-se no vetor *crisp* 1 para i e 0 para categorias diferentes de i ;

m_j é a pertinência baseada em distância da célula vizinha j , em que m refere-se a uma função de decaimento exponencial ($m = 2^{-d/2}$).

Para a aplicação do algoritmo de decaimento constante, para a verificação da similaridade, foram definidos parâmetros, relacionados abaixo:

a) *Parâmetros de entrada (input):*

a.1) *mapa de uso inicial (2002);*

a.2) *mapa de uso final (2008);*

a.3) *mapa simulado (2008).*

Algumas etapas desse processo não sofrem alterações em suas definições, mas são essenciais para o funcionamento do modelo, como pode ser visualizado na Figura 18.

Já para aplicação da “constant decay function” os parâmetros de entrada são os mesmos, apenas mudando os parâmetros de saída, que são as tabelas de Máximo e Mínima similaridade entre os mapas para as janelas 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11, como pode ser visualizado na Figura 19.

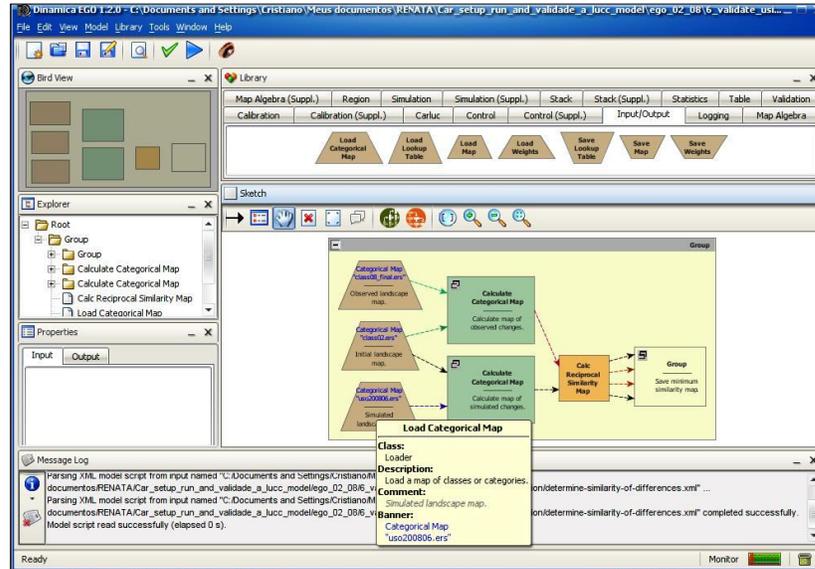


Figura 18 - Validação utilizando a “exponential decay function”.

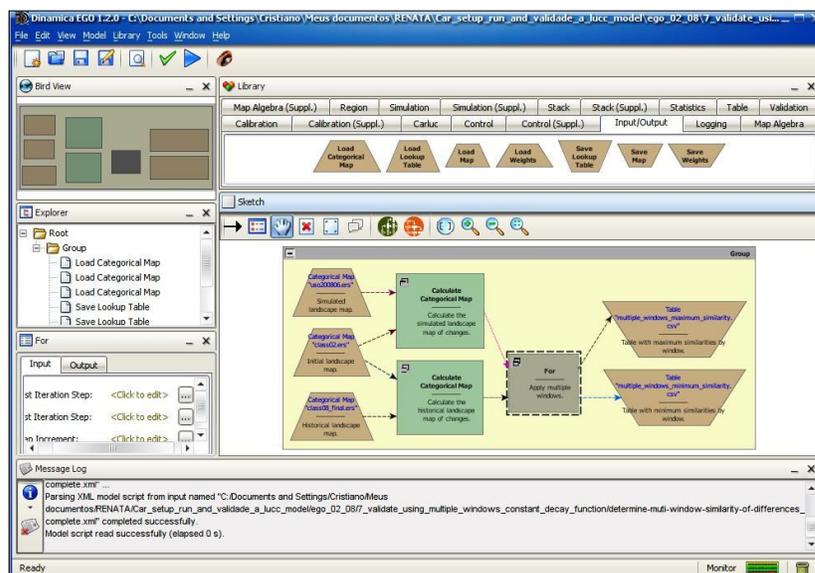


Figura 19 - Validação utilizando a “constant decay function”.

Com a validação do modelo realizada, processou-se a simulação desse modelo para o ano de 2018, sendo que o mapa de similaridade baseado na “*exponential decay function*”, que demonstra os erros e acertos da simulação do modelo, assim como o mapa de 2018, foram quantificados no programa SPRING. Esse processo consistiu em importar esses mapas no programa ErMapper, salvá-los no formato Tif/Geotif, georreferenciá-los no SPRING e classificá-los. Dessa forma, foi realizada a quantificação das classes temáticas desses mapas.

Além disso, foi realizado o cruzamento em análise LEGAL no SPRING entre o mapa de uso e cobertura da terra de 2008 e do de 2018, para verificar as tendências de mudanças das classes floresta, campo, solo agrícola e água, tanto espacialmente quanto em sua quantificação, de modo a comparar a evolução de 1988 até a simulação para 2018.

Com a matriz de confusão, ao aplicar a fórmula do índice *Kappa*, obteve-se o seguinte resultado:

$$K = \frac{(19453 \times 19358) - 126427067}{(19453)^2 - 126427067} = 0.9927$$

O valor encontrado – de 0,9927 – para quantificar a precisão da classificação segundo o índice *Kappa* está na escala proposta por LANDIS e KOCH. (apud ESTEVAM, 2006), no intervalo da faixa de 0,80 – 1,0, faixa considerada pelos autores como sendo de excelente qualidade para uma classificação automática.

Logo abaixo, no Quadro 3, está apresentada a matriz de confusão encontrada nas áreas de treinamento no período de 2002.

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO						
(colunas: dados de referencia)						
	floresta	campo	água	solo_agric	Abstencao	Soma lin.
floresta	2600 49.07%	4 0.08%	7 0.13%	2 0.04%	0 0.00%	2614
campo	0 0.00%	536 10.12%	0 0.00%	1 0.02%	0 0.00%	543
água	0 0.00%	0 0.00%	369 6.96%	4 0.08%	0 0.00%	373
solo_agric	0 0.00%	5 0.09%	0 0.00%	1473 27.80%	0 0.00%	1478
Soma col.	2602	545	376	1480	0	5008
	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario				
floresta	99.92%	99.46%				
campo	98.35%	98.71%				
água	98.14%	98.93%				
solo_agric	99.53%	99.66%				
Desempenho geral: 99.40 %						
Confusao media : 0.60 %						
Abstencao media : 0.00 %						
Estistica KHAT : 99.09 %						
Variancia KHAT : 2.583e-006						
Estistica TAU : 99.25 %						

Quadro 3 – Matriz de confusão do algoritmo da máxima verossimilhança (2002), gerada no SPRING.

Elaboração: Autora.

Aplicando a fórmula do índice Kappa nessa matriz de confusão, obteve-se o seguinte resultado:

$$K = \frac{(5008 \times 4978) - 9425251}{(5008)^2 - 9425251} = 0.9904$$

Assim como o resultado do índice *Kappa* do período de 1988, o de 2002 também é considerado excelente, pois está na faixa de 0,80 – 1,0. O Quadro 4 apresenta a matriz de confusão do último período de análise, 2008.

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO						
(colunas: dados de referencia)						
	floresta	agua	soloagrico	campo	Abstencao	Soma lin.
floresta	2200 63.24%	0 0.00%	4 0.11%	4 0.11%	0 0.00%	2208
agua	0 0.00%	224 6.44%	3 0.09%	0 0.00%	0 0.00%	227
soloagrico	0 0.00%	0 0.00%	613 17.62%	0 0.00%	0 0.00%	613
campo	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	224 6.44%	0 0.00%	224
Soma col.	2200	224	620	228	0	3272
	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario				
floresta	100.00%	99.64%				
agua	100.00%	98.68%				
soloagrico	98.87%	100.00%				
campo	98.25%	100.00%				
Desempenho geral: 99.68 %						
Confusao media : 0.32 %						
Abstencao media : 0.00 %						
Estistica KHAT : 99.43 %						
Variancia KHAT : 2.936e-006						
Estistica TAU : 99.60 %						

Quadro 4 – Matriz de confusão do algoritmo da máxima verossimilhança (2008), gerada no SPRING.

Elaboração: Autora.

Aplicando-se, igualmente, a fórmula do índice *Kappa* nessa matriz de confusão foi obtido o seguinte resultado:

$$K = \frac{(3272 \times 3261) - 5339580}{(3272)^2 - 5339580} = 0.9933$$

Através do resultado do índice *Kappa* de 2008, que também foi considerado excelente, essa classificação, dentre as três, foi a que apresentou um resultado maior, apesar de ser pequena a diferença entre elas.

4.1 Resultados dos mapas de uso e cobertura da terra

A observação dos mapas de uso e cobertura da terra, elaborados a partir das imagens de satélites referentes aos períodos de 1988, 2002 e 2008, que podem ser visualizados, respectivamente, nos Anexos 2, 3 e 4, permitiu a constatação de que as maiores alterações de uso ocorreram na redução das áreas de campo no período de 1988 a 2002, voltadas em grande parte à utilização da agropecuária, vindo a confirmar as tendências da atualidade em aumentar principalmente a produção de produtos agrícolas que possuem incentivos governamentais, aliados a um processo integrado de modernização, fomentado pela expansão do capitalismo no espaço agrário brasileiro. Os demais usos tiveram alterações, mas em proporções menores, como pode ser observado por meio da análise da Tabela 2, obtida automaticamente no SPRING após o processo de classificação digital do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia, que demonstra o processo evolutivo entre as classes de uso e cobertura da terra.

Tabela 2 - Áreas de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia/RS em ha.

Classes de uso e cobertura da terra	Uso 1988	Uso 2002	Uso 2008
Floresta	89,187	92,941	93,217
Campo	117,726	103,807	101,332
Solo Agrícola	85,155	91,504	96,544
Água	2,050	5,866	3,025
Total	294,118	294,118	294,118

Os gráficos da porcentagem das áreas territoriais que cada uso ocupa na Quarta Colônia, assim como o gráfico de tendência evolutiva de uso e cobertura da terra, podem ser visualizados respectivamente nas Figuras 20 e 21, em que as maiores alterações estão na classe campo, entre o período de 1988 e 2002, com uma redução de 5%, que corresponde a uma área de 13,919 ha, nesse período, e de 1% de redução no período de 2002 a 2008, sendo que todos os usos tendem a certa estabilização na ocorrência de grandes mudanças, posto que a classe de solo agrícola é a que apresenta uma maior tendência de aumento ao longo do tempo.

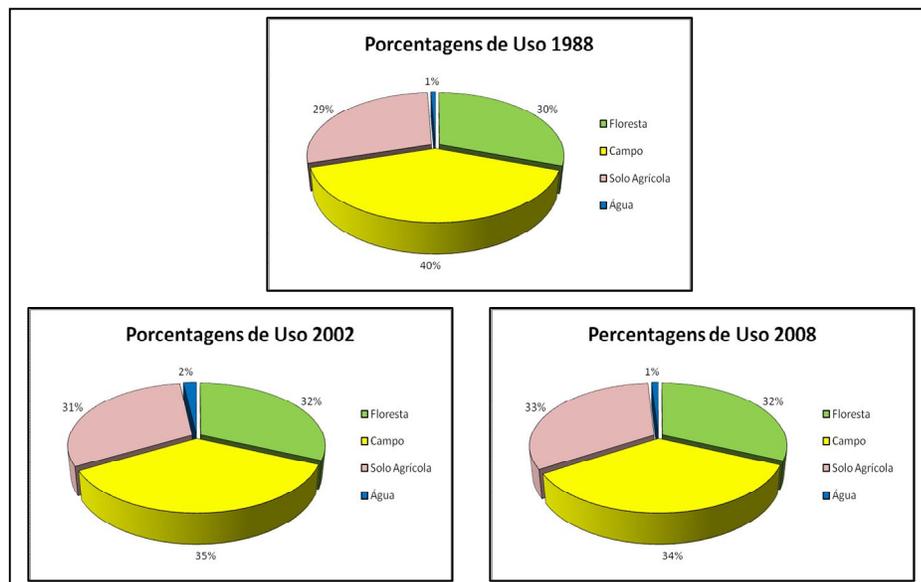


Figura 20 - Distribuição das áreas em porcentagem territorial das classes de uso da terra da Quarta Colônia/RS.

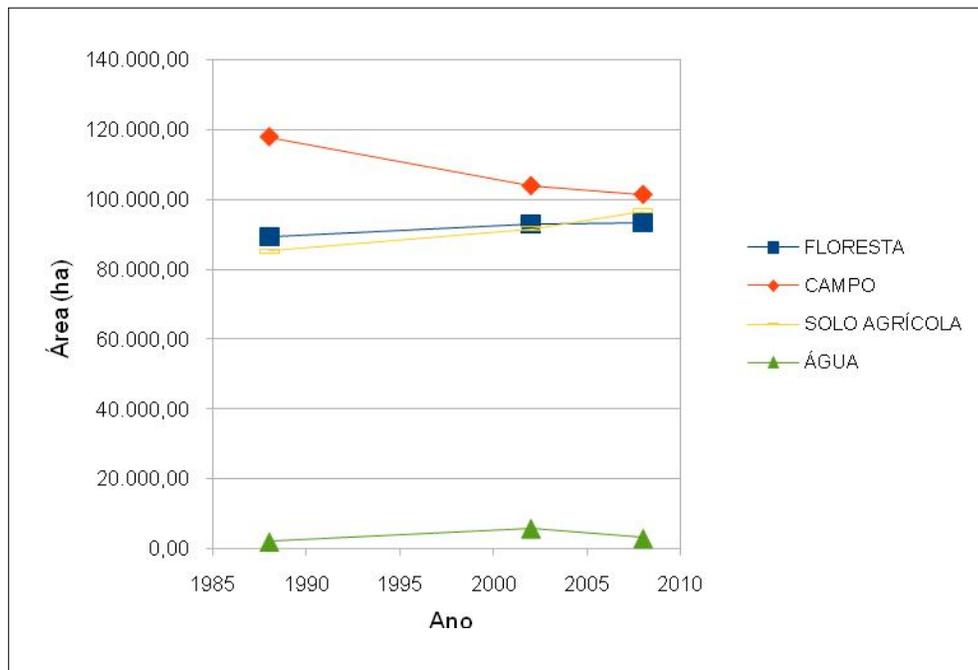


Figura 21 - Tendência evolutiva das classes de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia.

Os gráficos que resultam do modelo apresentado na Figura 16, juntamente com a contínua análise da Tabela 2, demonstram que a classe de uso floresta teve um aumento de 2% no período de 1988 a 2002, o que representa um ganho em área florestal de 3,754 ha. Porém, de 2002 a 2008 os índices de floresta se mantiveram sem mudanças significativas. Também as áreas de solo agrícola tiveram um aumento de 2% entre 1988 e 2002, o que representou para esse uso, em termos de área, uma expansão de 6,349 ha., e no período de 2002 e 2008 aumentou mais 2%, com uma nova expansão de 5,040 ha. Já a classe água teve um aumento de 1% no primeiro período, e uma redução em 1% no segundo período.

4.1.1 Análise dos mapas de mudanças de uso e cobertura da terra entre 1988 e 2002 e 2002 a 2008

As áreas de floresta, como relatado anteriormente, aumentaram, no período de 1988 a 2002, 3,754 ha, correspondendo para toda a Quarta Colônia um acréscimo de

30% para 32%, e no período de 2002 a 2008 não houve alterações significativas. O cruzamento entre os mapas de uso e cobertura da terra referentes aos períodos de 1988 e 2002 apontou uma intersecção entre áreas de florestas de 59,335 ha, ou seja, do total dos 92,941 ha de florestas mapeadas em 2002, aproximadamente 64% já eram floresta em 1988, não entrando, assim, essas áreas no estudo de mudança de uso e cobertura da terra nesse primeiro intervalo de 14 anos. No período de 2002 a 2008, do total de área florestal de 93,217 ha, aproximadamente 66% já eram floresta em 2008, como pode ser observado a partir da Tabela 3.

Das classes mapeadas que sofreram mudanças no padrão de uso e cobertura da terra transformando-se em floresta, a que possuiu maior mudança foi a classe de uso campo, que contribuiu no primeiro período com 22,848 ha, o que representa, em termos percentuais, 24,58% do total de áreas de floresta em 2002; no segundo período, também a classe de uso campo apresentou maior representatividade, com uma mudança de 17,033 ha, correspondendo a 18,27%.

Tabela 3 - Classes de uso e cobertura da terra que contribuíram nas mudanças da classe floresta, ocorridas nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008.

<i>Classes de Uso e cobertura</i>	<i>Mudanças em ha 1988 - 2002</i>	<i>Porcentagem (%) do total</i>	<i>Mudanças em ha 2002 - 2008</i>	<i>Porcentagem (%) do total</i>
Floresta (manutenção)	59,335	63,84	61,440	65,91
Campo	22,848	24,58	17,033	18,27
Água	326	0,35	636	0,68
Solo Agrícola	10,432	11,23	14,108	15,14
Total	92,941	100	93,217	100

Também é preciso levar em consideração que as mudanças no uso solo agrícola foram significativas, contribuindo no primeiro período com 11,23% de alteração para floresta, e, no segundo período, com um percentual maior, com aproximadamente 15%.

Dessa maneira, as informações trazidas pela tabela anterior, quando visualizadas espacialmente em um mapa, apresentam apenas as áreas das diversas classes de uso da terra, que, no intervalo de 1988 a 2002 e 2002 a 2008 se transformaram em áreas de predomínio de cobertura florestal, mostrando designações interessantes (Figura 22).

Observa-se que as mudanças na classe campo para floresta, quando visualizada espacialmente, ocorrem em bordas de áreas que, se já eram floresta – fato esse que permite considerar que houve processos de regeneração florestal –, também ocorrem em áreas próximas à drenagem, demonstrando que está ocorrendo conscientização ambiental na preservação da mata ciliar, o que é muito importante para o equilíbrio da natureza.

Já as mudanças no solo agrícola para floresta podem ter ocorrido por dois motivos principais, que são o abandono de áreas de cultivo e o plantio de espécies florestais, como o eucalipto, para utilização comercial.

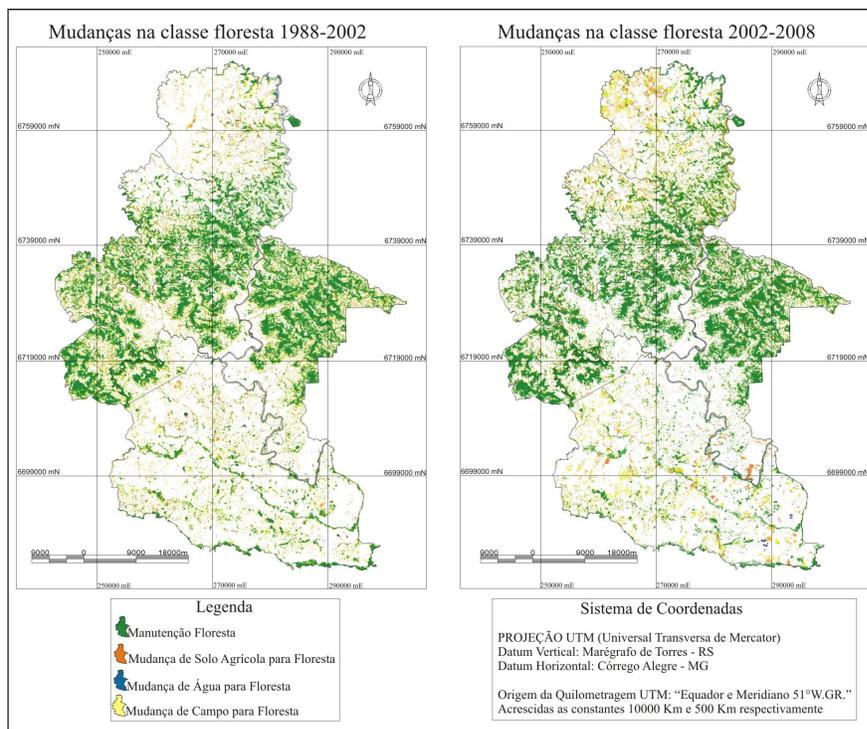


Figura 22 - Espacialização das mudanças e manutenção florestal nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008. Elaboração: Autora

Assim como na classe de cobertura florestal, na classe de uso campo houve mudanças, principalmente levando-se em consideração que, como mostrado anteriormente, houve uma redução de 13,919 ha no primeiro período (1988 a 2002) e de 2,475 ha. de 2002 a 2008, em que, de um total de 103,807 ha de campo existentes em 2002, apenas aproximadamente 55% da área total desse uso se manteve sem mudanças, como pode ser visualizado na Tabela 4. Essas mudanças ocorreram principalmente pelo fato de que os incentivos para o desenvolvimento da agricultura, bem mais acentuado no primeiro período de análise, foram maiores que o desenvolvimento da pecuária.

Tabela 4 - Classes de uso e cobertura da terra que contribuíram nas mudanças da classe campo, ocorridas nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008.

<i>Classes de Uso e cobertura</i>	<i>Mudanças em ha 1988 -2002</i>	<i>Porcentagem (%) do total</i>	<i>Mudanças em ha 2002 - 2008</i>	<i>Porcentagem (%) do total</i>
Campo (manutenção)	57,157	55,07	50,073	49,42
Floresta	14,500	13,97	19,944	19,68
Água	107	0,10	829	0,82
Solo Agrícola	32,043	30,86	30,486	30,08
Total	103,807	100	101,332	100

Ainda merecem destaque, na observação de Tabela 4, acima, os cerca de 14,500 ha que eram classificados como floresta em 1988, e que migraram de uso, se tornando campo em 2002, representando 13,97% do total da área total desse uso em 2002; em alteração maior no segundo período (2002 a 2008), com 19,944 ha de floresta que passaram para campo, representando 19,68% do total de campo existente em 2008. Esses valores de desmatamento podem estar vinculados, por algum motivo ou outro, por áreas que deixaram, em um curto espaço de tempo (menos de 10 anos), de ser aproveitadas pela agricultura, sendo abandonadas para virar campo, uma vegetação rasteira utilizada para pastagem de gado.

No entanto, o uso que mais sofreu mudanças para cobertura florestal foi o solo agrícola, o qual, no primeiro período (1988 a 2002), teve 32,043 ha passando a se tornar campo (em 2002), representando, em termos percentuais, aproximadamente 30% da área total de campo em 2002, que era de 103,807 há. No segundo período (2002 a 2008), as mudanças foram bem parecidas às do primeiro, tendo migrado 30,486 ha de solo agrícola para campo, em 2008, representando cerca de 30% de mudança. Essas alterações podem estar ligadas às mesmas causas que provocaram a substituição de inúmeras áreas florestais para campo, como mencionado anteriormente. Abaixo, através da Figura 23, pode ser visualizada a demonstração da espacialização das mudanças e permanências ocorridas na classe de uso campo em toda Quarta Colônia, nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008.

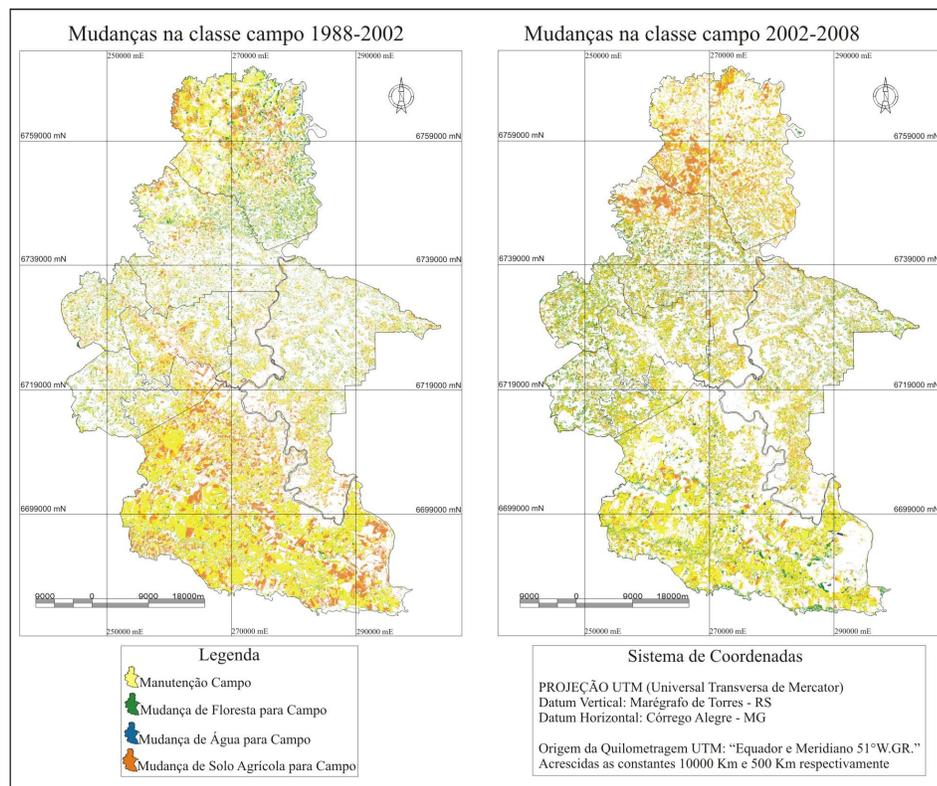


Figura 23 - Espacialização das mudanças e manutenção de campo nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008. Elaboração: Autora

Em relação às classes de uso e cobertura da terra que sofreram mudanças para solo agrícola em ambos os períodos, a classe campo foi a que teve maior representatividade, contribuindo, no período de 1988 a 2002, com 36,291 ha de mudança de campo, em 1988, para solo agrícola, em 2002, representando, em percentuais, aproximadamente 39% do total de solo agrícola em 2002, que era de 91,504 ha. No segundo período (2002 a 2008), também houve grandes mudanças de campo para solo agrícola, ou seja, 36,589 ha que representa 37,90% da área de solo agrícola existente em 2008, que é de 96,544 ha, como pode ser comprovado na Tabela 5, apresentada abaixo. Essas mudanças ocorreram, principalmente, pela necessidade de se obterem novas áreas com solo de propriedades mais preservadas para o desenvolvimento da agricultura no verão e pastagens para criação de gado no inverno.

Tabela 5 - Classes de uso e cobertura da terra que contribuíram nas mudanças da classe solo agrícola, ocorridas nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008.

<i>Classes de Uso e cobertura</i>	<i>Mudanças em ha 1988 - 2002</i>	<i>Porcentagem (%) do total</i>	<i>Mudanças em ha 2002 - 2008</i>	<i>Porcentagem (%) do total</i>
Solo Agrícola (manutenção)	40,287	44,03	46,961	48,64
Floresta	14,749	16,12	10,850	11,24
Campo	36,291	39,66	36,589	37,90
Água	177	0,19	2,144	2,22
Total	91,504	100	96,544	100

Em continuidade às observações da Tabela 5, constata-se que apenas 44,03 % das áreas de solo agrícola se mantiveram sem alterações de 1988 para 2002, representando 40,287 ha de um total de 91,504 ha existentes em 2002; de 2002 para 2008 houve um percentual maior de manutenção do uso solo agrícola, estimada em 48,64%, o que, em termos de área, representa 46,961 ha da área total de solo agrícola existente em 2008.

A classe de cobertura floresta, apesar de ser, em percentual, menor que as mudanças ocorridas de campo para solo agrícola, também apresentou um percentual de desmatamento de 16,12% no primeiro período, que em termos de área é o equivalente a 14,749 ha do total de solo agrícola existente em 2002; no segundo período em percentual menor de mudança com 11,24%, equivalente a 10,850 ha de um total de 96,544 ha de área existente em 2008. As mudanças ocorridas nesse desmatamento para a utilização da agricultura mostram que, apesar de ter o desenvolvimento de políticas públicas na preservação de áreas florestais, a fiscalização na Quarta Colônia ainda se encontra insuficiente para que novas áreas florestais não sejam destruídas, em função da agropecuária que não está mais sendo desenvolvida para a sobrevivência das famílias e para o mercado interno. Os interesses comerciais externos têm se sobressaído à preservação de nossos recursos naturais.

Na Figura 24, através da espacialização por meio de mapas, pode ser visualizada a alteração e a manutenção do uso solo agrícola de 1988 a 2002 e de 2002 a 2008; e, em destaque, o desmatamento e a destruição dos campos para o desenvolvimento da agropecuária.

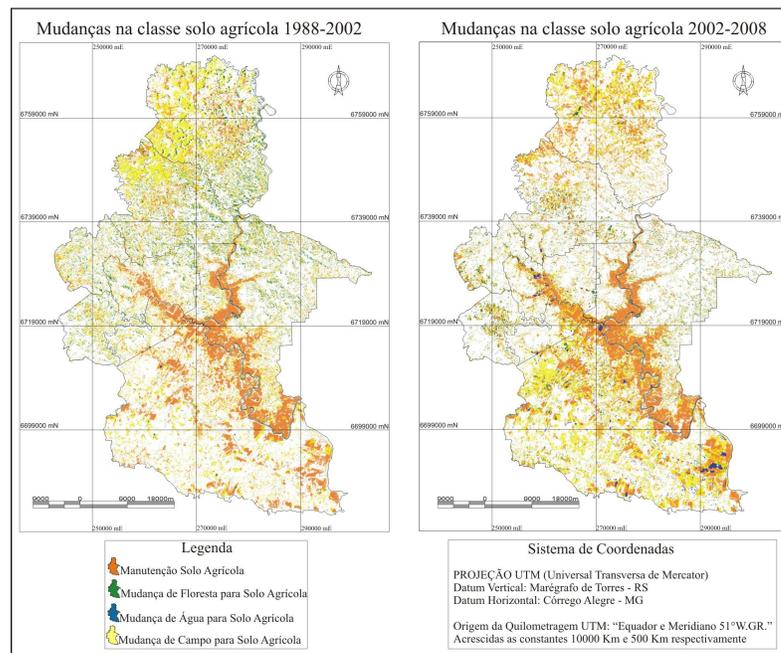


Figura 24 - Espacialização das mudanças e manutenção do uso solo agrícola de 1988 a 2002 e de 2002 a 2008. Elaboração: Autora.

Realizando também uma análise das mudanças ocorridas na classe de uso água, observa-se, através da análise da Tabela 6 e da espacialização na Figura 25, que, no primeiro período, a principal mudança ocorreu para solo agrícola, pois o período de aquisição da imagem de 2002 foi de estiagem, e no segundo período a maioria das áreas de abrangência dessa classe de uso se manteve com 74, 65%.

Tabela 6 - Classes de uso e cobertura da terra que contribuíram nas mudanças da classe água, ocorridas nos períodos de 1988 a 2002 e 2002 a 2008.

<i>Classes de Uso e cobertura</i>	<i>Mudanças em ha 1988 - 2002</i>	<i>Porcentagem (%) do total</i>	<i>Mudanças em ha 2002 - 2008</i>	<i>Porcentagem (%) do total</i>
Água (manutenção)	1,456	24,82	2,258	74,65
Floresta	961	16,38	273	9,02
Campo	929	15,84	182	6,02
Solo Agrícola	2,520	42,96	312	10,31
Total	5,866	100	3,025	100

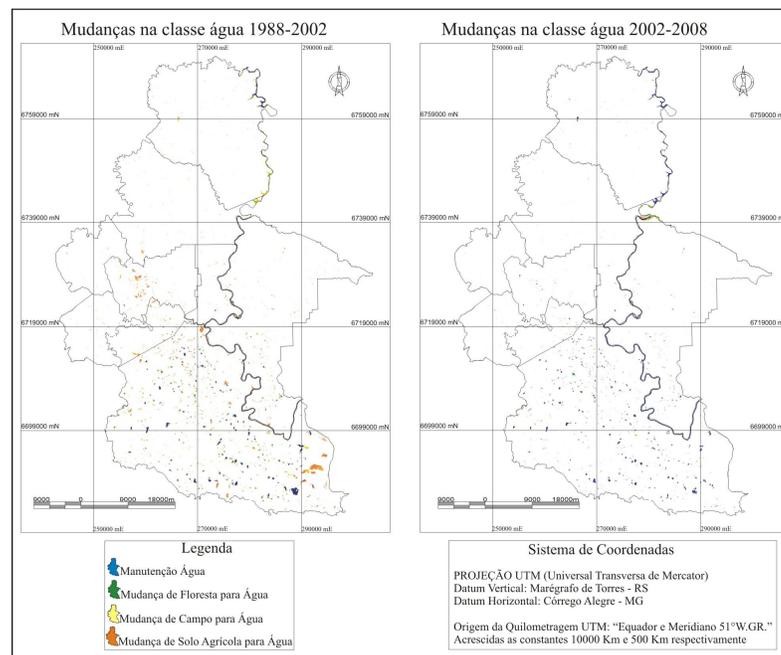


Figura 25 - Espacialização das mudanças e manutenção do uso solo agrícola de 1988 a 2002 e de 2002 a 2008. Elaboração: Autora.

4.1.2 Resultados obtidos nos processos de modelagem da Quarta Colônia

No experimento de modelagem dessa pesquisa – e nos demais experimentos –, em que se dispõe dos mapas de uso e cobertura da terra inicial e final, a probabilidade global das transições desses usos na Quarta Colônia foi calculada por meio de uma operação de tabulação cruzada no Dinamica EGO, que produziu, como saída, uma matriz de transição entre os mapas de cobertura inicial e final do período de simulação (2002-2008).

A Tabela 7 apresenta a matriz de transição, resultante da operação de tabulação cruzada entre os mapas de cobertura inicial (2002) e final (2008), a qual fornece os percentuais de conversão de uso e cobertura da terra, o que corresponde, no caso particular dessa pesquisa, à probabilidade global de transição de campo para áreas de floresta, estimada em 22,58%, além da de solo agrícola para floresta, estimada em 32,96%, caracterizando uma conversão de áreas para regeneração ou plantio de espécies florestais. A transição de floresta para áreas de campo e solo agrícola, estimadas respectivamente em 16,24% e 35,43%, caracteriza o desmatamento para uso da agropecuária, assim como a mudança de campo para solo agrícola estimada em 11,74% e de solo agrícola para campo em 15,40% demonstram um panorama de alternância entre a utilização da terra entre a agricultura e a pecuária.

Tabela 7 - Matriz de transição do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia entre 2002 e 2008.

<i>Uso e Cobertura da terra</i>		<i>2008</i>		
		<i>Campo</i>	<i>Floresta</i>	<i>Solo Agrícola</i>
2002	<i>Campo</i>	1	0,2258	0,1174
	<i>Floresta</i>	0,1624	1	0,3543
	<i>Solo Agrícola</i>	0,1540	0,3296	1

Com a determinação das estimativas globais de transição, ou seja, o total de mudanças do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia procedeu-se à realização das

estimativas das probabilidades locais de transição através da determinação de um conjunto de variáveis independentes. No Dinamica EGO, conforme o Procedimento 2, mencionado anteriormente na metodologia, foram determinadas as faixas de distâncias (ranges) para cada transição de uso e cobertura considerada, cujas variáveis utilizadas para a explicação de cada transição foram o mapa de buffer de drenagem (Anexo 05), o mapa clinográfico (Anexo 06) e as distâncias a cada uso e cobertura da terra, sendo que suas respectivas notações estão mencionadas na Tabela 8. As variáveis estáticas (categóricas) se referem ao mapa de buffer de drenagem, e o clinográfico e as variáveis dinâmicas (não-categoricas) referem-se a mapas de distância a certos tipos de uso e cobertura da terra, sendo que todas essas variáveis sofrem mudanças a cada iteração do programa, que são continuamente atualizadas, influenciando no cálculo das probabilidades de transição na próxima iteração.

Tabela 8 - Variáveis independentes das transições de uso e cobertura da terra na Quarta Colônia: 2002-2008.

Notação	Variáveis de mudanças de uso e cobertura da terra
distance/distance_to_2	distância a Campo
distance/distance_to_3	distância a Floresta
distance/distance_to_4	distância a Corpos de Água
distance/distance_to_5	distância a Solo Agrícola
static_var/buffer	buffer de drenagem
static_var/clino	clinográfico

Com a determinação das faixas de distâncias, realizou-se o cálculo das probabilidades locais de transição, isto é, as probabilidades de transição de uso e cobertura da terra em cada célula, realizado com base nos valores dos pesos positivos de evidência ($W+$). A Tabela 9, exposta no anexo 06, apresenta os valores de $W+$ para cada faixa de distância das variáveis, em que, em observação a esta, percebeu-se que a faixa de distância 3 para as transições de floresta para campo e floresta para solo agrícola, assim como a distância 5 na transição de solo agrícola para floresta e solo agrícola para campo, não eram consideradas variáveis explicativas para o modelo, pois possuíam pesos de evidência nulos, e, dessa forma, foram retiradas deste.

Baseado no Procedimento 4 da modelagem, realizou-se no Dinamica EGO a verificação da eventual existência de dependência entre os mapas de variáveis, utilizando o Índice Cramer (V) e o Joint Information Uncertainty (U) ou “Índice de Incerteza de Informação Conjunta” (BONHAM-CARTER, 1994), os quais operam com valores reais e percentuais, respectivamente, de áreas de sobreposição entre diferentes categorias (no caso, faixas de distância) de dois mapas de variáveis explicativas, visando avaliar a presença de associação ou dependência espacial entre ambos. O “Joint Information Uncertainty”, ao trabalhar com valores relativos de áreas de sobreposição, tende a ser mais robusto que o Índice de Cramer, pois evita o risco de tender a representar valores absolutos de áreas.

Bonham-Carter (1994) menciona que valores inferiores a 0,5, tanto para o Índice de Cramer (V) como para a “Incerteza de Informação Conjunta” (U), sugerem dependência espacial entre as variáveis consideradas, o que não leva à desconsideração de nenhuma delas do modelo. Assim, adota-se o limiar de 0,5 para se decidir sobre a inclusão (V ou $U < 0,5$) ou exclusão (V ou $U > 0,5$) de variáveis no modelo.

Em relação à modelagem da Quarta Colônia, observando-se os dados gerados que foram expostos na Tabela 10, o Índice Cramer não apresentou nenhum valor acima de 0,5, confirmando, portanto, que as variáveis previamente selecionadas poderiam ser empregadas simultaneamente no modelo, mas no “Índice de Incerteza de Informação Conjunta” a distância 5 (solo agrícola) em análise a dois pares de variáveis apresentou-se maior que 0,5; dessa forma, foi descartada a participação nas variáveis explicativas nos pesos de evidência, como pode ser observado na Tabela 11 do Anexo 7, em que estão finalmente todas as variáveis consideradas para a simulação do modelo de 2002 a 2008 e, em seqüência, para 2018.

Tabela 10 - Apresentação dos dados de análise exploratória de variáveis através do Índice Cramer e do “Índice de Incerteza de Informação Conjunta”.

<i>Primeiras variáveis</i>	<i>Segundas variáveis</i>	<i>Cramer</i>	<i>“Incerteza de Informação Conjunta”</i>
distance/distance_to_3	distance/distance_to_4	0,349144	0,449424
distance/distance_to_3	distance/distance_to_5	0,492449	0,645437
distance/distance_to_3	static_var/buffer	0,221705	0,0431558
distance/distance_to_3	static_var/clino	0,450908	0,520734
distance/distance_to_4	distance/distance_to_5	0,321206	0,434352
distance/distance_to_4	static_var/buffer	0,189759	0,0299027
distance/distance_to_4	static_var/clino	0,408086	0,40127
distance/distance_to_5	static_var/buffer	0,222911	0,0420582
distance/distance_to_5	static_var/clino	0,443399	0,548555
static_var/buffer	static_var/buffer	0,224285	0,0458912

Para a realização da etapa de simulação do modelo para 2008 e, posteriormente, para 2018, foi necessário utilizar os dois algoritmos de transição que o Dinamica EGO apresenta, responsáveis pela alocação de mudanças de uso e cobertura da terra: o *expander* e o *patcher*, cuja determinação dos tamanhos das manchas foi estabelecido a partir de uma análise visual através de simulações do modelo com tamanhos de manchas diferentes. O valor ideal de tamanho médio (μ) foi de 50 ha., e de variância (σ_2) também de 50 ha em cada algoritmo.

O modelo comporta também outro parâmetro, chamado índice de isometria de manchas, que representa um valor numérico, que é multiplicado pelo valor de probabilidade das oito células da janela de vizinhança 3x3, utilizada pelos algoritmos *expander* e *patcher*, antes da aplicação da regra de transição. Quanto mais elevado é o valor do índice, mais compactas serão as manchas produzidas pelas funções de transição, e, de forma oposta, quanto mais próximo de zero, mais fragmentadas serão as manchas. Nesse experimento, foi adotado um índice de isometria no valor de 1,5, o que caracteriza um equilíbrio entre compactidade e fragmentação das mesmas.

Em relação à validação do modelo, pode-se observar, levando-se em consideração o método fuzzy, utilizando a função de decaimento exponencial, que o modelo gerado para 2008, posteriormente projetado para 2018, apresentou uma média de similaridade em torno de 52% entre o mapa real de 2008 e sua simulação, considerando as mudanças ocorridas entre 2002 e 2008. O mapa apresentado na

Figura 26 permite a visualização do mapa real de 2008 comparado com sua simulação, e o mapa exposto na Figura 27 espacializa os erros que incluem tanto as omissões (áreas em que houve mudança de 2002 a 2008 e não aparecem na simulação) quanto as comissões (áreas em que não houve mudança de fato, mas aparecem como mudança na simulação) e acertos da simulação.

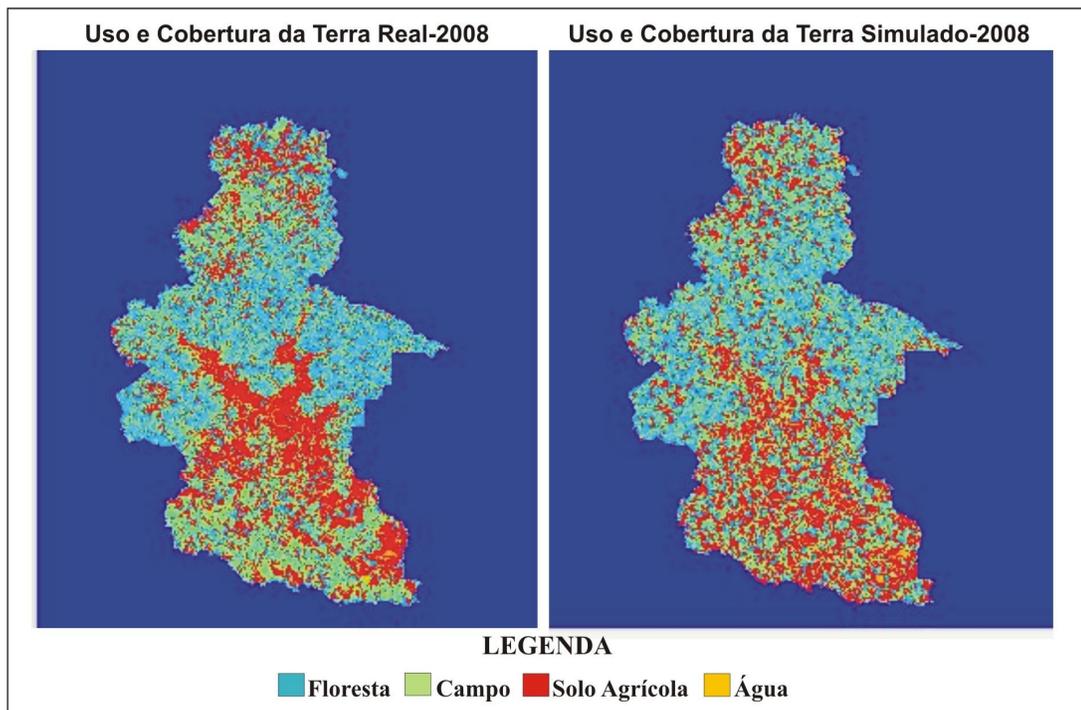


Figura 26 - Visualização dos mapas de uso e cobertura da terra de 2008 e sua respectiva simulação. Elaboração: Autora.

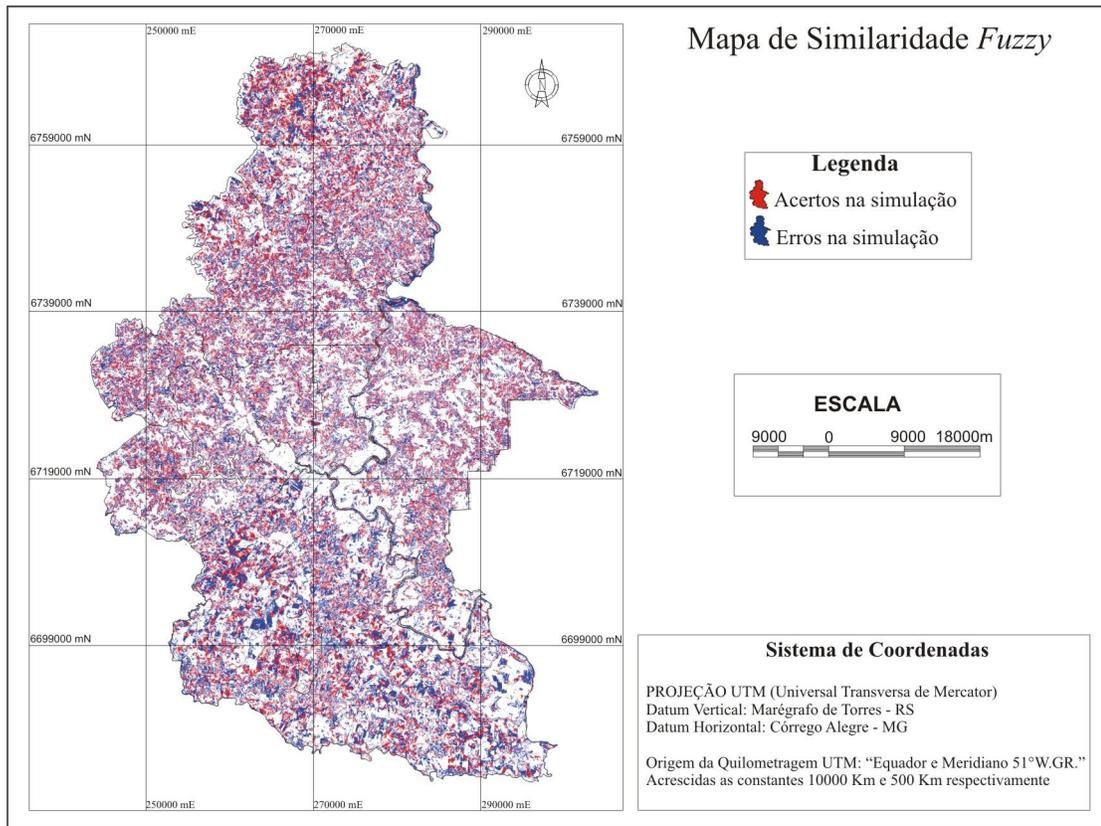


Figura 27 - Visualização do mapa de similaridade fuzzy, baseado na função de decaimento exponencial. Elaboração: Autora.

A Tabela 12 apresenta os índices de similaridade *fuzzy*, considerando a função de decaimento constante para a simulação produzida pelo modelo para 2008, sendo que o resultado da análise de ajuste desses pode ser considerado satisfatório.

Tabela 12 - Resultado da Validação para distintos tamanhos de janela.

Modelo	Tamanho da Janela (Pixels)	Parâmetros das Manchas (ha)	Índice de Similaridade Fuzzy (ISF)
Simulação 2002- 2008	3x3	50	0,448406
	5x5		0,592447
	7x7		0,704441
	9x9		0,785147
	11x11		0,842805

O ISF (Índice de Similaridade Fuzzy) é considerado um método de avaliação de concordância flexível, que não se baseia em ajuste pixel a pixel, mas sim em ajuste por múltiplas resoluções, em que os valores deste tendem a ser superiores quando comparados aos índices de concordância rígida, sendo esta maior quanto maior for o tamanho da janela de amostragem; dessa forma, a partir de certa resolução acima de 11 ou 13 pixels, ocorre normalmente uma saturação, demonstrando que para janelas muito grandes o ISF torna-se ineficiente na avaliação do ajuste entre o mapa real e o simulado, como pode ser visualizado na Figura 28.

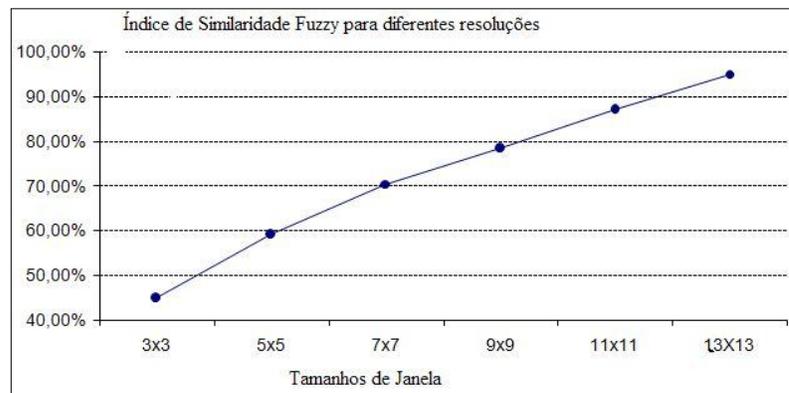


Figura 28– Variação do índice de similaridade *fuzzy* (ISF), com tamanho médio de mancha de 50 ha., em função de diferentes tamanhos de janela de amostragem. Elaboração: Autora

É preciso salientar que o uso de índices de concordância por múltiplas resoluções para avaliar a qualidade de simulações de modelos dinâmicos espaciais é justificado pelo fato de não ser possível reproduzir situações passadas com total exatidão espacial, pela aleatoriedade inerente a processos de conversão de uso e cobertura da terra.

4.1.3 Análise do mapa de simulação para o ano de 2018

O modelo de simulação gerado para 2018, baseado em variáveis físicas, apresentou como resultado as possíveis transições de uso e cobertura da terra anuais no período de 2008 até 2018, como pode ser visualizado na Figura 29.



Figura 29 - Simulação anual de 2008 a 2018 do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia. Elaboração: Autora.

Através da análise evolutiva do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia, assim como o levantamento histórico espacial de ocupação da área com suas limitações de ocupação geográfica, bem como a previsão de como esses usos tendem a se comportar no futuro (apresentada na Figura 24), podem-se descrever observações que envolvem a localização das áreas desses usos e as possíveis mudanças, às quais essas áreas estarão provavelmente sujeitas.

O mapa com a simulação de 2018, quantificado no SPRING com maiores detalhes, pode ser visualizado no Anexo 8, cuja quantificação evolutiva do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia de 2008 a 2018 são apresentadas na Tabela 13. Em termos totais de área sem especificação de uso e cobertura, em 2018, não haverá grandes alterações, se comparado ao ano de 2008, pois como é uma região geográfica em grande parte declivosa e com montanhas, a expansão agrícola nessas áreas, assim como os desmatamentos, tornando-se limitados. A classe floresta tende a ter uma pequena redução, assim como campo e solo agrícola, e a classe água mantém o mesmo valor do ano de 2002.

Tabela:13- Áreas evolutivas de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia/RS em ha.

<i>Classes de uso e cobertura da terra (ha.)</i>	<i>Uso 1988</i>	<i>Uso 2002</i>	<i>Uso 2008</i>	<i>Previsão Uso 2018</i>
Floresta	89,187	92,941	93,217	91,054
Campo	117,726	103,807	101,332	101,035
Solo Agrícola	85,155	91,504	96,544	96,163
Água	2,050	5,866	3,025	5,866
Total	294,118	294,118	294,118	294,118

Para a realização de uma análise com maiores especificidades, gerou-se a quantificação assim como a espacialização das previsões de mudanças de cada classe de uso e cobertura da terra de 2008 a 2018, como pode ser visualizado na Tabela 14 e na Figura 30.

Tabela:14- Mudanças previstas de 2008 a 2018 das classes de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia

	<i>Uso e Cobertura da terra</i>	<i>Previsão 2018 (ha e % respectivamente)</i>			
		Campo	Floresta	Solo Agrícola	Água
2008 (ha.)	Campo	36,51 – 36,14	29,74 – 32,66	35,42 – 36,83	0,74 – 12,63
	Floresta	31,48 – 31,16	38,88 – 42,70	20,83 – 21,66	0,68 – 11,60
	Solo Agrícola	32,74 – 32,40	22,18 – 24,37	39,46 – 41,04	2,14 – 36,52
	Água	0,30 – 0,30	0,25 – 0,27	0,45 – 0,47	2,30 – 39,25
	Total	101,03 - 100	91,05 - 100	96,16 – 100	5,86 - 100

Em relação à classe campo, observou-se uma maior tendência de permanência do uso em 36,14%, com conseqüente previsão de maior mudança para solo agrícola, com 36,83%, em função da política de incentivo ao desenvolvimento, principalmente, da agricultura, e da realização de uma pecuária mais intensiva. As áreas de campo que tendem a uma regeneração de floresta em torno de 31,16%, estão, em sua grande maioria, localizadas no rebordo de áreas que já eram floresta e ao longo das drenagens. Essa última localização se deve ao fato de reconstrução das matas ciliares, cuja fiscalização nessa região vem se intensificando ao longo do tempo e tende a continuar ainda com maior ênfase.

A classe floresta também tende a permanecer em maior quantificação espacial com 42,70%, principalmente nas áreas montanhosas. Mas tenderão a ocorrerem mudanças significativas em 31,16% e 21,66% nas áreas, respectivamente, para campo e solo agrícola, demonstrando uma propensão à continuidade de desmatamentos em áreas propícias ao desenvolvimento da agricultura e pecuária.

O solo agrícola tende a seguir mudanças para campo em 32,40% da área, sendo essas utilizadas principalmente para a pecuária, e mudanças menores para floresta em 24,37% das áreas de solo agrícola, com a tendência de abandono de áreas declivosas, que não permitem a mecanização, e plantio em algumas áreas de eucalipto, utilizado para a comercialização, mantendo-se inalterada 41,04 % da área de solo agrícola.

Em relação à classe água, houve pequenas mudanças, sendo que o total dessa classe permaneceu igual a 2008, pelo fato das transições desse uso para os demais não terem sido consideradas.

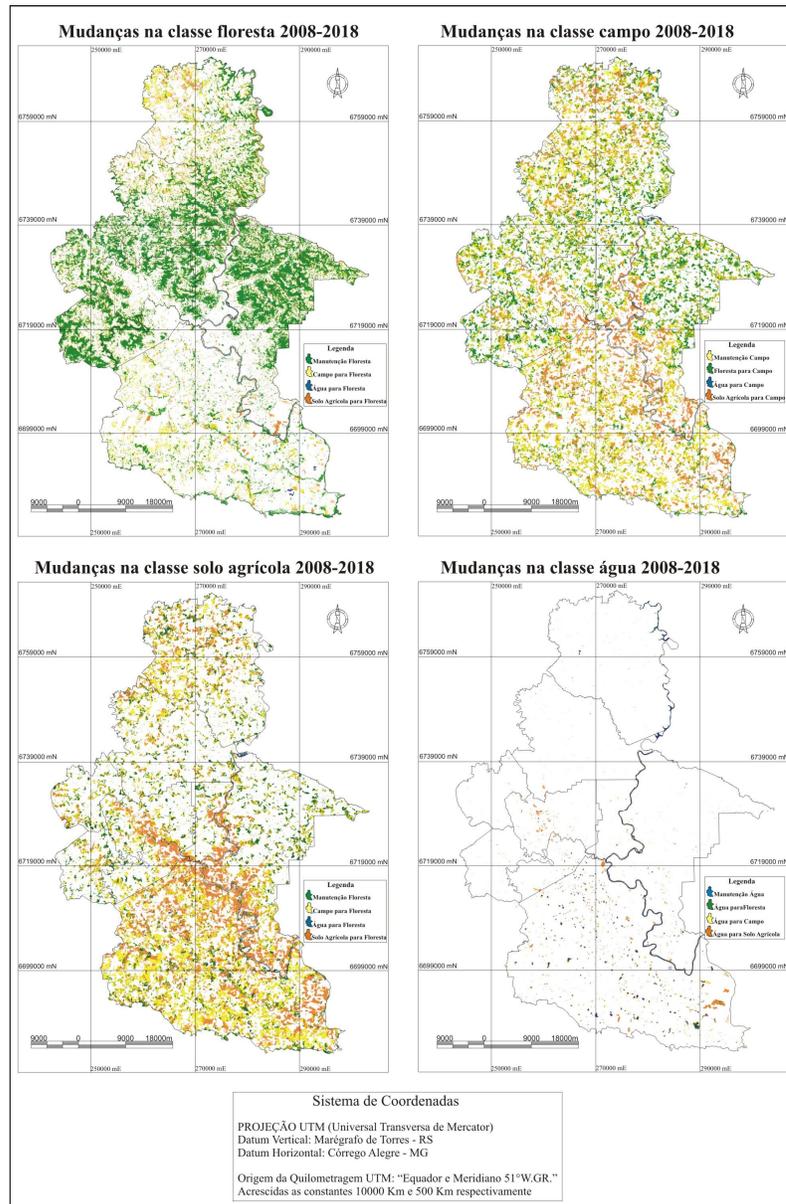


Figura 30: Espacialização das previsões de mudanças e manutenção do uso e cobertura da terra de 2008 a 2018.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao gerar-se um modelo estocástico que simulasse a evolução do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia para o ano de 2018, cumpriu-se o objetivo central desse trabalho, obtendo-se, como principal resultado, simulações anuais de 2008 a 2018, localizando as áreas onde tendem a ocorrer perdas ou o acréscimo dos usos e cobertura da terra. Essa localização demonstrou dar seguimento ao processo de ocupação que a terra dessa região vem sofrendo ao longo dos 20 anos analisados, apesar de que foi construído um modelo de simulação dessa evolução para apenas os últimos seis anos.

A quantificação das áreas do mapa simulado de 2018 também contribui para se reafirmar que as tendências de evolução (aumento/diminuição) continuam praticamente as mesmas, vistas nas mudanças de uso e cobertura da terra entre os períodos de 1988-2002 e 2002-2008, apesar das classes solo agrícola e floresta não terem seguido a tendência de aumentar e sim terem uma pequena redução de 0,381 ha e 1,162 ha., respectivamente, na simulação de 2018. Nessa tendência das classes em 2018, a classe que propende a apresentar maior permanência sem alteração é a floresta, em 42,70% de sua área, e as maiores transições tendem a ser de campo para solo agrícola, em 36,83 da área de campo de 2018, que corresponde a 101,035 ha.

A plataforma utilizada para a modelagem Dinamica EGO se mostrou satisfatória no cumprimento dos objetivos desse trabalho, por comportar, além de outras características, uma estrutura aberta e flexível que atendeu às especificidades de modelagem da área de estudo, com padrões particulares de conversão de cobertura de uso e cobertura da terra.

Ressalta-se que, em estudos posteriores, pretende-se explorar um rol mais diversificado de variáveis intervenientes, como variáveis políticas, socioeconômicas e de infra-estrutura em nível local e estadual, além de operar com outros métodos estocásticos de parametrização das variáveis explicativas do modelo.

Na plataforma do Dinamica EGO utilizou-se como probabilidade de transição global a cadeia de Markov para prognóstico em 2018, que se mostrou eficiente em modelar processos estacionários, utilizando equações matemáticas simples e que requerem poucos dados. Assim, como consequência, são facilmente implementados em Sistemas de Informações Geográficas.

A utilização do método de pesos de evidência, implementado no Dinamica EGO, demonstrou ser útil para se estimarem as probabilidades de transições locais da célula no processo de simulação das prováveis mudanças do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia, e foi fundamental para se identificarem, de forma parcial, as variáveis que realmente seriam parte constituinte do modelo.

Além disso, é preciso ressaltar que, apesar de todas as evidências apontarem para a afirmação de que a realização de modelos tenham tido ao longo do tempo avanços representados pelo advento de modelos baseados em autômatos celulares e pelas facilidades resultantes de seu vinculamento de dados com os SIG, é preciso mencionar que há limitações e deficiências implícitas nas atuais implementações tradicionais desses modelos. Elas estão ligadas principalmente à discretização do espaço e do tempo, mas muitos esforços para a resolução dos problemas de estacionariedade de mudanças ao longo do tempo vêm sendo providenciados, levando a se considerar os modelos dinâmicos espaciais baseados em autômatos celulares como um meio promissor de divulgação de saídas de simulação a gestores locais e regionais, assim como o público, em geral para que possam tomar atitudes no sentido de melhorar em meio em que vivem.

Em relação à contribuição dessa dissertação para o estudo regional da Quarta Colônia, em termos gerais, destaca-se o mapeamento e a quantificação das áreas de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia nos últimos 20 anos e previstos para os próximos 10 anos, gerando-se e testando-se um método de simulação de cenários referentes aos padrões de uso e cobertura com suas mudanças, projetando em um mapa de 2018 as áreas que potencialmente apresentarão mudanças de acréscimo e/ou diminuição desses usos, levando-se em consideração variáveis de influências físicas (mapa de buffer de drenagem e mapa clinográfico).

Além disso, essa simulação vem a contribuir no auxílio de gestores locais, como prefeitos, secretários, órgãos públicos municipais e regionais, para o estabelecimento de políticas através de projetos que venham a contribuir na minimização principalmente dos desmatamentos, com incentivos, por exemplo, para a preservação das matas ciliares e encostas, assim como recuperação destas, ou seja, utilização da terra de forma mais sustentável. Também essa pesquisa se propõe a fornecer diretrizes metodológicas para futuros estudos em modelagem aplicados a estudos de casos reais de uso e cobertura da terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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)**. Tese de Doutorado – INPE, São José dos Campos, 2003.

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico, 2007. Disponível em: < www.agritempo.gov.br>. Acesso em: 22 set. 2007.

ASSAD, E. D; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura**. 2.ed., ver. e ampl. Brasília: Embrapa - SPI/Embrapa - CPAC , 1998. Xxviii,434p.:il.

BAATZ, M & SCHÄPE, A. **Mutiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation**. München, 2001.

BACA, J. F. M; NETTO, A. L. C; MENEZES, P. M. L. De. Modelagem da dinâmica da paisagem com Processos de Markov. In: MEIRELES, M. S. P; CAMARA, G; ALMEIDA, C. M. De. **Geomática Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

BARBOSA, C. C. F. & CORDEIRO, J. P. Manual de Referência em LEGAL. In: MONTEIRO, A. M. V. et al. (Org.). **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

BELL, E. J.; HINOJOSA, R. C. Markov analysis of land use change: continuous time and stationary processes. **Socio-Economic Planning Science**, v. 8, p. 13-17, 1977.

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

CORADINI, O. L. **O Impacto Socioeconômico das Biotecnologias: Uma Perspectiva Internacional**. Cadernos de difusão de Tecnologia, BRASILIA/DF, 1984.
COSTA, R. N. & MOREIRA, I. A. G. **Espaço e Sociedade no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1982.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. Tese (Doutorado em Geografia) - University of Aegean, Lesvos, Greece, 2000. Disponível em <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acessado e: 19 nov. 2006.

BRUM, A. J. **Modernização da agricultura trigo e soja**. Rio de Janeiro: Vozes, 1987.
BURROUGH, P. **Dynamic Modelling And Geocomputation. Geocomputation: A Primer**. P. Longley, M. Batty and R. McDonnel. London, John Wiley & Sons.1998.

Câmara, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos**. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.

CARNEIRO, T.G. S., Uma Arquitetura para Modelagem Ambiental Empírica e baseada nas Teorias dos Autômatos Celulares, Híbridos e Situados. 2004. 52p. Proposta de Tese (Doutorado em Computação Aplicada)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

CONGALTON, R. G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Bethesda. 54, 1669-1671, 1992.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999. 136 p.

D'Alge, J. C. L. Coordenadas geodésicas e sistemas de informação geográfica. In: **Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina (GISBRASIL 99)**, 5., Salvador, 1999. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 1999. (INPE-7288-PRE/3193).

DE BONI, L A., COSTA, R. **Os italianos no Rio Grande do Sul**. 3. ed. ilustr. Porto Alegre: EST; Caxias do Sul: Universidade de Caxias; Correio Brasiliense. 1984.

DUARTE, A. P. Fundamentos de Cartografia. 2 ed. Florianópolis: Ed da UFSC, 2002. 208 p.

ESTEVA, Eliane A. **Classificação de áreas de favelas a partir de imagens Ikonos: Viabilidade de uso de uma abordagem orientada a objetos.** Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

FARINATTI, L. A. E. **Sobre as cinzas da mata virgem.** Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em História. PUC, Porto Alegre, 1999.

FERRARI, R. Atlas Geográfico Escolar do Município de Nova Palma-RS. Monografia (Graduação em Geografia/Licenciatura) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GONÇALVES, A. D; SOUZA JÚNIOR, W. C; ALMEIDA, C. M. de. **Modelagem de alteração de uso e cobertura da terra em uma porção do município de Mineiros-GO utilizando o método de pesos de evidência.** São Paulo: INPE, 2007. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.09.15.05>>. Acesso em: 10 out. 2007.

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. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL. Disponível em <<http://www.inpe.br>> Acesso em 27 de abril de 2007.

ITAQUI, J (org). **Quarta Colônia Inventários Técnicos Flora e Fauna.** Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, 2002.

JOLY, F. **A Cartografia.** Rio de Janeiro: Papyrus, 1990.

KAMINSKI, S. T. Levantamento do potencial tecnológico da Quarta Colônia de Imigração Italiana no Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

LAMBIN, E. F. **Modeling Deforestation Processes** - A Review, Trees series B: Research Report . European Commission, Luxembourg. 1994.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3 ed. Marketing Manager. United States of america. 1994.

MARTINELLI, M. Mapas da Geografia e Cartografia Temática. 3 ed. São Paulo: Contexto, 2006.

MENEZES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. **Sensoriamento Remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, 2001. 262p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2ª ed. São José dos Campos, São Paulo. 2003. 307p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 83p.

NIMER, E. Clima. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil**: Região Sul. Rio de Janeiro:1990. p.151-187.

NOVO, E. M. L., **Sensoriamento remoto, princípios e aplicações**. 2 ed. Blucher São Paulo, SP. 1992.

PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS – **Geografia**. Brasília: MEC/SEF, 1998.

PASSINI, E. Y. **Alfabetização cartográfica e o livro didático**: uma análise crítica. Belo Horizonte, MG: Lê, 1994.

PEDROSA, B. M; CÂMARA, G. **Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento**. São Paulo: INPE, 2002. Disponível em <sid.inpe.br/sergio/2004/10.07.15.07> Acesso em 20 de março de 2006.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Selbach, 1956b. 456p.

RIGHI, J. V; TORRI, V; BISOGNIN, E. L. **Povoadores da Quarta Colônia**. Porto Alegre: Suliani Editografia Ltda, 2001.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento**: Tecnologia Transdisciplinar. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000. 220p.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: Eduf, 1990, 135p.

SAQUET, M. A. **A construção do espaço em Nova Palma**. Santa Maria: Palotti, 1996.

SANTIN, S. Aos 125 anos, Quarta Colônia quer reencontrar seus caminhos. Correio Riograndense, Rio Grande do Sul, 08 mai. 2002. Disponível em: <http://quartacoloniaitaliana.vilabol.uol.com.br/125_anos.html>. Acesso em: 22 out. 2007.

SANTOS, J. R; VENTURIERI, A. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura**. 2.ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa - SPI/Embrapa - CPAC , 1998. Xxviii,434p.:il.

SILVA, D. A. da. **Sistemas Sensores Orbitais**. São José dos Campos: INPE-CTA, 1995. 69p.

SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e Fundamentos**. Campinas. São Paulo: Editora da Unicamp. 2003. 236p. (Coleção Livro-Texto).

SKOLE, D. L. **Data on global land-cover change: acquisition, assessment, and analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

SOARES FILHO, B. **Modelagem dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. Tese de doutorado. Escola Politécnica. São Paulo, Universidade de São Paulo. 1998.

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

SOARES FILHO, B. ; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. **DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. Ecological Modelling**, Belo Horizonte, 2002.

SPONCHIADO, B. A. **Imigração & 4ª Colônia: Nova Palma e Pe. Luizinho**. Santa Maria, UFSM, 1996. 152p.

STEYAERT, L.T. A. **Perspective on the state of environmental simulation modeling**. New York: Oxford University Press, 1993.

TEIXEIRA, M., **Introdução ao Geoprocessamento**. In: Simpósio Sobre Geoprocessamento, Editora Espus, Anais..., p 1-26. São Paulo, 1997.

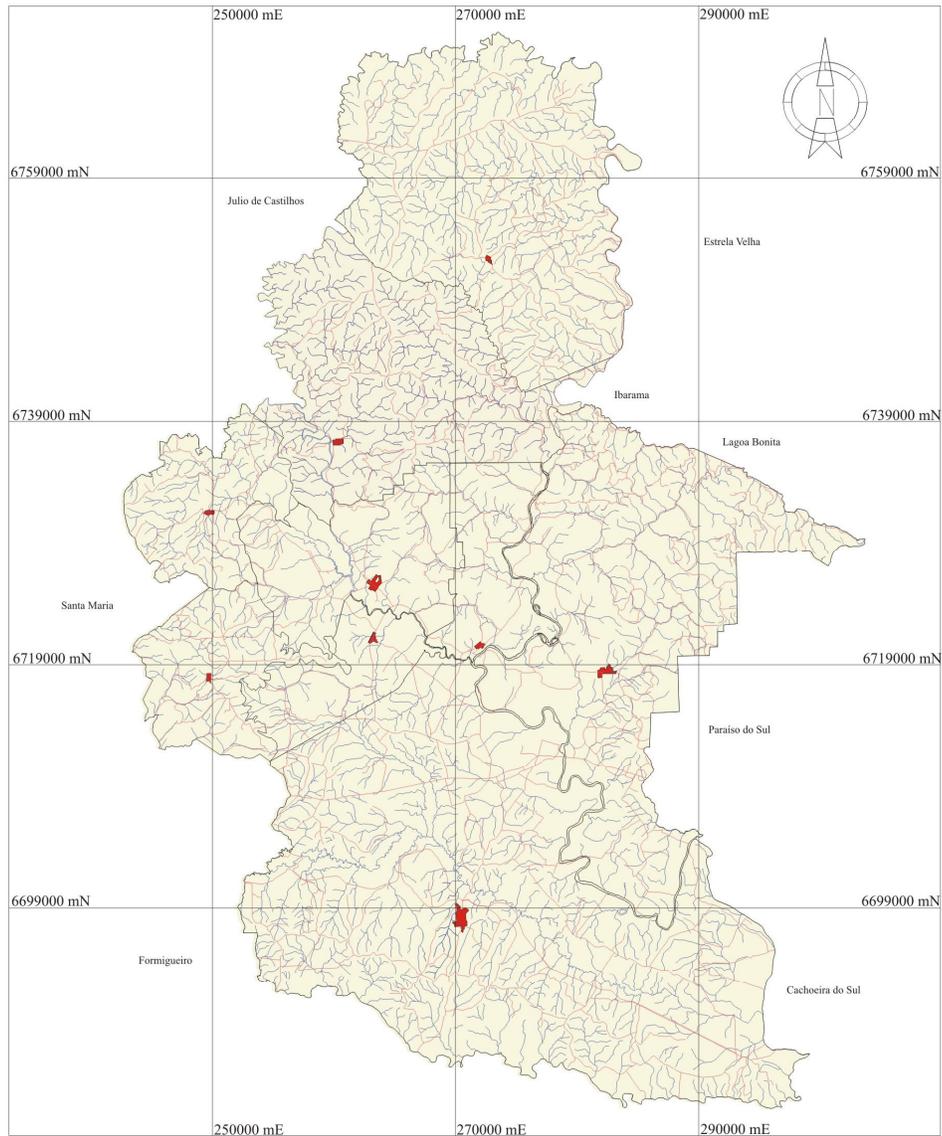
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas. **Cartografia**. São Paulo, [2003]. Disponível em: http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/jornada/programa/t-12_trab_42.pdf. Acesso em: 20 set. 2007.

XAVIER-DA-SILVA, J.; Z Aidan, R. T. (org). **Geoprocessamento & Análise Ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 363p.

WOLFRAM, S. Statistical mechanics of cellular automata. **Review of modern physics**, v. 55, p. 601-610, 1983.

ANEXOS

BASE CARTOGRÁFICA DA QUARTA COLÔNIA/RS



Escalas

Gráfica
 5000 0 5000 10000 15000 20000m

Númerica 1: 500.000 Equivalência 1 cm - 5000 m

Fonte

MAPA-BASE
 Cartas Topográficas - DSG/RS - Escala 1:50000
 Edição 1980

REFERÊNCIA
 Quarta Colônia Inventários Técnicos Flora e Fauna
 José Itaquí (Organizador)

Legenda	
	Limite 294.118 ha
	Rede Viaria
	Rede de Drenagem
	Zona Urbana

Sistema de Coordenadas

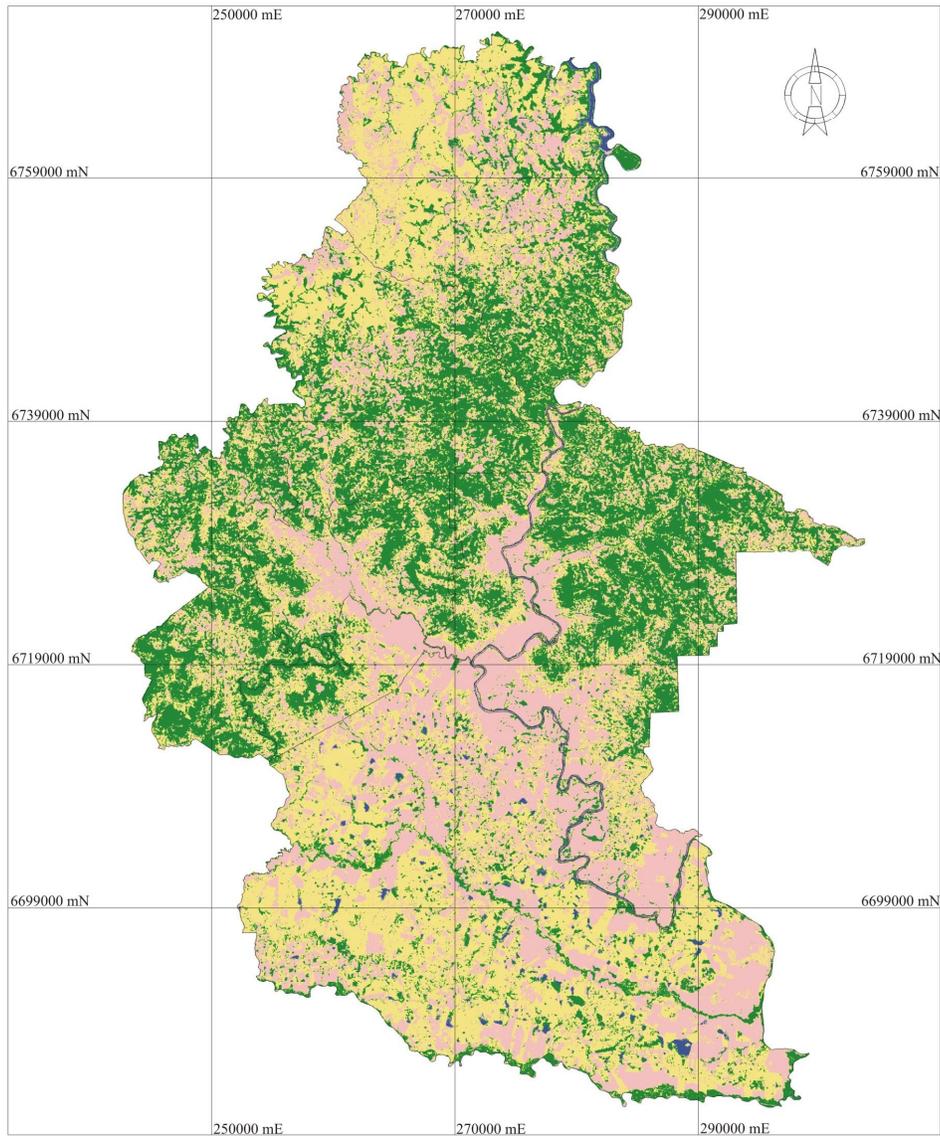
PROJEÇÃO UTM (Universal Transversa de Mercator)
 Datum Vertical: Marégrafo de Torres - RS
 Datum Horizontal: Córrego Alegre - MG

Origem da Quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 51°W.G.R."
 Acrescidas as constantes 10000 Km e 500 Km respectivamente

UFMS Universidade Federal de Santa Maria	NDIGe Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias
Base Cartográfica	
Quarta Colônia	Estado: Rio Grande do Sul País: Brasil
Organização: Mestranda em Geomatica Renata Ferrari	Data: Julho/2008

ANEXO 1 – Base Cartográfica da Quarta Colônia/RS.

MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA QUARTA COLÔNIA/RS - 1988



Legenda

Classes de Uso e Cobertura da Terra

	Floresta	89.187 ha
	Solo Agrícola	85.155 ha
	Água	2.050 ha
	Campo	117.726 ha
	Área Total	294.118 ha



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA MARIA



NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO DE
INFORMAÇÕES E GEOTECNOLOGIAS

Escalas

Gráfica



Numérica 1: 500.000 Equivalência 1 cm = 5000 m

Sistema de Coordenadas

PROJEÇÃO UTM (Universal Transversa de Mercator)
Datum Vertical: Marégrafo de Torres - RS
Datum Horizontal: Córrego Alegre - MG

Origem da Quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 51°W.G.R."
Acrescidas as constantes 10000 Km e 500 Km respectivamente

Fonte

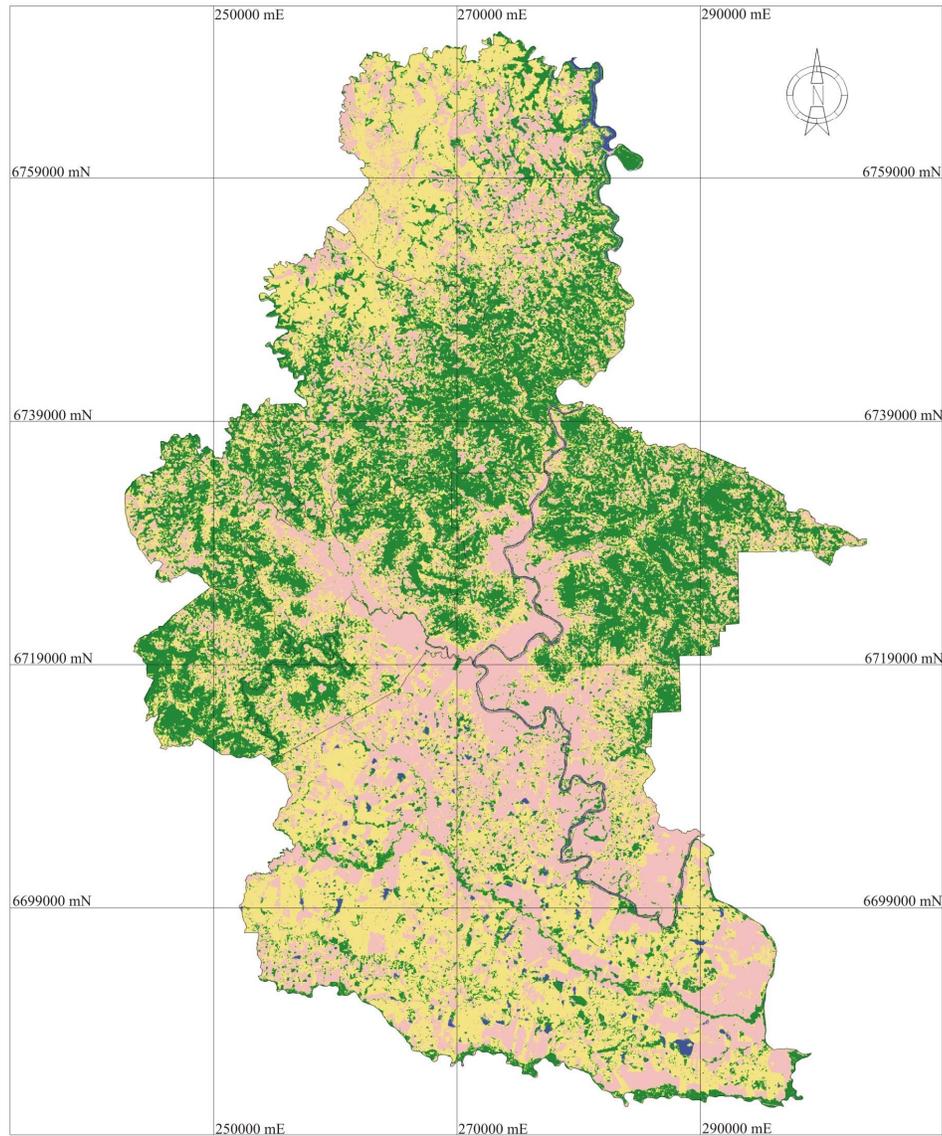
MAPA-BASE
Cartas Topográficas - DSG/RS - Escala 1:50000
Edição 1980

IMAGEM DE SATÉLITE
LANDSAT - 222-080 222-081 de 04/11/1988

REFERÊNCIA
Quarta Colônia Inventários Técnicos Flora e Fauna
José Itaquí (Organizador)

UFMS Universidade Federal de Santa Maria	NDIGe Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias
Mapa de Uso e Cobertura da Terra	
Quarta Colônia	Estado: Rio Grande do Sul
País: Brasil	
Organização: Mestranda em Geomatica Renata Ferrari	Data: Julho/2008

MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA QUARTA COLÔNIA/RS - 1988



Legenda

Classes de Uso e Cobertura da Terra

	Floresta	89.187 ha
	Solo Agrícola	85.155 ha
	Água	2.050 ha
	Campo	117.726 ha
	Área Total	294.118 ha



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA MARIA



NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO DE
INFORMAÇÕES E GEOTECNOLOGIAS

Escalas

Gráfica



Numérica 1: 500.000 Equivalência 1 cm = 5000 m

Sistema de Coordenadas

PROJEÇÃO UTM (Universal Transversa de Mercator)
Datum Vertical: Marégrafo de Torres - RS
Datum Horizontal: Córrego Alegre - MG

Origem da Quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 51°W.G.R."
Acrescidas as constantes 10000 Km e 500 Km respectivamente

Fonte

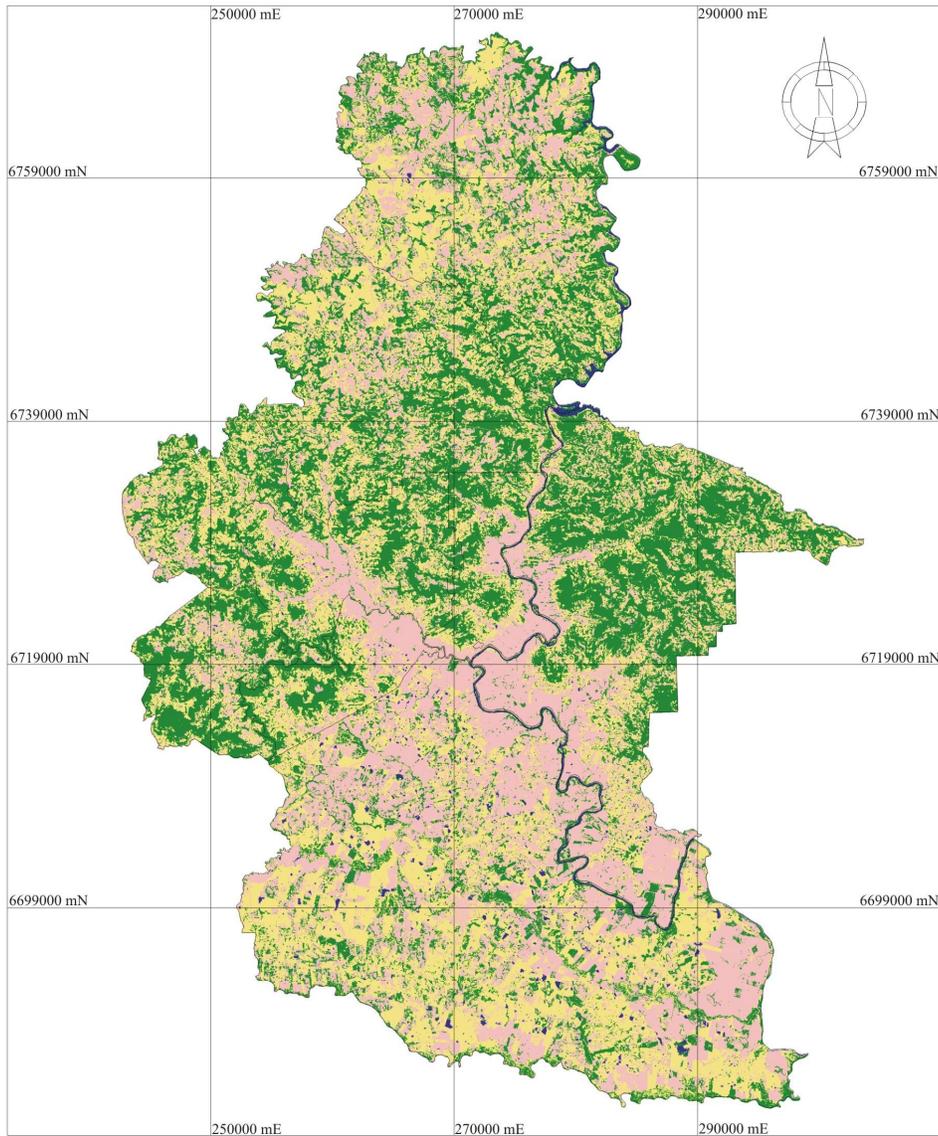
MAPA-BASE
Cartas Topográficas - DSG/RS - Escala 1:50000
Edição 1980

IMAGEM DE SATÉLITE
LANDSAT - 222-080 222-081 de 04/11/1988

REFERÊNCIA
Quarta Colônia Inventários Técnicos Flora e Fauna
José Itaquí (Organizador)

UFMS Universidade Federal de Santa Maria	NDIGe Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias
Mapa de Uso e Cobertura da Terra	
Quarta Colônia	Estado: Rio Grande do Sul País: Brasil
Organização: Mestranda em Geomatica Renata Ferrari	Data: Julho/2008

MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA QUARTA COLÔNIA/RS - 2008



Legenda	
Classes de Uso e Cobertura da Terra	
	Floresta 92.217 ha
	Solo Agrícola 96.877 ha
	Água 3.026 ha
	Campo 101.998 ha
	Área Total 294.118 ha




Escalas

Gráfica 

Númerica 1: 500.000 Equivalência 1 cm = 5000 m

Fonte

MAPA-BASE
 Cartas Topográficas - DSG/RS - Escala 1:50000
 Edição 1980
 IMAGEM DE SATÉLITE
 LANDSAT - 222-080 222-081 de 16/03/2008
 REFERÊNCIA
 Quarta Colônia Inventários Técnicos Flora e Fauna
 José Itaquí (Organizador)

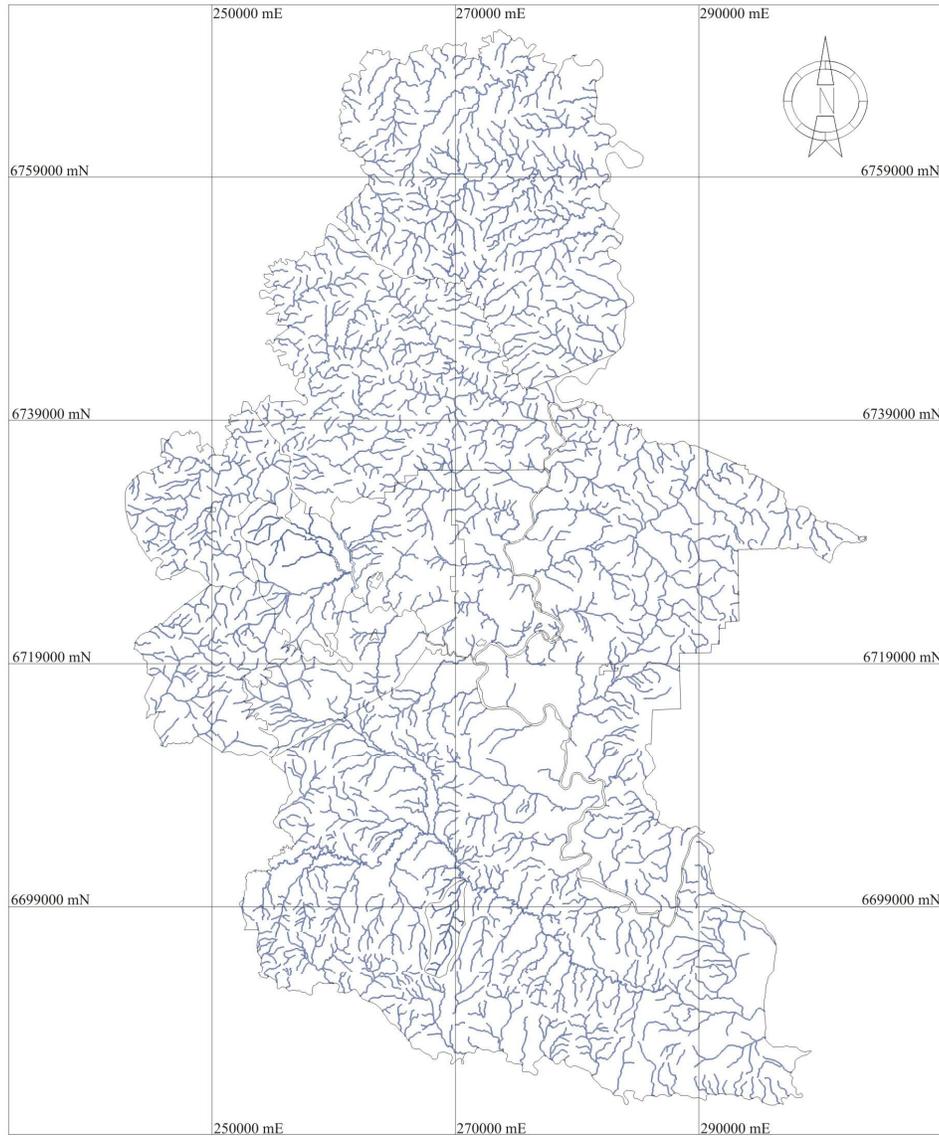
Sistema de Coordenadas

PROJEÇÃO UTM (Universal Transversa de Mercator)
 Datum Vertical: Marégrafo de Torres - RS
 Datum Horizontal: Córrego Alegre - MG
 Origem da Quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 51°W.G.R."
 Acrescidas as constantes 10000 Km e 500 Km respectivamente

UFMS Universidade Federal de Santa Maria	NDIGe Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias
Mapa de Uso e Cobertura da Terra	
Quarta Colônia	Estado: Rio Grande do Sul
Organização: Mestranda em Geomática Renata Ferrari	País: Brasil Data: Julho/2008

ANEXO 4 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia/RS-2008

BUFFER DA REDE DE DRENAGEM DA QUARTA COLÔNIA/RS



Fonte
 MAPA-BASE
 Cartas Topográficas - DSG/RS - Escala 1:50000
 Edição 1980

REFERÊNCIA
 Quarta Colônia Inventários Técnicos Flora e Fauna
 José Itaquí (Organizador)

Legenda

Buffer 30m ao longo da drenagem

Área Total 294.118 ha

Escalas

Gráfica

Númerica 1: 500.000 Equivalência 1 cm = 5000 m

Sistema de Coordenadas

PROJEÇÃO UTM (Universal Transversa de Mercator)
 Datum Vertical: Marégrafo de Torres - RS
 Datum Horizontal: Corrego Alegre - MG

Origem da Quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 51°W.G.R."
 Acrescidas as constantes 10000 Km e 500 Km respectivamente

UFSM Universidade Federal de Santa Maria	NDIGe Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias
Buffer de Drenagem	
Quarta Colônia	Estado: Rio Grande do Sul País: Brasil
Organização: Mestranda em Geomatica Renata Ferrari	Data: Julho/2008

ANEXO 5 - Buffer da Rede de Drenagem da Quarta Colônia/RS.

ANEXO 6 - Tabela 9 - Pesos Positivos de Evidência W+ para cada faixa de distância das variáveis em relação às transições dos usos

Transição de Uso e Cobertura da Terra	Variável	Pesos Positivos de Evidência W+										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(Campo-Floresta) 2-3	Distance_to_3 ¹	0.832455	-0.111138	-0.824583	-1.32405	-1.87969	-2.36083	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_4 ²	0.883862	0.604649	0.38998	0.197712	0.024279	-0.13366	-0.26059	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_5 ³	0.646371	0.046297	-0.455528	-0.806901	-1.05974	-1.36669	-1.70954	-1.84075	nd	nd	nd
	Buffer ⁴	-0.01754	0.164383	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ⁵	-1.25192	0.692977	0.477762	-0.117599	-0.650645	-1.21876	nd	nd	nd	nd	nd
(Campo-Solo Agrícola) 2-5	Distance_to_2 ⁶	0	nd	nd	nd	nd						
	Distance_to_3 ⁷	0.814118	-0.080578	-0.741057	-1.19859	-1.67297	-2.34532	-2.98846	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_4 ⁸	1.49392	0.896865	0.644598	0.367935	0.038665	-0.140027	-0.317818	-0.459049	nd	nd	nd
	Distance_to_5 ⁹	0.756422	-0.018789	-0.652687	-1.04106	-1.39335	-1.8587	-2.67043	-3.22005	nd	nd	nd
	Buffer ⁴	-0.002179	0.022119	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
(Floresta-Campo) 3-2	Clino ⁵	-1.09893	0.932767	0.466813	-0.302885	-0.881999	-1.48173	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_2 ¹⁰	0.431863	-0.40833	-0.37222	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_3 ⁶	0	nd	nd	nd	nd						
	Distance_to_4 ¹¹	-0.527037	-0.32553	-0.043336	0.141657	0.393671	0.561208	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_5 ¹²	0.070791	-0.085384	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
(Floresta-Solo Agrícola) 3-5	Buffer ⁴	-0.01796	0.231832	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ⁵	-0.407185	-0.15956	-0.095722	0.293848	0.558625	0.764277	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_2 ¹³	-0.349878	-0.133759	0.158419	0.396908	0.683025	0.956605	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_3 ⁶	0	nd	nd	nd	nd						
	Distance_to_4 ¹⁴	0.185071	-0.019838	-0.00234	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
(Solo Agrícola-Campo) 5-2	Distance_to_5 ¹⁵	0.082700	-0.089268	-0.125311	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Buffer ⁴	0.014387	-0.23873	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ⁵	-1.19847	0.24364	-0.204164	-0.569744	-0.823829	-0.918987	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_2 ¹⁶	1.2422	-0.052464	-0.665427	-0.933496	-1.07024	-1.11678	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_3 ¹⁷	0.225977	-0.044587	-0.239387	-0.437655	-0.615026	-0.804002	-0.929251	nd	nd	nd	nd
(Solo Agrícola-Floresta) 5-3	Distance_to_4 ¹⁸	-0.692697	-0.465994	-0.23758	-0.035874	0.324112	0.554373	0.819954	1.07129	nd	nd	nd
	Distance_to_5 ⁷	0	nd	nd	nd	nd						
	Buffer ⁴	-0.022690	0.379687	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ⁵	-0.985192	-0.747267	0.251491	1.13131	1.89591	2.43484	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_2 ^{19D}	0.775932	0.331169	-0.042570	-0.292296	-0.457496	-0.657412	-0.869649	-1.07844	-1.2868	-1.1498	-0.546
(Solo Agrícola-Floresta) 5-3	Distance_to_3 ²⁰	0.383897	-0.213185	-0.658765	-0.921302	-1.15783	-1.56781	1.88684	-2.29249	-2.5749	nd	nd
	Distance_to_4 ²¹	-0.532313	-0.329283	-0.143535	0.273887	0.524959	0.818046	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_5 ⁷	0	nd	nd	nd	nd						
	Buffer ⁴	-0.0145	0.260473	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ⁵	-1.09393	-0.619644	0.614199	1.0442	1.30062	1.19627	nd	nd	nd	nd	nd

Nota: Faixas de distância em metros

nd: não disponível

1 1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-240 6:240-960

²1:0-60 2:60-90 3:90-360 4:360-450 5:450-630 6:630-720 7:720-3450

³1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-180 6:180-270 7:270-330 8:330-840

⁴1:1-2 2:2-3

⁵1:1-2 2:2-3 3:3-4 4:4-5 5:5-6 6:6-7

⁶1:0-30

⁷1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-180 6:180-270 7:270-960

⁸1:0-60 2:60-90 3:90-150 4:150-480 5:480-510 6:510-780 7:780-870 8:870-3480

⁹1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-210 6:210-300 7:300-330 8:330-810

¹⁰1:0-60 2:60-90 3:90-1320

¹¹1:0-60 2:60-420 3:420-450 4:450-1110 5:1110-1140 6:1140-3480

¹²1:0-60 2:60-870

¹³1:0-60 2:60-120 3:120-150 4:150-240 5:240-360 6:360-1500

¹⁴1:0-60 2:60-90 3:90-3480

¹⁵1:0-60 2:60-120 3:120-870

¹⁶1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-210 5:210-360 6:360-1590

¹⁷1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-210 6:210-330 7:330-660

¹⁸1:0-60 2:60-420 3:420-450 4:450-840 5:840-870 6:870-1170 7:1170-1350 8:1350-3420

¹⁹1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-180 6:180-300 7:300-420 8:420-510 9:510-540 10:540-930 11:930-960

²⁰1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-240 6:240-270 7:270-330 8:330-390 9:390-660

²¹1:0-60 2:60-120 3:120-930 4:930-960 5:960-1230 6:1230-2100 7:2100-3450

ANEXO 7 - Tabela 11 - Pesos Positivos de Evidência W+ para cada faixa de distância das variáveis em relação às transições dos usos

Transição de Uso	Variável	Pesos Positivos de Evidência W+										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(Campo-Floresta) 2-3	Distance_to_4 ¹	0.883862	0.604649	0.38998	0.197712	0.024279	-0.13366	-0.26059	nd	nd	nd	nd
	Buffer ²	-0.01754	0.164383	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ³	-1.25192	0.692977	0.477762	-0.117599	-0.650645	-1.21876	nd	nd	nd	nd	nd
(Campo-Solo Agrícola) 2-5	Distance_to_3 ⁴	0.814118	-0.080578	-0.741057	-1.19859	-1.67297	-2.34532	-2.98846	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_4 ⁵	1.49392	0.896865	0.644598	0.367935	0.038665	-0.140027	-0.317818	-0.459049	nd	nd	nd
	Buffer ²	-0.002179	0.022119	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
(Floresta-Campo) 3-2	Clino ³	-1.09893	0.932767	0.466813	-0.302885	-0.881999	-1.48173	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_2 ⁶	0.431863	-0.40833	-0.37222	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_4 ⁵	-0.527037	-0.32553	-0.043336	0.141657	0.393671	0.561208	nd	nd	nd	nd	nd
(Floresta-Solo Agrícola) 3-5	Buffer ²	-0.01796	0.231832	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ³	-0.407185	-0.15956	-0.095722	0.293848	0.558625	0.764277	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_4 ⁷	0.185071	-0.019838	-0.00234	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
(Solo Agrícola-Campo) 5-2	Buffer ²	0.014387	-0.23873	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ³	-1.19847	0.24364	-0.204164	-0.569744	-0.823829	-0.918987	nd	nd	nd	nd	nd
	Distance_to_2 ⁸	1.2422	-0.052464	-0.665427	-0.933496	-1.07024	-1.11678	nd	nd	nd	nd	nd
(Solo Agrícola-Floresta) 5-3	Distance_to_4 ⁹	-0.692697	-0.465994	-0.23758	-0.035874	0.324112	0.554373	0.819954	1.07129	nd	nd	nd
	Buffer ²	-0.022690	0.379687	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ³	-0.985192	-0.747267	0.251491	1.13131	1.89591	2.43484	nd	nd	nd	nd	nd
(Solo Agrícola-Floresta) 5-3	Distance_to_2 ¹⁰ D	0.775932	0.331169	-0.042570	-0.292296	-0.457496	-0.657412	-0.869649	-1.07844	-1.2868	-1.1498	-0.546
	Distance_to_3 ¹¹	0.383897	-0.213185	-0.658765	-0.921302	-1.15783	-1.56781	1.88684	-2.29249	-2.5749	nd	nd
	Distance_to_4 ¹²	-0.532313	-0.329283	-0.143535	0.273887	0.524959	0.818046	nd	nd	nd	nd	nd
(Solo Agrícola-Floresta) 5-3	Buffer ⁴	-0.0145	0.260473	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Clino ⁵	-1.09393	-0.619644	0.614199	1.0442	1.30062	1.19627	nd	nd	nd	nd	nd

Nota: Faixas de distância em metros

nd: não disponível

¹1:0-60 2:60-90 3:90-360 4:360-450 5:450-630 6:630-720 7:720-3450

²1:1-2 2:2-3

³1:1-2 2:2-3 3:3-4 4:4-5 5:5-6 6:6-7

⁴1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-180 6:180-270 7:270-960

⁵1:0-60 2:60-90 3:90-150 4:150-480 5:480-510 6:510-780 7:780-870 8:870-3480

⁶1:0-60 2:60-90 3:90-1320

⁷1:0-60 2:60-90 3:90-3480

⁸1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-210 5:210-360 6:360-1590

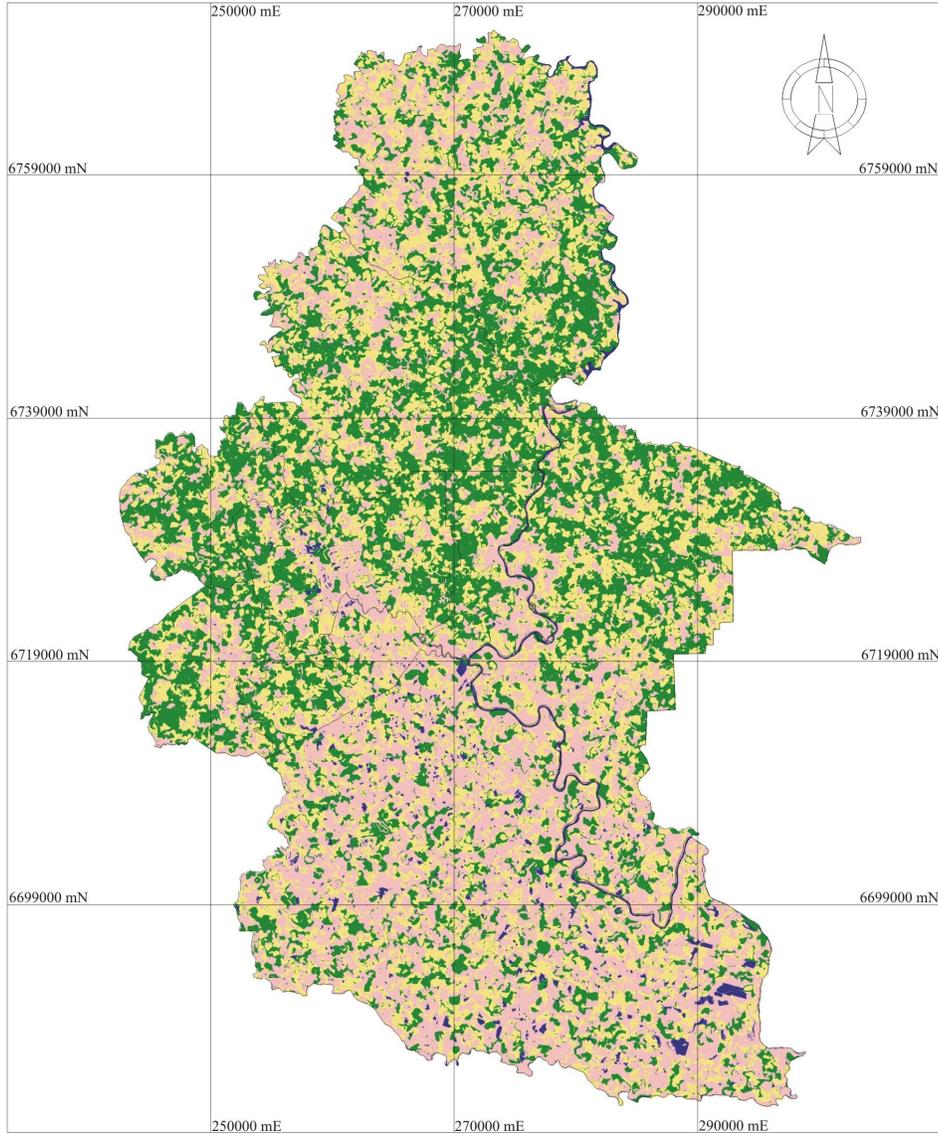
⁹ 1:0-60 2:60-420 3:420-450 4:450-840 5:840-870 6:870-1170 7:1170-1350 8:1350-3420

¹⁰ 1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-180 6:180-300 7:300-420 8:420-510 9:510-540 10:540-930 11:930-960

¹¹ 1:0-60 2:60-90 3:90-120 4:120-150 5:150-240 6:240-270 7:270-330 8:330-390 9:390-660

¹² 1:0-60 2:60-120 3:120-930 4:930-960 5:960-1230 6:1230-2100 7:2100-3450

MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA QUARTA COLÔNIA/RS - 2018



Legenda	
Classes de Uso e Cobertura da Terra	
	Floresta 91.054 ha
	Solo Agrícola 96.163 ha
	Água 5.866 ha
	Campo 101.035 ha
	Área Total 294.118 ha




Escalas

Gráfica 

Numérica 1: 500.000 Equivalência 1 cm = 5000 m

Fonte

MAPA-BASE
 Cartas Topográficas - DSG/RS - Escala 1:50000
 Edição 1980
 SIMULAÇÃO REALIZADA NO PROGRAMA
 DINÂMICA EGO
 REFERÊNCIA
 Quarta Colônia Inventários Técnicos Flora e Fauna
 José Itaquí (Organizador)

Sistema de Coordenadas

PROJEÇÃO UTM (Universal Transversa de Mercator)
 Datum Vertical: Marégrafo de Torres - RS
 Datum Horizontal: Córrego Alegre - MG
 Origem da Quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 51°W.G.R."
 Acrescidas as constantes 10000 Km e 500 Km respectivamente

UFSM Universidade Federal de Santa Maria	NDIGe Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias
Mapa de Uso e Cobertura da Terra	
Quarta Colônia	Estado: Rio Grande do Sul
País: Brasil	
Organização: Mestranda em Geomatica Renata Ferrari	Data: Outubro/2008

ANEXO 8 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia/RS-2018