

Estruturação e validação de um modelo dinâmico de uso do solo

Giovanni Santangelo Stringari¹

Adilson Pinheiro¹

Julio César Refosco¹

¹ Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB, Campus I - Rua Antônio da Veiga, 140 – Victor Konder 89010-500 - Blumenau – SC
gsstringari@hotmail.com, pinheiro@furb.br, refosco@furb.br

Resumo

O estudo de certos fenômenos, tais como as mudanças no uso do solo, envolve a descrição de muitas variáveis, o que contraria a facilidade relativa de estudá-los. A estruturação e a validação de modelos dinâmicos de uso do solo é, portanto, um desafio e uma necessidade em regiões que apresentam conflitos quanto a este aspecto. Estruturar um modelo de uso do solo para parte da bacia do Itajaí e validar este modelo para que possa permitir a realização de cenários futuros de uso do solo é o principal objetivo deste trabalho. O modelo de análise trabalhou com parte da bacia do Itajaí. Após a obtenção das informações tabulares e cartográficas foi estruturado um SIG que permitiu realizar análises e gerar dados secundários para alimentar um modelo do tipo dinâmico celular – DINÂMICA, desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG. O resultado da execução do modelo foi o mapa de uso do solo em 2000, o qual foi comparado com o mapa de uso do solo na mesma data gerado a partir de uma imagem de satélite. Os resultados mostram o mapa de uso do solo no final do período avaliado e a comparação com a realidade. O estudo permitiu avaliar quais as dificuldades na estruturação do modelo e na sua validação, sendo esta última fase bastante trabalhosa e difícil.

Palavras-chave: uso do solo, modelos dinâmicos de uso do solo, bacia do Itajaí.

Abstract

The study of land use change enrolls a large number of variables as driving factors. The building and validation of dynamic models of land use is almost a necessity to study areas with land use conflicts, but, at the same moment, is difficult to achieve. To build a model for Itajaí Valley and validate it in order to produce simulation scenarios to land use change, was the objective of this study. After basic data was obtained it was inserted in a GIS in order to better analyze it and produce information for the model. The model system used was DINAMICA, developed by the Remote Sensing Centre at University of Minas Gerais (Centro de Sensoriamento Remoto – Universidade Federal de Minas Gerais). The result of the model operation was a land use map simulated for 2000 that was compared to the 2000 land use map from a satellite image – aiming to compare the simulation to reality. The study evaluates the difficulties to build a model for regional scale and its validation.

Key words: land use, dynamic land use model, Itajaí Valley.

1. Introdução

O estudo de certos fenômenos envolve a descrição de muitas variáveis, o que contraria a facilidade relativa de se estudar e mesmo predizer sobre fenômenos que envolvem uma variável apenas ou um pequeno número delas, e que, em função disso envolve a pesquisa sobre objetos complexos – é o caso do uso do solo e de suas modificações.

O uso de modelos torna-se, num contexto de mudanças de paradigmas científicos e de novas perspectivas metodológicas, uma importante forma de se abordar o objeto de estudo. BRIASSOULIS (2000) mostra como a partir da segunda guerra mundial, ocorreu grande interesse e desenvolvimento neste campo de estudos, com uma variedade de disciplinas trabalhando sobre diversas escalas de abordagem. A partir das décadas de 50 e 60, ocorreram iniciativas baseadas na chamada “revolução quantitativa” que atingiu a geografia, a sociologia e o planejamento e que tentou formalizar modelos e teorias de uso e mudança de uso do solo. Estas iniciativas foram abandonadas em seguida, assim que suas limitações e seus fundamentos epistemológicos ficaram evidentes. Mais tarde estas iniciativas foram retomadas, quando as inovações nos campos da computação e do processamento de dados permitiram ampliar o tratamento do uso e das mudanças do uso do solo, aproximando a quantitativa da qualitativa e da heurística.

Por outro lado, existem outros pontos de vista quanto ao uso de modelos, especialmente os quantitativos. Tais pontos de vista expressam a necessidade de uma avaliação criteriosa da validade da realização de estudos desta natureza, bem como cuidados na utilização das informações geradas por tais ferramentas, pois carecem de condições de representar a realidade e de gerar informações úteis, estando mais como um horizonte de desenvolvimento do que como uma opção operacional GODARD e LEGAY (2000).

Estes pontos de vista mostram que a estruturação e a validação de modelos dinâmicos de uso do solo é um desafio.

Esta pesquisa buscou realizar um estudo na bacia do rio Itajaí (SC/Brasil) para estruturação e validação de um modelo dinâmico de uso do solo. O estudo utilizou como área de análise parte da bacia do Itajaí, correspondente ao baixo e médio vale e parte do alto vale. O recorte recaiu sobre a área rural, o que remete para uma escala de trabalho menor, que permita trabalhar com a bacia hidrográfica do rio Itajaí, ou, pelo menos, com parte dela. Quanto à escala temporal o estudo trabalhou com o período de 1986 a 2000.

2. Material e Métodos

Os materiais utilizados foram um microcomputador PC Pentium 4, os *softwares* MicroStation 5, ARCGIS 8.3, Idrisi 2.1 for Windows, Envi 4, Dinâmica e Microsoft Office 2000.

Os mapas utilizados foram obtidos de trabalhos já realizados e publicados ou no prelo, especialmente de REFOSCO (2004), o mapa de uso do solo em 1986 e VIBRANS (2003), o mapa de uso do solo em 2000, bem como mapas temáticos obtidos também de REFOSCO (2004).

A área de estudo foi o Médio Vale do rio Itajaí, o Baixo Vale, e uma parte do Alto Vale. Foi utilizado o município como unidade de análise para algumas variáveis (demografia, economia).

Para a execução desse trabalho foram realizadas as seguintes etapas metodológicas experimentais, seguindo-se e adaptando-se os métodos propostos em diversos autores conforme segue:

Levantamento de dados estatísticos: A base da pesquisa contou, principalmente, com dados da Fundação IBGE. E também foram utilizadas informações do Instituto CEPA (SCAgro) e da Secretaria de Desenvolvimento do Mercosul do Estado de Santa Catarina (Índice de Desenvolvimento Social).

Levantamento de dados cartográficos: Junto ao banco de mapas do projeto GEOVALE (IPA/DEF), foram obtidos mapas temáticos, tais como o mapa dos municípios, mapa de rodovias principais e secundárias e mapa hidrográfico, todos eles em formato digital. Também foram obtidos outros mapas como o mapa de vazão mínima específica da Aneel, realizada por FISTAROL (2004), e mapa de solo adquirido junto à EMBRAPA (2004). E os mapas de uso do solo do ano de 1986 adquiridos de REFOSCO (2004) e de 2000 elaborados por VIBRANS (2003). Os dois mapas de uso do solo, foram classificados com cinco classes, que são: agropecuária, vegetação natural, floresta plantada, centros urbanos e arrozeira.

Estruturação do Sistema de Informações Geográficas (SIG): A partir dos dados iniciais (tabelas e mapas) foi criado um banco de dados no sistema de informações geográficas utilizando o programa ARCGIS 8.3, resultando, após análises específicas, num total de 13 mapas vetoriais e raster, descritos a seguir e visualizado nas **Figuras 1 e 2:**

- Mapa de uso do solo em 1986 (Figura 1 - I) (raster);
- Mapa de uso do solo em 2000 (Figura 1 - II) (raster);
- Mapas de unidade de estabelecimentos, de indústria (Figura 2 - III) e comércio (Figura 2 - IV) (raster);
- Mapa de distância da hidrografia (Figura 2 - V) (vetor);
- Mapa de distâncias de rodovias primárias (Figura 2 - VI) e secundárias (Figura 2 - VII) (vetor);
- Mapa de vazão mínima específica da Aneel (Figura 2 - VIII) (vetor);
- Mapa de solo da EPAGRI (Figura 2 - IX) (vetor);
- Mapa de declividade (Figura 2 - X) (raster);
- Mapa de distâncias de centros urbanos (Figura 2 - XI) (vetor);
- Mapas de população urbana (Figura 2 - XII) e rural (Figura 2 - XIII) do ano de 1986 (raster);

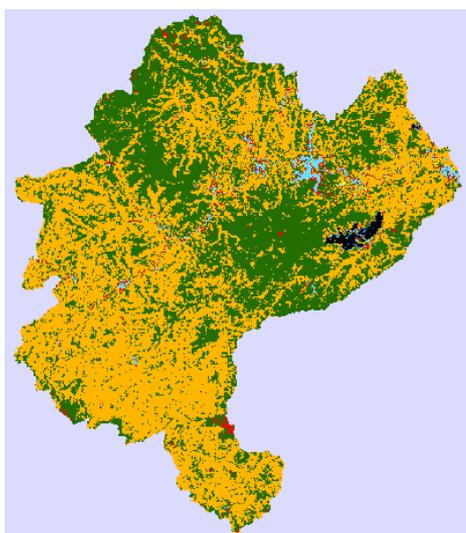


Figura 1 - I

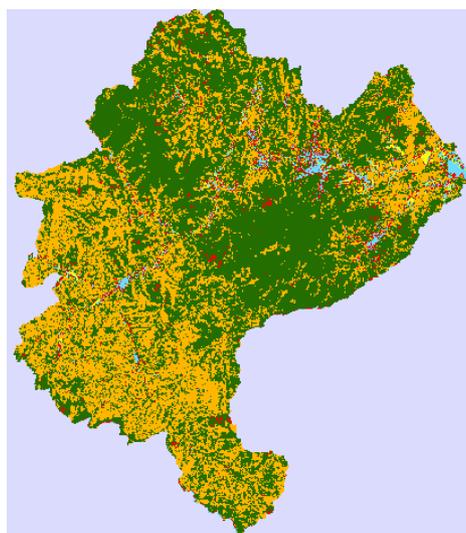


Figura 1 - II

Figura 1 – Mapas de uso da terra para o experimento inserido no SIG.

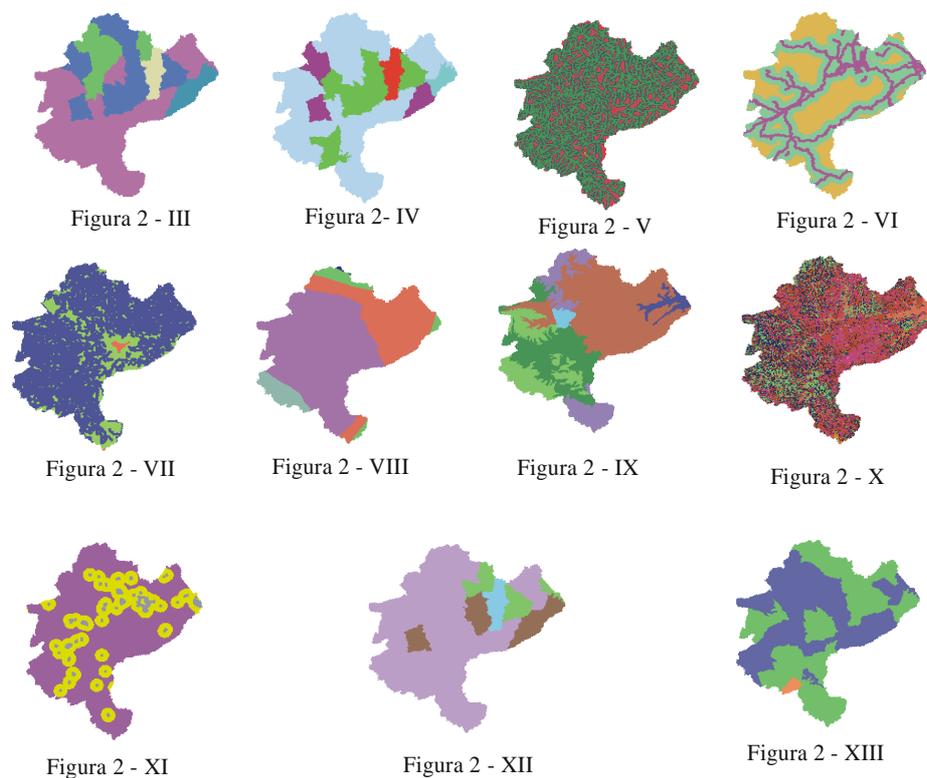


Figura 2 – Mapas de variáveis para o experimento inserido no SIG.

Numa fase seguinte, os mapas em formato vetorial foram convertidos para o formato raster e todos eles, então, foram reamostrados para uma resolução de 250 metros, com o mesmo número de linhas e colunas. Esta etapa foi realizada no ARCGIS 8.3.

Processamento de informações: Esta etapa foi realizada no programa IDRISI 2.1. Todos os mapas foram então importados no programa IDRISI 2.1 para realização de uma série de processamentos do tipo cruzamento de mapas utilizando a opção “crosstab” do IDRISI 2.1.

Em primeiro lugar foi realizada uma operação de cruzamento dos mapas de uso da terra em 1986 e em 2000. Deste cruzamento resultou um terceiro mapa chamando de mapa de transições de uso da terra, bem como uma matriz numérica que apresenta as transições de uso da terra e as respectivas quantidades relativas de cada uma em relação à área total transitada. As transições encontradas na área de estudos estão listadas na **Tabela 1**.

Um outro processamento necessário para identificar pares de variáveis correlacionadas e evitar a duplicação de informação foi o cruzamento pelo mesmo processo de cada par de variáveis e a análise do Índice de Kramer resultante. Este índice indica a correlação entre variáveis e permite a seleção daquelas não correlacionadas. Observou-se que a maioria das variáveis tem correlação de média para baixo e, portanto, não se descartou nenhuma delas, também em função do pequeno número de variáveis disponíveis para o trabalho.

Tabela 1 – Transições mais significativas que foram encontradas.

	1986	2000
1	AG (agropecuária)	VN (vegetação natural)
2	AG (agropecuária)	AR (arrozeira)
3	AG (agropecuária)	C (centro urbano)
4	VN (vegetação natural)	AG (agropecuária)
5	VN (vegetação natural)	FP (floresta plantada)
6	AG (agropecuária)	FP (floresta plantada)
7	FP (floresta plantada)	VN (vegetação natural)
8	AR (arrozeira)	C (centro urbano)
9	C (centro urbano)	AG (agropecuária)
10	AR (arrozeira)	AG (agropecuária)
11	FP (floresta plantada)	AG (agropecuária)
12	VN (vegetação natural)	C (centro urbano)
13	FP (floresta plantada)	C (centro urbano)
14	C (centro urbano)	AR (arrozeira)
15	C (centro urbano)	VN (vegetação natural)
16	AR (arrozeira)	VN (vegetação natural)

Numa etapa subsequente, o mapa de transições foi cruzado diversas vezes com cada mapa de variáveis. Após, foi realizado um procedimento de cálculo de matriz anual de transições conforme o método proposto em BELL e HINOJOSA (1997) e citado em ALMEIDA (2003). O resultado foi a matriz de transições que apresenta o percentual com que cada transição participa durante o período de um ano dentro do período total de 14 anos de avaliação.

Depois foi necessário calcular a probabilidade de cada transição de uso do solo ocorrer. Isto foi realizado através de um processamento no IDRISI, reclassificando cada mapa de transição para gerar um novo mapa no qual apareceriam apenas três classes. Tendo-se em mente que cada transição de uso do solo possui uma classe de uso do solo de origem e outra de destino, como por exemplo, a transição Agropecuária para Arrozais, a classe de origem é agropecuária e a classe de destino é arrozeira, o mapa resultante teria:

Classe 1 – valor 0 – todos os pixels que não eram da classe de origem da transição;

Classe 2 – valor 1 – todos os pixels que eram da classe de origem da transição e que transitavam para qualquer outra classe que não a de destino na transição;

Classe 3 – valor 2 – todos os pixels que eram da classe de origem da transição e que transitavam para a classe de destino da transição.

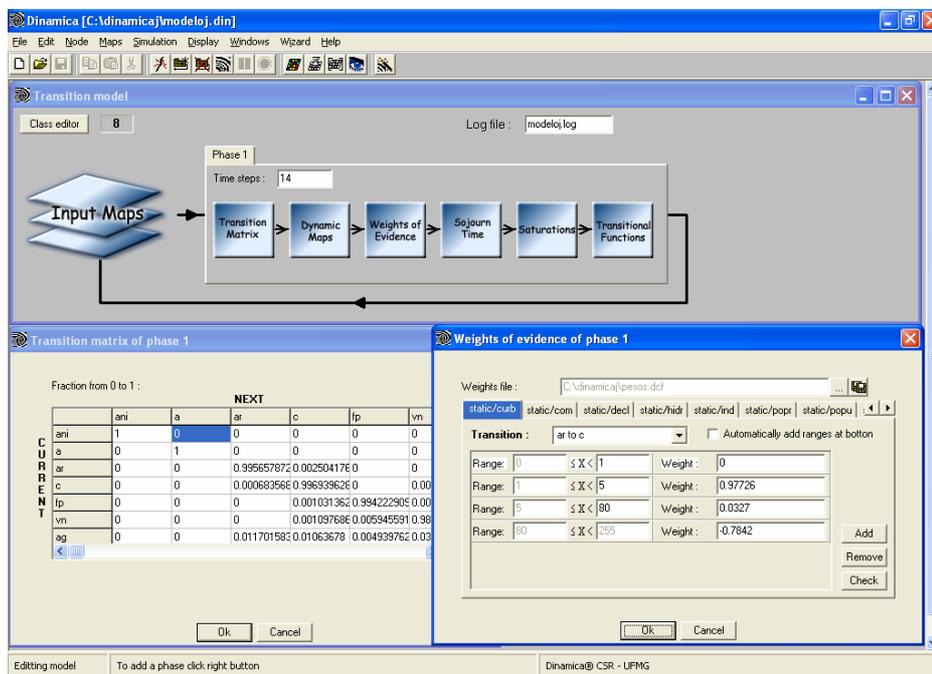
Estes valores foram aplicados num novo cálculo chamado de estatística de pesos de evidência. Este cálculo é baseado no Teorema de Bayes, que trata da probabilidade condicional ALMEIDA (2003).

Todas as informações obtidas foram utilizadas para alimentar o modelo dinâmico de uso do solo. O modelo utilizado foi desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) da Universidade de Minas Gerais (UFMG) e é conhecido como “Dinâmica”.

O Dinâmica (**Figura 3**) é um programa de computador que executa um modelo dinâmico celular, isto é, que funciona a partir de uma matriz de dados (dados do tipo raster) – o mapa de uso do solo de uma região. Esta matriz é alterada simulando um tempo futuro através de alguns parâmetros fornecidos, tais como a matriz de transições de uso do solo e a probabilidade destas transições ocorrerem. Na **Figura 3** pode-se observar a interface do

Dinâmica com as duas janelas de dados principais, a janela de entrada da matriz de transições anuais e a janela de entrada dos pesos de evidência.

Figura 2 – janela de interface do Dinâmica.



Após a entrada dos dados o modelo foi “executado” e os resultados alcançados foram comparados com o mapa de uso do solo em 2000. Após uma comparação inicial, retorna-se ao modelo, modificam-se alguns parâmetros e “executa-se” novamente, repetindo-se estes passos até obter um resultado do modelo compatível com a realidade visualizada no mapa de uso do solo. Este processo é conhecido como tentativa e erro, no processo de ajuste dos parâmetros do modelo. Esta etapa consiste na calibração do modelo.

3. Resultados e Discussões

Os resultados do trabalho apontam para dois objetivos principais propostos: estruturar o modelo através da obtenção, formatação, cálculo e organização de todas as informações necessárias para “executar” o modelo dinâmico de uso do solo para a área de estudos, e em segundo lugar a calibração do modelo através da comparação dos resultados do mesmo com dados reais de uso da terra em 2000, data final do experimento.

O primeiro conjunto de resultados pode ser resumido no mapa de uso do solo calculado pelo modelo, e que é mostrado na **Figura 4**.

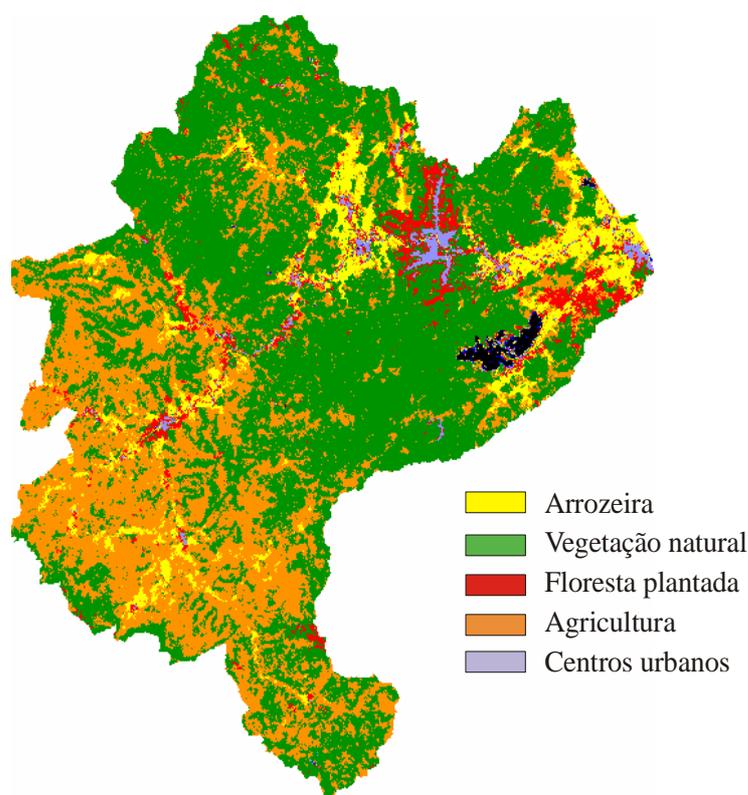


Figura 4 – Resultado do mapa de uso do solo calculado pelo modelo (Dinâmica).

Como resultado inicial, o mapa pode ser considerado como positivo. Uma comparação visual com o mapa de uso do solo, em 2000, obtido de uma imagem de satélite aponta distorções bastante grandes, como, por exemplo, o excesso da classe Floresta Plantada ao redor de centros urbanos, bem como o crescimento excessivo da classe Arroz.

O modelo, por outro lado, conseguiu representar bem a transição Agropecuária para Vegetação Natural, que quase coincide visualmente com as quantidades e padrões encontrados no mapa de uso do solo em 2000.

A calibração do modelo ficou abaixo das expectativas, já que o resultado da validação, após sucessivos testes e comparações com o mapa de uso do solo em 2000, não foi muito próximo da realidade em certas classes de uso. Isto mostra que a validação é um processo que necessita de muito mais tempo para ser realizado, com ajustes finos nos parâmetros do modelo.

4. Conclusão

O uso de modelos é uma ferramenta bastante interessante para o planejamento regional, já que permite, após sua validação, o estudo dos fenômenos de transição no uso do solo. Além disso, permite a geração de cenários futuros.

Por outro lado, o uso dos modelos neste nível necessita de um procedimento de calibração apurado, o que é bastante difícil e demorado.

A metodologia toda se mostrou bastante exigente em termos de trabalho, necessitando de um Sistema de Informações Geográficas bem organizado para se obter bons resultados. Porém, cumpridos estes pré-requisitos, é possível realizar a estruturação do modelo, bem como sua validação.

5. Referências bibliográficas

- ADAMI, R. M. **Macrozoneamento ecológico da bacia de drenagem do rio Itajaí-açu (SC), por intermédio da aplicação de análise multivariada (MULVA) e do cálculo do parâmetro da teoria da informação (CPTI)**. 1995. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas - Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- ALMEIDA, C.M. **Comunicação pessoal - Planilha de cálculo de pesos de evidência**. 2003.
- ALMEIDA, C.M.; MONTEIRO, A.M.V.; CÂMARA, G. **Modelos de dinâmica urbana: conceitos, derivação de relações, calibração, exemplos**. Curso "Modelagem ambiental e modelos dinâmicos de uso e cobertura do solo. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, 06 de abril de 2003.
- ALMEIDA, C.M.; MONTEIRO, A.M.V.; Câmara, G. **Modelos de dinâmica urbana: conceitos, derivação de relações, calibração, exemplos**. Curso "Modelagem ambiental e modelos dinâmicos de uso e cobertura do solo. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, 06 de abril de 2003.
- BELL, E.J.; HINOJOSA, R.C. **Markov analysis of land use change: continuous time and stationary processes**. Socio-Economic planning Science, v.11,p13-17, 1997.
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa em solos. Mapas de solos do Estado de Santa Catarina. Embrapa. Brasília, 2004. <www.mapserver.cnps.embrapa.br/website/pub/Santa_Catarina>, consulta realizada no dia 3 de junho de 2004.
- BRIASSOULIS, Helen. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. 1 ed.: Regional Research Institute, West Virginia University, 2000.
- CHARDIN, Teilhard de. **O fenômeno humano**. São Paulo: Editora Cultrix, 2001.
- FISTAROL, O. **Sistema de Informações de Recursos Hídricos da Bacia do Itajaí: Modelo Piloto para Sub Bacia do Rio Benedito**. 140 p. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau – FURB. 2004.
- GODARD, O. and LEGAY, Jean-Marie. **Modelização e simulação: um enfoque da preditividade**. In: Gestão de recursos naturais e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental, edited by Vieira, P. F. and J. Weber (São Paulo: Editora Cortez), 2000.
- JOLLIVET, M. and PAVÉ, A.. **O meio ambiente: questões e perspectivas para a pesquisa**. In: Gestão de recursos naturais e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental, edited by Vieira, P. F. and J. Weber 2 ed. (São Paulo: Editora Cortez), 2000.
- MATTEDI, M.A. **Subsídios para a análise das relações sociedade-natureza no Vale do Itajaí**. In: THEIS, Ivo M.; MATTEDI, M. A. e TOMIO, F. R. de L.. Nosso Passado (In) comum. Editora da FURB e Editora Cultura em movimento. Blumenau, 2000.
- MORIN, E. **Epistemologia da complexidade**. In: Novos Paradigmas, Cultura e Subjetividade. Edited by Schnitman, Dora Fried (Porto Alegre: Artes Médicas, 1996
- REFOSCO, J.C. **Mudanças no uso da terra: o caso da bacia do Itajaí/SC a partir de um modelo dinâmico**. Dissertação (Doutorado Interdisciplinar em Ciências Humanas) – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Tese de Doutorado ainda não defendida. Florianópolis, 2004.
- SOARES FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G; ARAÚJO, W.; VOLL, E. **DINAMICA project**. Available from World Wide Web: <www.csr.ufmg/dinamica> 14 November 2002b.
- SOARES FILHO, B. S.; PENNACHIN, C.; CERQUEIRA, G. **DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in na Amazonian colonization frontier**. Ecological Modelling, v.154, p 217 – 235, 2002a.