

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA:
DIVERSIDADE E MANEJO DA VIDA SILVESTRE
MESTRADO

DANIELE UARTE DE MATOS

**DINÂMICA DO USO DO SOLO E A DISTRIBUIÇÃO DE ECOSSISTEMAS
NATURAIS NO EXTREMO SUL DO BRASIL (1984-2005)**

SÃO LEOPOLDO

2012

Daniele Uarte de Matos

**DINÂMICA DO USO DO SOLO E A DISTRIBUIÇÃO DE ECOSSISTEMAS
NATURAIS NO EXTREMO SUL DO BRASIL (1984-2005)**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre, pelo Programa
de Pós-graduação em Biologia (Diversidade e
Manejo da Vida Silvestre) da Universidade do
Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

Orientadora: Prof. Dra. Luciane de Oliveira Crossetti

SÃO LEOPOLDO

2012

M433d Matos, Daniele Uarte de.
Dinâmica do uso do solo e a distribuição de
ecossistemas naturais no extremo sul do Brasil (1984-2005) /
Daniele Uarte de Matos. – 2012.
46 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio
dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, 2012.
"Orientadora: Prof. Dra. Luciane de Oliveira Crossetti."

1. Dinâmica da paisagem. 2. Campos. 3. Agricultura.
4. Umidade. I. Título.

CDU 57

Daniele Uarte de Matos

**DINÂMICA DO USO DO SOLO E A DISTRIBUIÇÃO DE ECOSSISTEMAS
NATURAIS NO EXTREMO SUL DO BRASIL (1984-2005)**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre, pelo Programa
de Pós-graduação em Biologia (Diversidade e
Manejo da Vida Silvestre) da Universidade do
Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

Aprovado em _____, do mês de _____ de 2012.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Luciane de Oliveira Crossetti - Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Juliano Morales de Oliveira – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof^ª. Dra. Sandra Cristina Muller – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ao meu amado esposo e à minha querida mãe

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelas capacidades a mim conferidas e pelas que desenvolvi ao longo dos anos.

Ao meu esposo pelo amor e dedicação e pelo incentivo, paciência e compreensão ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, principalmente à minha mãe, pelo amor e incentivo dedicados sempre e por ser meu exemplo de integridade, honestidade e humildade.

Á todos meus familiares e amigos pelo incentivo e compreensão pela ausência em certos momentos.

À minha orientadora, professora Dra. Luciane Crossetti, por ter encarado este desafio.

Ao professor Dr. Alexandre Fadigas de Souza por ter me incentivado sempre no meu processo de desenvolvimento científico, por ter confiado na minha capacidade para desenvolver este trabalho e pelo auxílio prestado apesar da distância.

Agradeço imensamente a Rafael Gomes de Moura por ter me ensinado e orientado nas análises de paisagem e geoprocessamento que foram a base desta pesquisa.

Ao professor Dr. Juliano Morales de Oliveira pelas considerações iniciais deste projeto e por ter aceitado participar da banca de avaliação deste trabalho, assim como a professora Dra. Sandra Cristina Müller. Muito obrigada.

Aos colegas de mestrado Cristiane Forgiarini da Silva, Leonardo Urruth, Angélica Peukert Silveira, Simone de Oliveira e Juliana Bonhembeger agradeço pelo companheirismo ao longo do curso, discussões ecológicas e estatísticas e por dividirem angústias e incertezas. Especialmente a Cristiane Forgiarini da Silva e Leonardo Urruth agradeço também pela indicação de subsídios bibliográficos, métodos de análise e dados. Valeu!

Agradeço ainda a Eduardo Vélez e Ana Luiza Matte pela troca de ideias sobre o tema e área de estudo deste trabalho.

Aos funcionários do Laserca – Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital da Unisinos pelo apoio na obtenção de dados.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes pela Bolsa concedida ao longo do período deste curso de Mestrado e á Coordenação do Curso de Pós-Graduação Mestrado em Biologia da UNISINOS.

“O custo do cuidado é sempre menor do que o custo do reparo”.

Marina Silva

RESUMO

Mudanças históricas, socioeconômicas, culturais e naturais determinam, ao longo do tempo, mudanças também na escala de paisagem em todos os lugares do mundo. Essas alterações são dinâmicas, têm ocorrido em grandes proporções nas últimas décadas e o ser humano tem sido o maior responsável por essas perturbações na paisagem que podem ter consequências tanto em extensão espacial como em duração temporal. No nordeste do Rio Grande do Sul (RS), sul do Brasil, a paisagem tem sofrido muitas alterações desde o século XIX e hoje requer atenção especial para os ecossistemas campestres e florestais da região. O objetivo deste trabalho foi quantificar, descrever e avaliar as mudanças na paisagem do Nordeste do RS, e principalmente a dinâmica do mosaico entre ecossistemas florestais e campestres na região dos Campos de Cima da Serra (CCS) no Planalto das Araucárias, quanto ao uso do solo ao longo de um período de 21 anos. Imagens de Satélite Landsat 5TM de 1984, 1994 e 2005 foram classificadas em seis classes de uso do solo das quais foram extraídas métricas de paisagem e o índice de umidade NDMI a fim de caracterizar a dinâmica da paisagem na região no período estudado. A área também foi classificada segundo regiões geoeconômicas que abrangem a região. A partir dos dados das regiões geoeconômicas, anos e as respectivas classes de uso do solo e áreas correspondentes, realizou-se uma Análise Log-linear. Para avaliar a variação do índice NDMI ao longo do tempo, realizou-se um Teste G, relacionando os 15 níveis de umidade gerados com as suas respectivas áreas em cada ano. Através de análise Log-linear relacionou-se as áreas representadas pelos níveis de umidade com os próprios níveis de umidade, anos e pluviosidade média dos 12 meses anteriores às imagens de satélite analisadas. Um mapa sobrepondo as áreas agrícolas sobre as áreas de campo classificadas conforme umidade foi feito a fim de visualizar a direção da expansão desta classe. A análise Log-linear mostrou que diferentes classes de uso do solo tiveram aumentos e contrações diferenciados em diferentes regiões geoeconômicas ao longo do tempo ($\chi^2=89120,612$, gl=40, p=0,0). O Teste G ($\chi^2=592875,970$, gl=26, p=0,0) foi significativo, mostrando a variação das áreas úmidas ao longo do tempo. A análise Log-linear com os dados pluviométricos refletiu a variação das áreas correspondentes aos níveis de umidade ao longo do tempo ($\chi^2=4,421E^{+10}$, gl=89, p=0,0). As áreas agrícolas expandiram-se preferencialmente sobre as áreas com os maiores níveis de umidade, conforme mapa confeccionado. O contraste entre áreas

naturais e antrópicas aumentou, sendo que áreas agrícolas apresentaram grande crescimento e áreas de campo e floresta foram reduzidas, tornando-se mais fragmentadas. Os resultados mostraram que a região nordeste do RS sofreu grande impacto no uso e cobertura do solo no período estudado e que áreas úmidas de campo foram preferencialmente ocupadas na expansão agrícola.

Palavras-chave: Dinâmica da paisagem . Campos . Agricultura . Umidade

ABSTRACT

Historical, socioeconomic, cultural and natural changes determine, over time, changes also at the landscape scale everywhere in the world. These changes are dynamic, have occurred in large numbers in recent decades and the human are largely responsible for these disturbances on the landscape that may have consequences both in spatial extent and duration of time. In northeastern Rio Grande do Sul (RS), southern Brazil, the landscape has undergone many changes since the century XIX and today special attention to the forest and grassland ecosystems of the region is required. The objective of this study was to quantify, describe and evaluate changes in the landscape of northeastern RS, and especially the dynamic mosaic of forest and grassland ecosystems in the region of Campos de Cima da Serra (CCS) in the Araucaria Plateau, on the use of soil over a period of 21 years. Satellite images of 1984, 1994 and 2005, obtained through Landsat 5TM, were classified into six classes of land use. From these images landscape metrics and NDMI moisture index were extracted to characterize the dynamics of the landscape in the region during the studied period. The area was also classified according to geoeconomic regions covering the region. From the data of geoeconomic regions, years and the respective classes of land uses and related areas, a Log-linear analysis was performed. To evaluate the changes in the index NDMI over time, a G test was applied, listing the 15 levels of moisture generated in their respective areas for each year. Using a Log-linear analysis the relation between the areas represented by the moisture levels with their own levels of moisture, the years and the rainfall average of 12 months prior to satellite images analyzed was tested. A map overlaying agricultural and grassland areas according to the moisture level was done in order to visualize the direction of expansion of this class. The analysis showed that different classes of land uses increased and contractions were different in different geoeconomic regions over time ($\chi^2 = 89120,612$, $df = 40$, $p = 0.0$). Test G ($\chi^2 = 592875,970$, $df = 26$, $p = 0.0$) was significant, showing wetlands variation over time. Log-linear analysis rainfall interacted in areas corresponding to the variation of moisture levels over time ($\chi^2 = 4,421E +10$, $df = 89$, $p = 0.0$). The agricultural areas have expanded preferentially in the areas with the highest levels of humidity. The contrast between natural and anthropogenic areas increased, and agricultural areas presented great growth whereas field and forest areas reduced, becoming more

fragmented. The results showed that the northeast region of the RS had a major impact on land uses and cover over the studied period and that areas with more moisture were converted into agricultural expansion.

Keywords Landscape dynamic . Grasslands . Agriculture . Moisture

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Fig. 1** Mapa retratando a área de estudo e as regiões fisiográficas abrangentes pela imagem de satélite 18
- Fig. 2** Mapa altimétrico da área de estudo..... 19
- Fig. 3** Representação da região dos Campos de Cima da Serra, onde a parte superior foi designada como Campo Norte e a inferior como Campo Sul. 22
- Fig. 4** Regionalização geoeconômica no nordeste do Rio Grande do Sul. 23
- Fig. 5** Imagens de satélite Landsat 5TM do nordeste do RS (1984,1994 e 2005) classificadas em classes de uso e cobertura do solo. No centro de cada ano está a imagem principal da área de estudo e em ambos os lados das mesmas encontram-se quadros menores que configuram um *zoom* de pontos específicos da região, mostrando os efeitos de escala. 27
- Fig. 6** Variação nas métricas de paisagem em nível de classe ao longo do tempo (1984 – 2005) em toda a área de estudo compreendida pela imagem de satélite utilizada. 29
- Fig. 7** Análise Log-Linear (y=área, x=classes de uso do solo, regiões geoeconômicas e anos). Classes de uso do solo: A - agricultura, C - campo, F - floresta, S - silvicultura, U - urbano..... 31
- Fig. 8** Variação de umidade, conforme índice NDMI nas áreas de campo (CCS) ao longo do tempo. 1 – 15: níveis de umidade, em ordem crescente de numeração. Os níveis com menor numeração indicam as áreas mais secas, enquanto os níveis com maior numeração indicam áreas mais úmidas. 32
- Fig. 9** Mapa representativo da região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, mostrando a variação da umidade nas áreas de campo de 1984 a 2005. Conforme mostra a escala, quanto mais escura a área, mais úmida e, conseqüentemente, quanto mais clara, mais seca..... 33
- Fig. 10** Mapa representativo da região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, mostrando áreas agrícolas (em vermelho) sobrepostas às áreas campestres classificadas de acordo com os níveis de umidade gerados pelo índice de diferença normalizada de umidade (NDMI), de 1984 a 2005..... 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Definições e fórmulas das métricas de paisagem utilizadas (conforme programa utilizado para a extração das mesmas: Fragstats 3.3)..... 21

Tabela 2 Percentual representativo da área total (CA) de cada classe de uso e cobertura do solo considerando toda a região de estudo ao longo do período estudado. 26

SUMÁRIO

Introdução	15
Material e Métodos	17
Área de estudo e dados de sensoriamento remoto	17
Classificação das imagens.....	19
Caracterização geoeconômica.....	22
Classificação em níveis de umidade	24
Análise dos dados	24
Resultados	25
Descrição inicial da Paisagem	25
Dinâmica da Paisagem.....	26
Métricas de paisagem.....	28
Fragmentação das áreas de campo e floresta	30
Classificação Geoeconômica	30
Índice NDMI.....	32
Discussão	36
Conclusões	41
Referências	41

Dinâmica do uso do solo e a distribuição de ecossistemas naturais no extremo sul do Brasil (1984-2005) ¹

¹ Trabalho formatado segundo normas da Revista Environmental Monitoring and Assessment

Introdução

Mudanças históricas, socioeconômicas, culturais e naturais determinam, ao longo do tempo, mudanças também na escala de paisagem em todos os lugares do mundo (Bürgi et al. 2004; Calvo-Iglesias et al. 2008; Bürgi et al. 2009; Poças et al. 2011). Essas alterações são dinâmicas, têm ocorrido em grandes proporções nas últimas décadas (Antrop 2005, Calvo-Iglesias et al. 2008, Randolph et al. 2009) e o ser humano tem sido o maior responsável por essas perturbações na paisagem que podem ter consequências tanto em extensão espacial como em duração temporal (Randolph et al. 2009). A paisagem é considerada, portanto, o resultado contínuo do confronto entre a sociedade e o meio ambiente (Burel e Baundry 2003), ou seja, as alterações em nível de paisagem refletem a interação homem-ambiente e por isso revelam ao mesmo tempo uma diversidade de fatores que podem estar direcionando estas alterações (Bürgi et al. 2004).

O crescimento da população, bem como o progresso tecnológico, levaram e sempre levam rapidamente a mudanças profundas na cobertura e uso da terra em todo o mundo. Isto é seguido por uma transformação na natureza e na estrutura de paisagens com muitas consequências ecológicas (Burel e Baundry 2003). O que se vê ao longo do tempo são substituições de classes naturais de uso e cobertura do solo, como florestas, campos e áreas úmidas (banhados, mangues) por classes antrópicas como a agricultura, silvicultura e urbanização (Primack e Rodrigues 2001; Overbeck et al. 2007; Cordeiro e Hasenack 2009). Estas alterações na paisagem ocorrem em todos os lugares do mundo.

No nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (RS), sul do Brasil, os campos que cobrem o Planalto Sul-Brasileiro, denominados Campos de Altitude ou Campos de Cima da Serra, constituem mosaicos com a floresta com Araucária (*Araucaria angustifolia*), formando belas paisagens (Oliveira e Pillar 2004, Boldrini 2009). Estudos recentes (Behling 1997, Behling et al. 2004) têm demonstrado que em épocas geológicas anteriores, o clima seco e frio proporcionou que os campos dominassem a região, mantendo a floresta em vales e encostas. No entanto, com o clima tornando-se mais úmido e quente, condições favoráveis à expansão florestal se apresentaram (Behling et al 2004; Behling e Pillar 2007; Overbeck 2007), favorecendo a colonização de espécies florestais pioneiras sobre os campos, principalmente nos últimos 1100 anos, com a expansão mais marcada de *Araucaria angustifolia* sobre os campos nas regiões de maior altitude do Rio Grande do Sul (Duarte et al. 2006a, Behling et al.2004).

Mudanças climáticas, entretanto, não são as únicas responsáveis por alterações na paisagem da região. A chegada de jesuítas (a partir do século XVII) e posteriormente de imigrantes vindos da Europa (século XIX), visando colonizar as terras do extremo-sul do Brasil, trouxe uma série de alterações a esse cenário. Os imigrantes, principalmente, trouxeram uma carga cultural baseada no trabalho e no cultivo da terra, mas depararam-se com uma paisagem inóspita, com grandes extensões de florestas e campos virgens, a qual tiveram que desbravar, desmatando e abrindo caminho para a construção de suas moradias e estabelecimentos (Quaini 2005; Iotti 2010). Os campos foram utilizados para a criação de gado e plantação de culturas agrícolas, bem como as porções florestais desmatadas, cuja madeira extraída serviu inicialmente de matéria-prima para suas moradias e edificações e, posteriormente, de produto das indústrias madeireiras (Boni e Costa 1984). E assim deu-se início à transformação da paisagem natural do RS por meio da interação homem-ambiente (Bürgi et al. 2004).

A expansão geográfica, o crescimento populacional e a necessidade de manter-se economicamente, fizeram com que os colonos trabalhassem com aquilo que tinham em mãos: os recursos naturais. Este fato constitui um dos motivos que torna a Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucária) uma das formações da Floresta Atlântica mais ameaçada de desaparecimento. Altas taxas de desmatamento devido à extração de indivíduos de *Araucaria angustifolia* para a indústria madeireira, bem como a substituição da floresta por áreas agrícolas e pastagens ao longo do século XX (Guerra et al 2002) reduziram esta formação a atualmente cerca de 12,6% (Ribeiro et al. 2009) de sua cobertura original.

Os campos também encontram-se ameaçados. Nos últimos 30 anos, 25% da cobertura natural campestre (Bioma Pampa e Campos de Altitude), no estado do RS, foi reduzida, em função da conversão do solo para os cultivos agrícolas das culturas de milho, trigo e soja (Overbeck et al. 2007). Há ainda a pressão exercida pela expansão da silvicultura, que vem dominando áreas de campo utilizadas anteriormente para pecuária (Overbeck et al. 2007).

Estas características estruturais da paisagem são observáveis, descritíveis e quantificáveis através de medidas da estrutura da paisagem, as chamadas métricas de paisagem (Lang e Blaschke 2009). Estas métricas são importantes, mas não configuram uma resposta em si sobre a paisagem se for considerado um ambiente estático (Lang e Blaschke 2009). Desta forma, caracterizar e descrever a paisagem de uma região conforme o uso e cobertura do solo ao longo do tempo permite reconhecer os diversos processos que alteram a mesma.

Nesse sentido, compreender os processos de substituição do solo ao longo do tempo e os impactos que são causados aos sistemas naturais é de grande importância para que possam ser refletidas e estudadas outras formas de ocupação do solo sem reduzir e fragmentar cada vez mais as áreas nativas que ainda existem. Esta reflexão, conseqüentemente, possibilita o planejamento, o manejo, a conservação e a melhoria da paisagem e a criação de propostas de soluções para problemas ambientais (Silveira 2009; Metzger 2001). A partir desses estudos será possível fornecer subsídios às instituições governamentais sobre o estado atual das áreas naturais e porque e como devem ser protegidas.

Sendo assim, este trabalho teve por objetivo quantificar e descrever as mudanças na paisagem do Nordeste do Rio Grande do Sul, quanto ao uso do solo ao longo de um período de 21 anos, através da obtenção de métricas de paisagem, utilizando-se de duas abordagens diferentes: uma considerando a região Nordeste como um todo e outra considerando particularmente a região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra (CCS).

A região dos Campos de Cima da Serra foi particularmente escolhida para uma análise mais detalhada, pois segundo a bibliografia atual, os campos têm sofrido perdas, sendo convertidos em outras classes de uso do solo (Boldrini 2009; Overbeck et al. 2007).

Material e Métodos

Área de estudo e dados de sensoriamento remoto

A área de estudo considerada neste trabalho foi representada através de imagens de satélite Landsat 5TM, que compreendem a região nordeste do Planalto Sul-brasileiro, denominado nesta região como Planalto das Araucárias, abrangendo as regiões fisiográficas dos Campos de Cima da Serra e Encostas Superior e Inferior do Nordeste (Fortes 1959), no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Fig. 1).

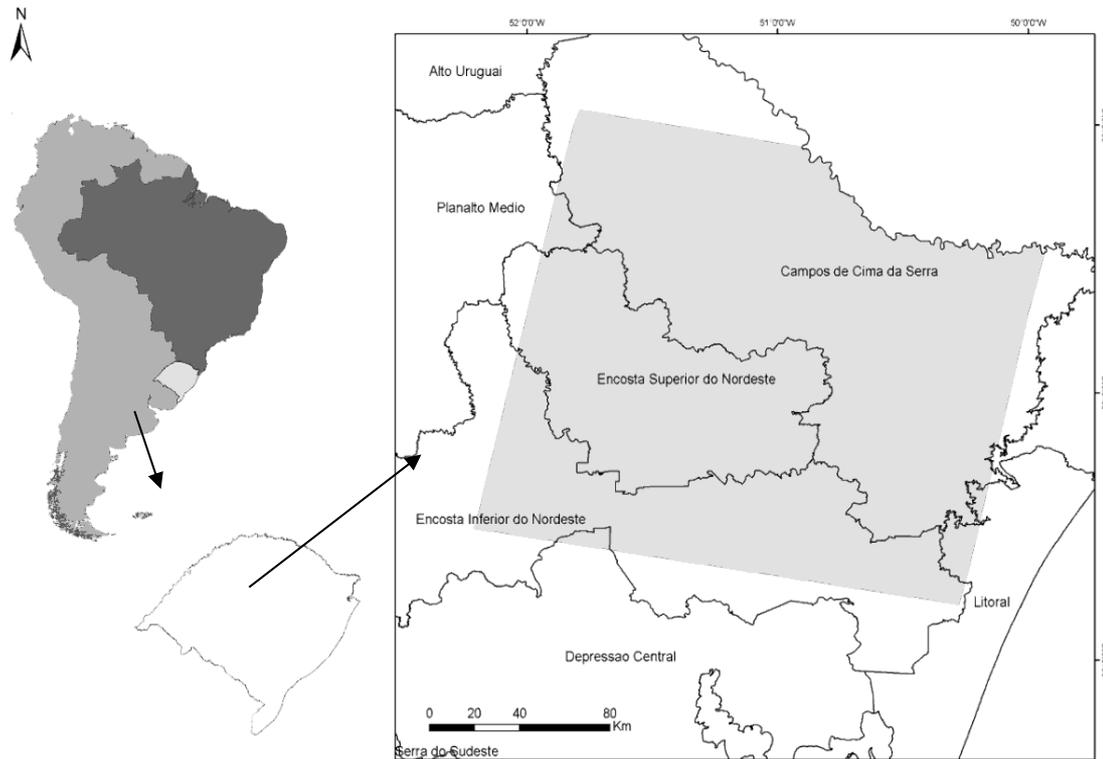


Fig. 1 Mapa retratando a área de estudo e as regiões fisiográficas abrangentes pela imagem de satélite

O Planalto tem altitudes médias variando de cerca de 500m no extremo oeste até 1200m no extremo leste (Fig. 2), situando-se aí as cotas mais elevadas do Estado (Fortes 1959). Apresenta relevo plano, levemente ondulado e as encostas que constituem a Serra Geral são bastante íngremes, (declividade em torno de 45°). A vegetação florestal na região é caracterizada pela Floresta Ombrófila Mista, entremeada pelos campos. Nas encostas do planalto, que constituem as escarpas da Serra Geral, a vegetação florestal predominante é a da Floresta Ombrófila Densa. Todas estas fisionomias são de domínio do Bioma Mata Atlântica (Oliveira-Filho e Fontes 2000). O clima da região é o Cfb, segundo a classificação de Köppen para o Estado do Rio Grande do Sul (RS), sendo considerado temperado úmido com verão temperado (Kuinchner e Buriol. 2001).

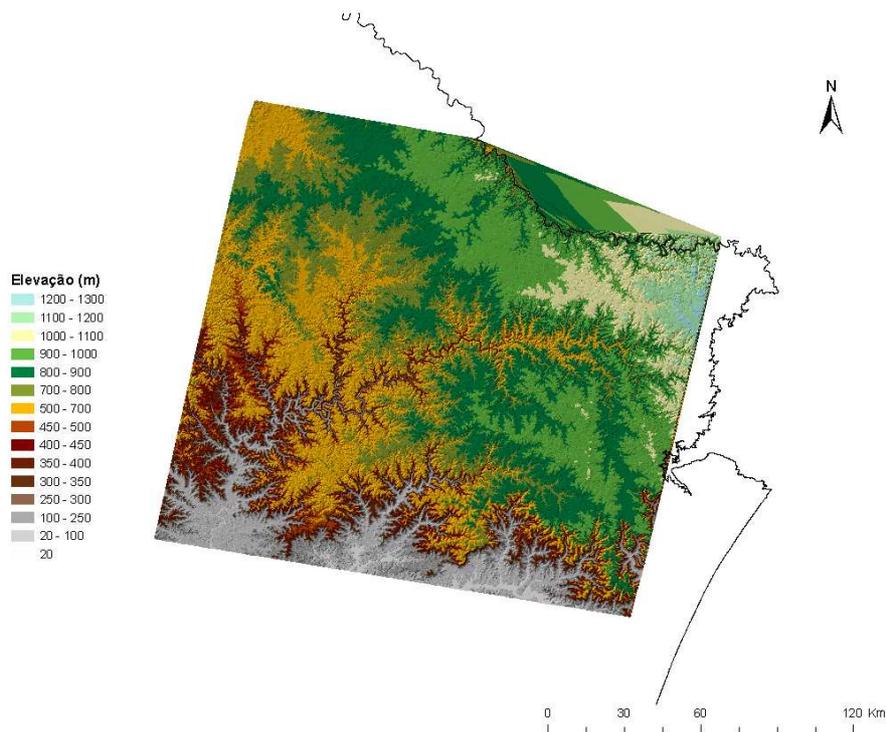


Fig. 2 Mapa altimétrico da área de estudo

A área estudada está compreendida nas coordenadas (Latitude N: -27.95890, S: -29.78610; Longitude O: -51.85500, L: -50.29840; órbita 221/80), retratadas pelas imagens de satélite LandsatTM 5, dos anos de 1984, 1994 e 2005, com resolução espacial de 30m, escala de 1:50.000. As imagens, obtidas gratuitamente através do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram selecionadas sob o critério de menor cobertura de nuvens dentre as imagens disponíveis da região de interesse (até 10% de cobertura de nuvens) a fim de evitar distorções no processo de classificação das imagens.

Classificação das imagens

Primeiramente as imagens de satélite obtidas foram classificadas em diferentes classes pelo Método Supervisionado, utilizando o programa Envi 4.5. Este procedimento é realizado através da determinação de amostras da paisagem identificadas conforme a fisionomia ambiental que representam, de modo que o programa posteriormente classifica toda a imagem (pixels) de acordo com esta amostragem. As classes definidas foram: água, campo, floresta, agricultura, silvicultura e áreas urbanas. Na classe floresta foram incluídas as áreas identificadas como contínuos florestais, manchas isoladas, matas ripárias entre outras, sem distinção dos tipos florestais. A classe agricultura contemplou as áreas de prática de

agricultura e as identificadas como solo exposto, que apresentavam formatos característicos de solo em preparação para o plantio (formas quadrangulares). A classe silvicultura compreendeu as áreas identificadas como plantações de pinus. A classe área urbana compreende as manchas urbanas identificadas. Neste processo, as manchas urbanas e de silvicultura foram retiradas da imagem antes de processar a classificação conforme a amostragem dos pixels, a fim de otimizar o processo de classificação e a qualidade do mesmo.

Após a classificação supervisionada, foi realizado o geoprocessamento da imagem no programa Idrisi Andes 15.0 (Eastman, 2006), onde as manchas urbanas e as áreas de silvicultura, que foram retiradas da imagem original, foram novamente introduzidas na imagem. Assim foi obtida a imagem final classificada, que foi submetida ao programa Fragstats 3.3 (MacGaridal e Marks 1995) para calcular métricas de paisagem. Em cada imagem classificada (1984, 1994 e 2005), foram extraídas métricas, em nível de classe, considerando toda a área de estudo e também considerando somente a região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra. Desta forma, foi possível obter dados que mostrassem a dinâmica na região a partir destas duas abordagens. As métricas extraídas foram: área da classe (CA), contraste da densidade de borda (CWED), índice de agregação da classe (AI), índice de interpenetração e justaposição (IJI), média das áreas das manchas da classe (Área_MN). Suas definições e fórmulas encontram-se na Tabela 1. Para a métrica CWED, foi utilizado peso um para as classes antrópicas (urbano, silvicultura, agricultura) e o peso zero para as classes naturais (água, campo, floresta).

Tabela 1 Definições e fórmulas das métricas de paisagem utilizadas (conforme programa utilizado para a extração das mesmas: Fragstats 3.3)

Métrica	Definição	Fórmula
Área total da classe (CA)	Área total da classe. Unidade: Ha CA > 0, sem limite	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10,000} \right)$ <p>a_{ij} = área (m²) da mancha ij.</p>
Contraste de densidade de borda (CWED)	Soma do comprimento (m) de cada segmento de borda envolvendo o tipo de mancha correspondente, multiplicado pelo peso de contraste correspondente, dividido pela área total da paisagem (m ²), multiplicado por 10.000. Unidade: m/ha CWED ≥ 0, sem limite.	$CWED = \frac{\sum_{k=1}^m (e_{ik} \cdot d_{ik})}{A} (10,000)$ <p>e_{ik} = comprimento total (m) de borda na paisagem entre os tipos de manchas (classes) i e k; inclui segmentos da paisagem de contorno envolvendo tipo de mancha. d_{ik} = dissimilaridade (peso contraste de borda) entre os tipos de mancha i e k. A = área de paisagem total (m²).</p>
Índice de agregação da classe (AI)	Número de adjacências envolvendo a classe correspondente dividido pelo número máximo possível de adjacências envolvendo a classe correspondente, o que é conseguido quando a classe é maximamente acumulada em uma mancha, única e compacta; multiplicada por 100. Unidade: % 0 ≤ AI ≤ 100.	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max_{i \rightarrow j} g_{ij}} \right] (100)$ <p>g_{ii} = número de adjacências (junções) entre pixels do tipo mancha (classe) i com base no método único de contagem. max-g_{ii} = número máximo de adjacências (junções) entre pixels do tipo mancha (classe) i com base no método único de contagem.</p>
Índice de interpenetração e justaposição (IJI)	Intercalação observada sobre a máxima intercalação possível para um dado número de tipos de fragmentos. Unidade: %. 0 < IJI ≤ 100.	$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right)}{\ln(m-1)} (100)$ <p>e_{ik} = comprimento total (m) de borda na paisagem entre os tipos de manchas (classes) i e k. m = número de tipos de manchas (classes) presentes na paisagem, incluindo a fronteira paisagem, se houver.</p>
Média das áreas das manchas da classe (Área_MN)	Soma da área de todas as manchas de uma classe, dividido pelo número de manchas do mesmo tipo. Unidade: Ha. MN > 0, sem limite.	$MN = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}$

Para a região dos campos, considerou-se esta área dividida em Campo Norte e Campo Sul, visto que existem duas grandes áreas de campo, separadas por uma zona de transição florestal (Fig. 3).

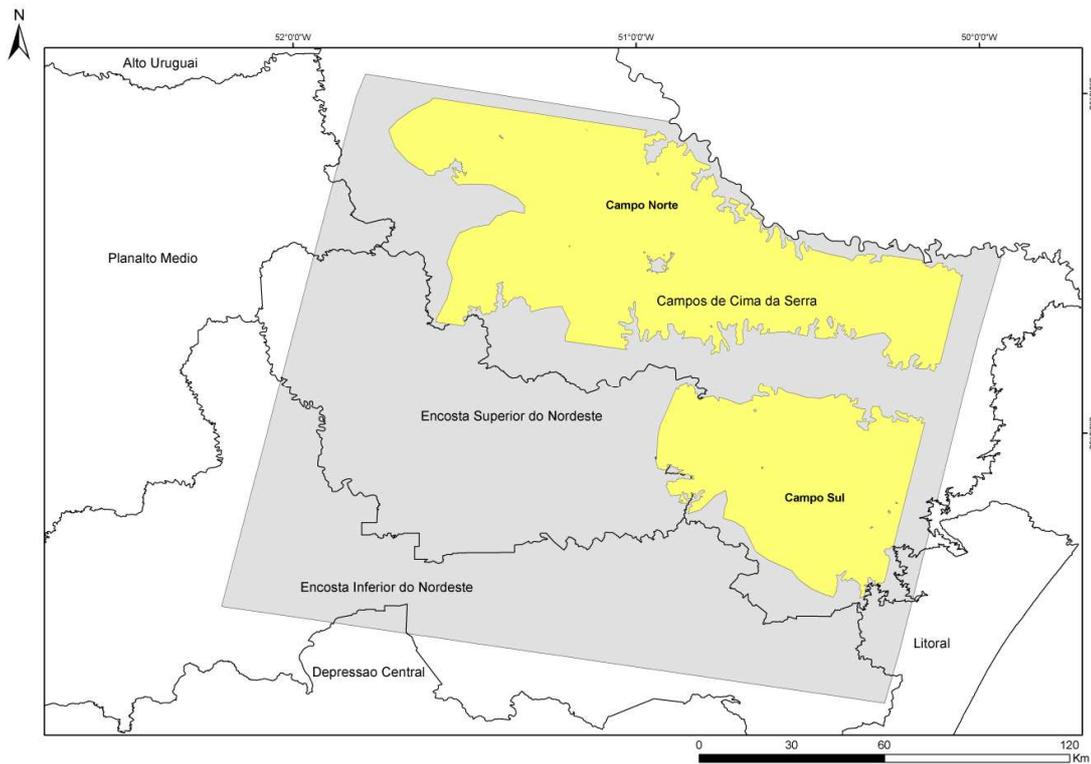


Fig. 3 Representação da região dos Campos de Cima da Serra, onde a parte superior foi designada como Campo Norte e a inferior como Campo Sul.

Foram extraídas também as seguintes métricas, em nível de classe, da região em estudo como um todo e separadamente para a região dos Campos de Cima da Serra: número de fragmentos de floresta, número de fragmentos de campo e tamanho médio dos fragmentos (área) para os anos de 1984 e 2005.

Caracterização geoeconômica

Todos os municípios compreendidos na região de estudo foram classificados conforme a classificação de regionalização geoeconômica proposta por Brum Neto et al. (2007), para o RS, gerando um mapa para a área (Fig. 4). Esta classificação leva em consideração desde aspectos culturais, que são responsáveis pela estrutura econômica das regiões, a econômicos, recortando o Estado gaúcho em sete regiões geoeconômicas, numeradas de 1 a 7 (7a e 7b). Considerou-se também a diversidade do setor produtivo que é resultante das diferentes formas de ocupação territorial, através das diversas correntes migratórias ocorridas no Estado gaúcho, as quais impuseram organizações espaciais desiguais, em tempos distintos. (Brum Neto et al. 2007). Entendeu-se que esta classificação é mais específica e objetiva do que a classificação do Estado do RS em Mesorregiões e Microrregiões, feita em 2009, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Nesta classificação apresentada por Brum Neto et al. (2007), cada região é caracterizada pelas atividades econômicas mais representativas, como segue: Região 1 – pecuária bovina de corte, lavouras de arroz; Região 2 – culturas de fumo e milho; Região 3: milho, mandioca, batata inglesa, fruticultura e pecuária (aves e suínos); Região 4 – uva; Região 5 - cultivo de maçã, Região 6: cultivo de banana, abacaxi e palmito; Região 7 - soja (predominantemente), trigo e milho, dividida em duas sub-regiões individualizadas devido a presença também de pecuária com bovinocultura (7a) e avicultura (7b). Segundo Brum Neto et al. (2007), a região 7 como um todo é considerada uma região em processo de reestruturação econômica.

Para facilitar o entendimento principalmente quanto à localização geográfica das regiões geoeconômicas dentro da nossa área de estudo (Fig. 3), as mesmas foram renomeadas como segue: Região Sudeste (1), Região Sudoeste (2), Região Sul (3), Região Central (4), Região Nordeste (5), Região Leste (6), Região Norte (7a), Região Noroeste (7b).

A fim de extrair-se a área correspondente a cada classe de uso e cobertura do solo dentro de cada porção geoeconômica, o mapa com a classificação geoeconômica foi sobreposto às imagens classificadas (classes de uso do solo) de cada ano em estudo no

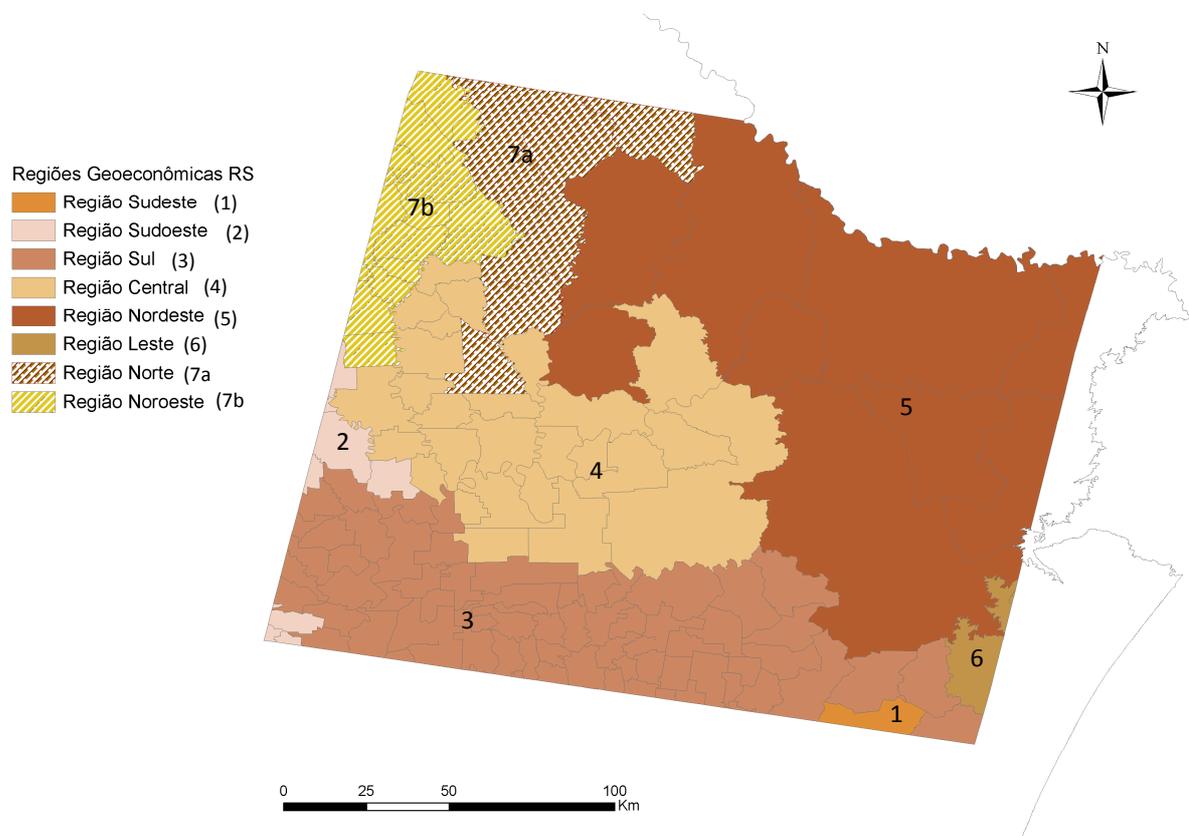


Fig. 4 Regionalização geoeconômica no nordeste do Rio Grande do Sul.

Classificação em níveis de umidade

Áreas de campo úmidas podem ser mais facilmente convertidas em áreas de agricultura (Ferreira e Setubal 2009). Para visualizar as áreas de umidade nos campos, consideradas como campo úmido, foi aplicado o cálculo do Índice de Umidade da Diferença Normalizada (NDMI). Este índice consiste na razão entre a diferença e a soma das bandas 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio) das imagens de satélite Landsat TM, conforme a Equação 1.

$$\text{NDMI} = [\text{Band 4} - \text{Band 5}] / [\text{Band 4} + \text{Band 5}]$$

Equação 1 Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDMI)

Apesar de pouco conhecido, este índice é altamente correlacionado com o conteúdo de água presente no dossel vegetal, representando mais claramente as mudanças de umidade relacionadas à biomassa vegetal do que o conhecido NDVI (Índice de vegetação por diferença normalizada) (Hardisky et al. 1983; Gao 1996; Wilson e Sader 2002). Isso se deve à maior sensibilidade à absorção de água derivada do contraste entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio, já que o infravermelho médio é menos influenciado por efeitos atmosféricos (Wilson e Sader 2002). É importante ressaltar que o NDMI não é um indicativo puro de quantidade de água no solo e sim um indicativo de umidade sobre a vegetação existente.

Este cálculo foi feito para as três imagens em estudo no programa Envi 4.5 (2008). As imagens geradas apresentam classes de umidade segundo uma escala de amplitude, onde as classes de menor valor indicam áreas mais secas e as classes de maior valor indicam as áreas mais úmidas. Para visualizar a evolução da distribuição de umidade ao longo do tempo, foi gerado um mapa com o gradiente de umidade para os Campos de Cima da Serra em 1984, 1994 e 2005.

Análise dos dados

As métricas de paisagem extraídas das imagens foram avaliadas na sua evolução ao longo do tempo (1984 a 2005), através de gráficos de linhas.

Realizou-se uma análise Log-linear (Zar 1999; Sokal and Rohlf 2000), modelo 3 fatores, onde as variáveis independentes foram as porções geoeconômicas, anos e classes de

uso do solo e a variável dependente, a área de cada porção geoeconômica em cada ano e classe de uso do solo, visando identificar a independência entre as variáveis.

Para avaliar a variação do Índice NDMI ao longo do tempo, ou seja, o quanto a umidade associada à vegetação foi alterada, realizou-se um Teste G (Zar 1999; Sokal and Rohlf 2000), relacionando os 15 níveis de umidade gerados no NDMI (1 a 15, sendo 1 o mais seco e 15 o mais úmido) com as suas respectivas áreas (ha) em cada ano, onde os níveis de umidade e os anos foram consideradas variáveis independentes e a área, variável dependente.

Também realizou-se uma segunda análise Log-linear, modelo 3 fatores, onde as variáveis independentes foram os níveis de umidade, anos e pluviosidade média dos 12 meses anteriores às imagens de satélite e a variável dependente foi as áreas dos níveis de umidade, a fim de verificar a relação de independência entre estas variáveis. Os dados pluviométricos são de quatro estações meteorológicas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia existentes em municípios da região de estudo (Lagoa Vermelha, Esmeralda, Vacaria e São Francisco de Paula). Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico Systat 12.

Para visualizar a distribuição das áreas de agricultura ao longo do tempo sobre os campos e identificar se as mesmas estariam se sobrepondo às áreas mais úmidas nos mesmos, foi criado um mapa onde são sobrepostas as áreas referentes à classe agricultura nas porções norte e sul dos campos às áreas de campo classificadas quanto aos níveis de umidade em cada ano.

Resultados

Descrição inicial da Paisagem

Em 1984, 79% (828.438 km²) da região estudada eram cobertos por campos concentrados na região do planalto, dividida em duas porções, uma mais ao norte, outra mais ao sul. Já as florestas representavam 13,9% (145.516 km²) estando mais concentradas nos vales, encostas e em porções entremeadas com os campos. As áreas agrícolas (51.052,59 km²) estavam distribuídas no Planalto, principalmente na porção noroeste, e nos vales da Depressão Central (4,9%). As áreas de silvicultura na região (13.692,96 km²) representavam 1,3% da área total, localizando-se no planalto, tanto na porção norte quanto na porção sul dos Campos de Cima da Serra. As áreas urbanas cobriam cerca de 0,16% da área de estudo. Das classes de uso e

cobertura do solo consideradas neste trabalho, a mais fragmentada era a agricultura, com 156.885 fragmentos com área média de 1,7 km² (dp = 40,9 m), seguida pelas florestas com 115.642 fragmentos (área média de 9,5 km², dp = 1.876,67 m) e campo com 86.647 (área média de 19.8484 Km², dp = 2540,65 m. Estes dados caracterizam e descrevem a paisagem inicial da região de estudo.

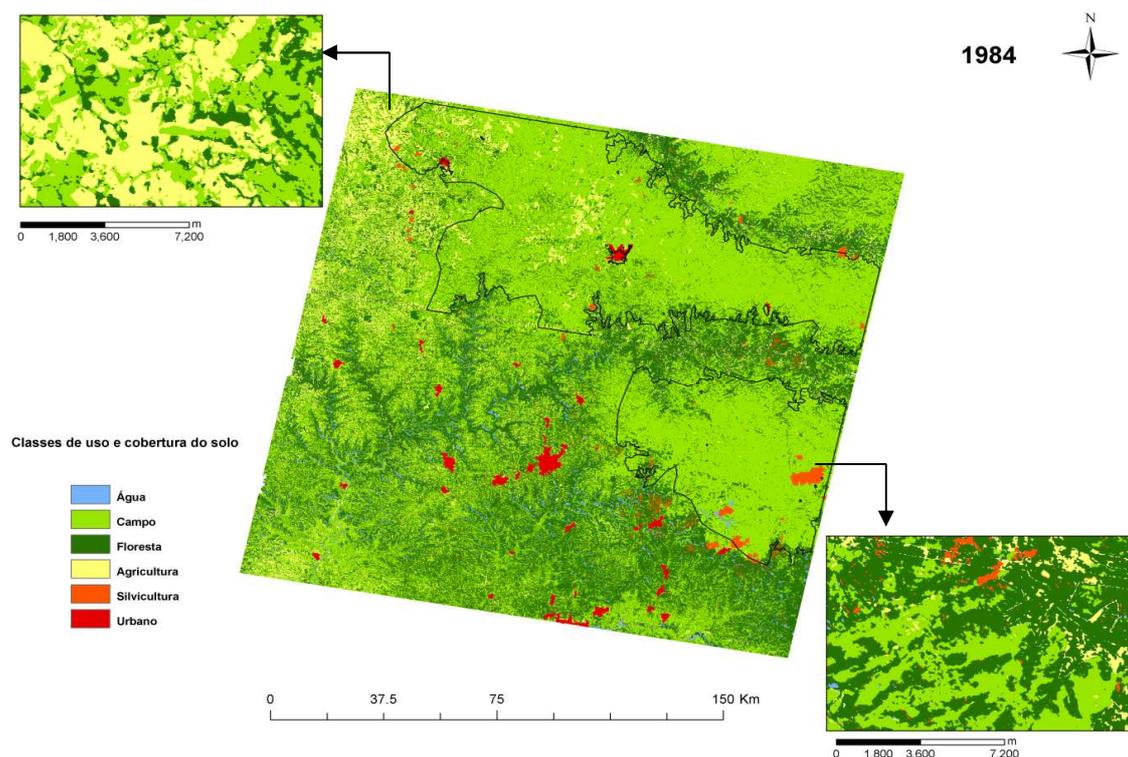
Dinâmica da Paisagem

A dinâmica da paisagem ao longo do período estudado será apresentada através da Tabela 2 e dos mapas de classificação final de uso e cobertura do solo para cada ano de estudo (Fig. 5), seguido dos resultados obtidos através das métricas de paisagem e demais parâmetros extraídos destas imagens.

Tabela 2 Percentual representativo da área total (CA) de cada classe de uso e cobertura do solo considerando toda a região de estudo ao longo do período estudado.

Anos	Campo	Floresta	Agricultura	Silvicultura	Urbano
1984	79	13,9	4,9	1,3	0,16
1994	22,7	11	63	2,4	0,17
2005	20	33	43	2,6	0,26

As imagens de satélite Landsat 5 TM dos anos de 1984, 1994 e 2005, da região nordeste do Rio Grande do Sul, classificadas em seis classes, estão apresentadas na Fig. 4.



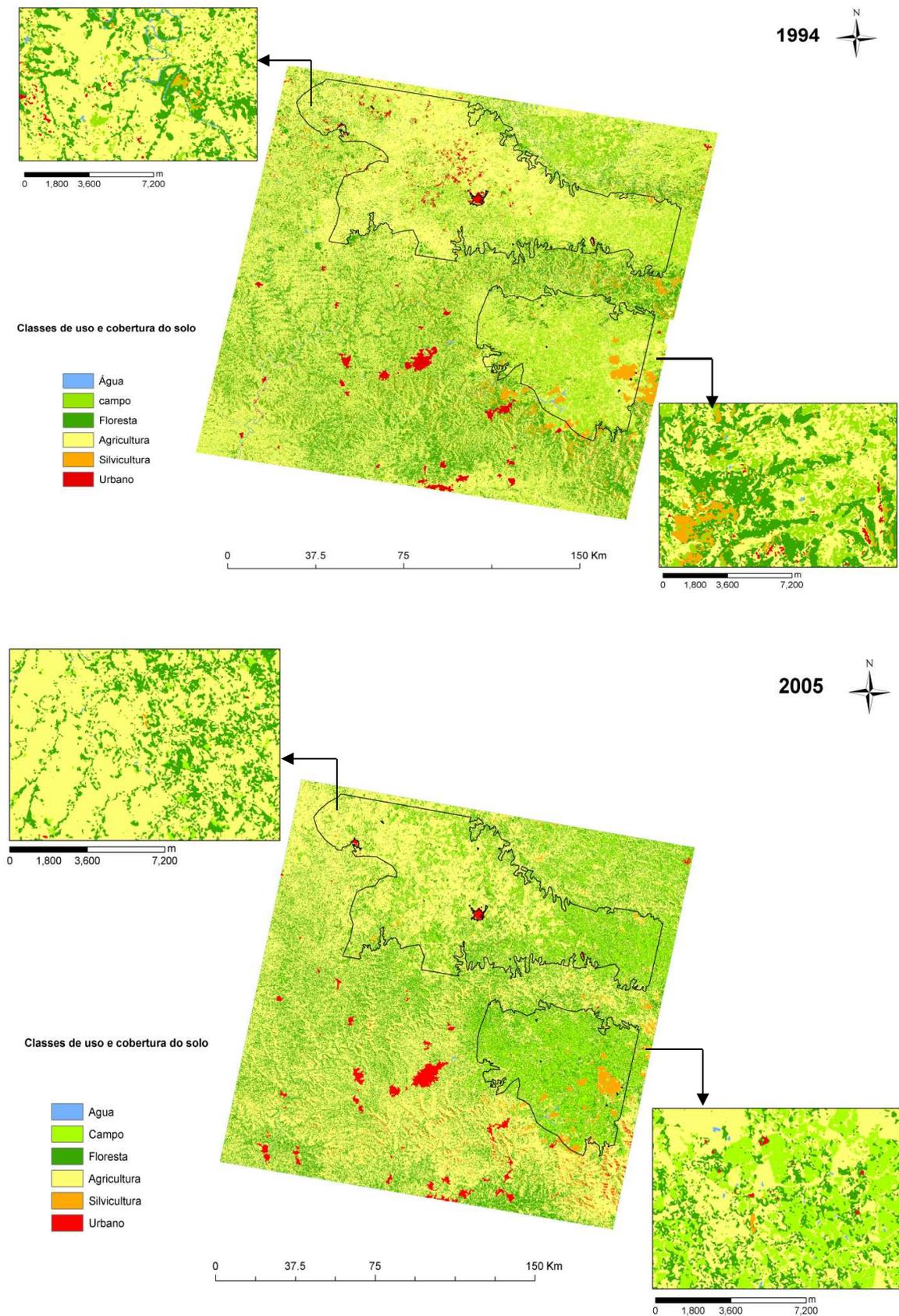


Fig. 5 Imagens de satélite Landsat 5TM do nordeste do RS (1984,1994 e 2005) classificadas em classes de uso e cobertura do solo. No centro de cada ano está a imagem principal da área de estudo e em ambos os lados das mesmas encontram-se quadros menores que configuram um zoom de pontos específicos da região, mostrando os efeitos de escala.

Métricas de paisagem

Os resultados obtidos com as métricas de paisagem (Fig.6) para toda área de estudo mostraram uma diminuição principalmente das áreas (CA) de campo (-71,6%) de 1984 a 1994. O crescimento da agricultura e da silvicultura deu-se principalmente entre 1984 e 1994 (92% e 46%, respectivamente), sendo que a agricultura teve uma queda de 36% em 2005, em relação a 1994, e a silvicultura manteve-se estável (-0,01%). Nesse contexto, a classe urbano apresentou crescimento contínuo de 5 % (1984-1994) e 39% (1994-2005). No entanto, a área média (AREA_MN) das manchas da classe urbano diminuiu de 1984 a 2005, ou seja, apesar das áreas urbanas terem aumentado de 1984 a 2005, as manchas foram tornando-se menores (área média) e mais distribuídas na região, conforme o índice de intercalação e justaposição (IJI). No gráfico de densidade de borda (CWED), observou-se que o contraste entre as áreas de campo e áreas de classes não naturais foi crescente de 1984 a 2005. A classe floresta também apresentou este contraste de densidade de borda em crescimento contínuo, porém um pouco menor. O índice de agregação (AI) também mostrou que neste período as manchas de campo foram aumentando o seu nível de desagregação, ou seja, formando ilhas na paisagem.

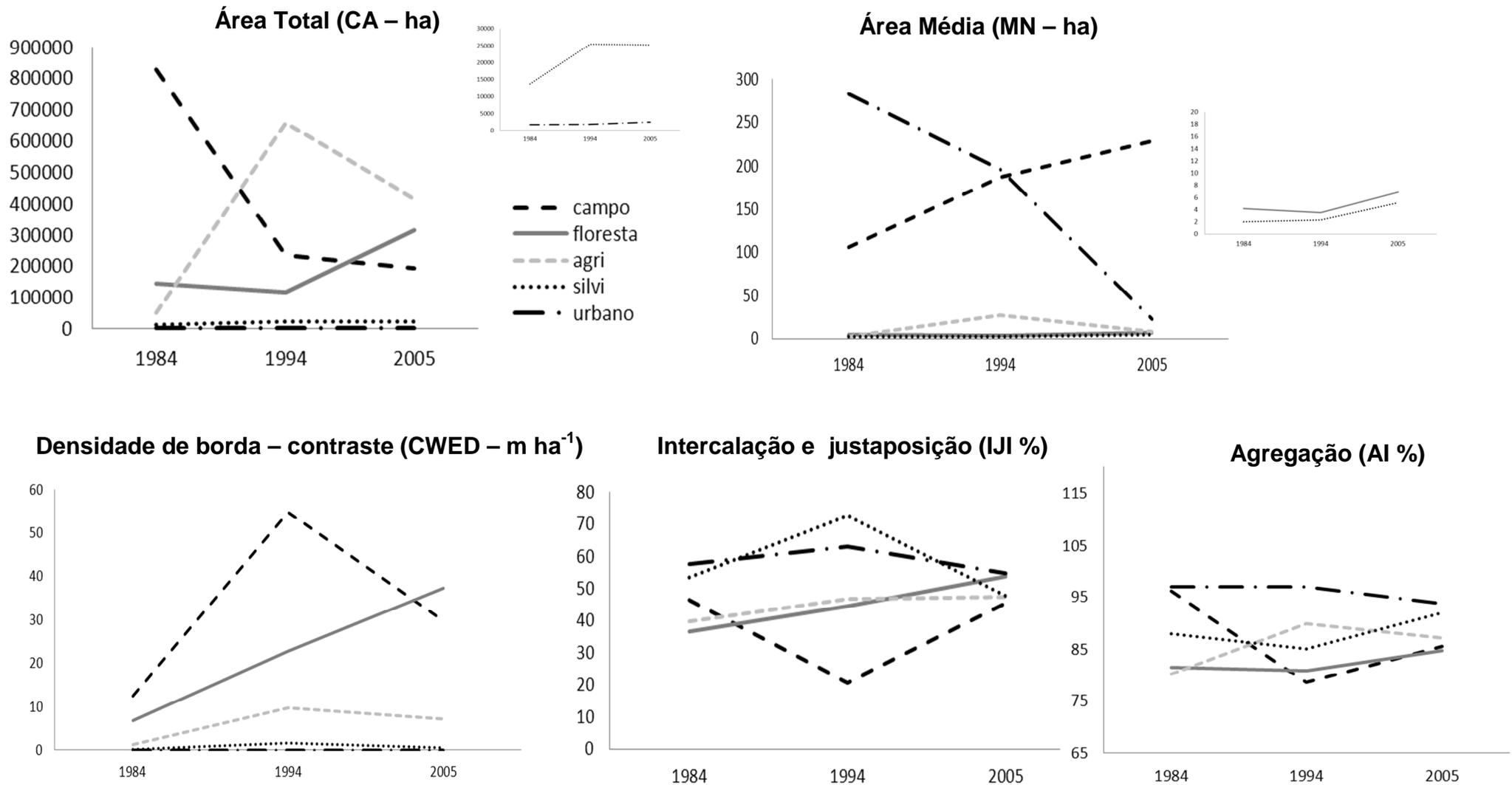


Fig. 6 Variação nas métricas de paisagem em nível de classe ao longo do tempo (1984 – 2005) em toda a área de estudo compreendida pela imagem de satélite utilizada.

Fragmentação das áreas de campo e floresta

O número de fragmentos de floresta e campo na área de estudo e suas respectivas áreas indicam que houve um aumento na fragmentação destes ecossistemas. Em 1984 a região apresentava 86.647 fragmentos de campo, cuja área média ficava em torno de 19,84 km². Já em 2005 o número de fragmentos aumentou para 116.495 (33%) e a área média dos mesmos caiu bruscamente para 4,1 km² (79%). Para as áreas de floresta, o número de fragmentos em 1984 foi de 115.642, com área média de 9,5 km² e em 2005 o número de fragmentos aumentou para 223.640 (93,38%), com área média de 3,9km² (56%).

Considerando apenas a região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, o número de fragmentos de campo em 1984 era de 7.853 e a área média destes fragmentos era de 105,5 km². Em 2005 o número de fragmentos aumentou para 33.888 (331%) e a área média destes fragmentos foi para 8,4km² (20%). Já com relação aos fragmentos de floresta, em 1984 tinha-se 34.823 fragmentos com área média de 4,2km², o que em 2005 passou para 45.749 (31%) fragmentos com área média de 6,9 km².

Classificação Geoeconômica

A análise Log-Linear, modelo 3 fatores, mostrou que a área em cada classe de uso do solo variou ao longo dos anos, e esta variação não foi igual entre as regiões geoeconômicas ($\chi^2=89120.612$, gl=40, p=0.0. Fig. 7). Em outras palavras, a cada ano, diferentes classes de uso do solo tiveram aumentos e contrações diferenciados em diferentes porções geoeconômicas.

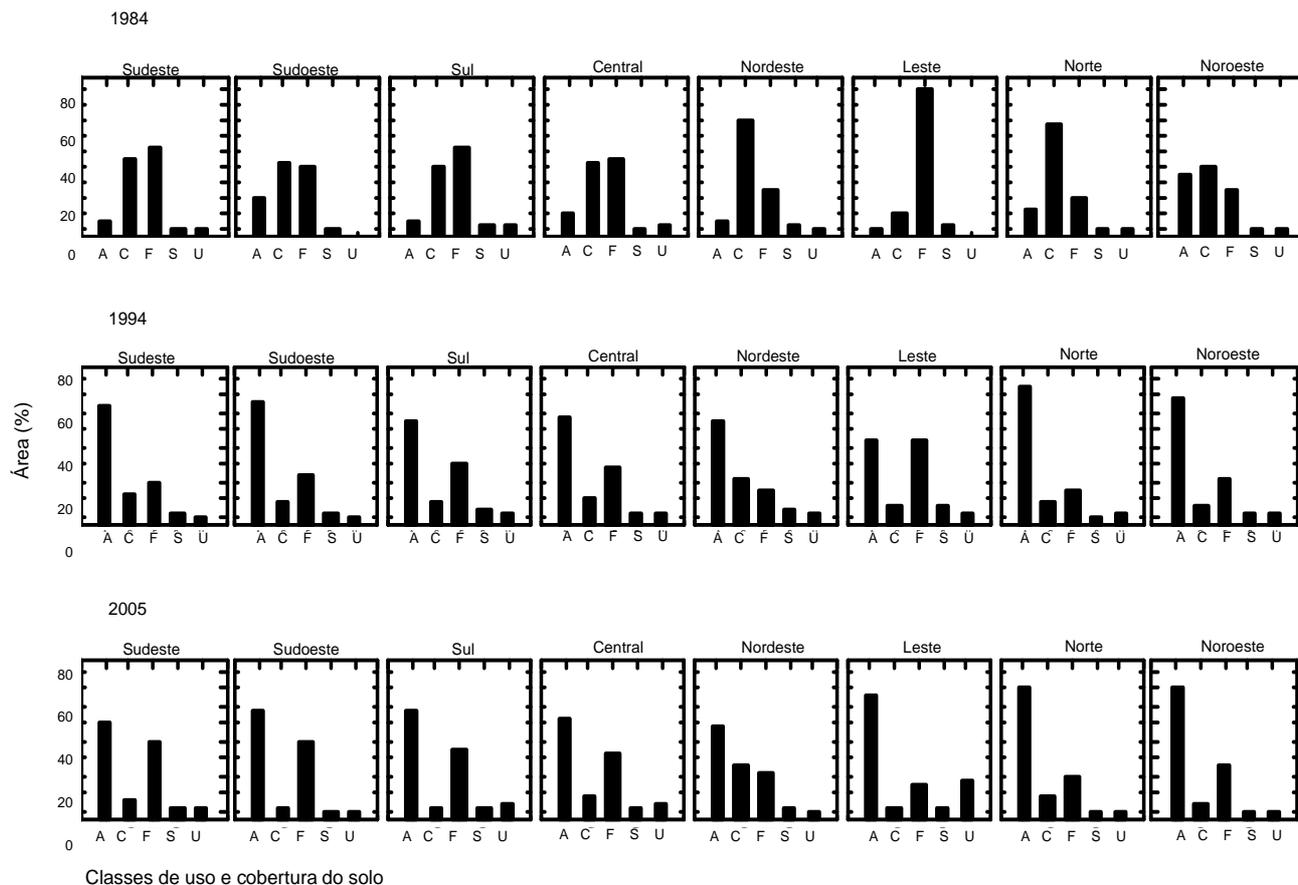


Fig. 7 Análise Log-Linear (y =área, x =classes de uso do solo, regiões geoeconômicas e anos). Classes de uso do solo: A - agricultura, C - campo, F - floresta, S - silvicultura, U - urbano.

Nas regiões Sudeste e Sudoeste, foi observado um aumento importante nas áreas de agricultura (48,3% e 38,9%, respectivamente) de 1984 a 2005. Ao mesmo tempo, as áreas de campo foram reduzidas consideravelmente nestas regiões de 1984 a 2005 (38,5 e 39,6%, respectivamente). As áreas florestais apresentaram uma redução de 1984 a 1994 (26,13 e 14,8%, respectivamente) e depois novamente um crescimento em 2005 (8 e 14,7%). A silvicultura manteve-se relativamente estável. As áreas urbanas na região sudeste mantiveram-se estáveis, enquanto que na região sudoeste apresentaram crescimento (0,5% de 1984 a 2005). Na região Sul, as classes agricultura e campo, floresta e silvicultura apresentaram os mesmos padrões evidenciados nas regiões citadas anteriormente, no entanto, a classe urbano apresentou crescimento principalmente de 1994 a 2005 (2,9%).

Nas regiões Central e Nordeste, foi acentuado o crescimento da agricultura (44,3% e 44,9%, respectivamente) e a redução do campo (34,5% e 43,1%) entre 1984 e 2005. As classes floresta e silvicultura não sofreram grandes alterações tanto em crescimento quanto em redução. Já na região Leste muitas transformações no uso da

terra ocorreram no período estudado (1984 – 2005): as áreas de agricultura apresentaram grande crescimento (66,3%) em detrimento do decréscimo considerável nas áreas de campo (8,29%) e principalmente de floresta (74,11%), além do crescimento urbano acentuado (15%).

As regiões Norte e Noroeste não apresentaram um padrão muito distinto uma da outra nos 21 anos estudados, mostrando principalmente crescimento da agricultura (57,2% e 35,4%, respectivamente) e redução das áreas de campo (58,2% e 36,7%). Floresta, silvicultura e áreas urbanas não mostraram variações importantes ao longo do tempo.

A silvicultura foi uma classe de uso do solo que apresentou expansão ao longo do período estudado, principalmente entre 1984 e 1994 em todas as regiões econômicas. No entanto, um decréscimo destas áreas foi observado de 1994 a 2005 em todas as regiões, chegando a um efeito de estabilidade na ocupação de áreas desta classe.

Índice NDMI

O Teste G ($\chi^2 = 592875.970$, $gl=26$, $p=0,0$) que avaliou a variação das áreas dos níveis de umidade dentro de cada nível ao longo dos anos, mostrou que as áreas que apresentavam níveis de umidade maiores em 1984, dentro da região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, foram perdendo esta característica, tendo a umidade reduzido para níveis inferiores (Fig. 8). Esta mudança foi progressiva e mostra que as áreas com maior presença de vegetação, a qual contribui para a retenção de umidade no solo, foram sendo reduzidas, de modo que os níveis mais altos de umidade encontrados em 1984 tiveram suas áreas reduzidas ou sua presença excluída da região em 2005.

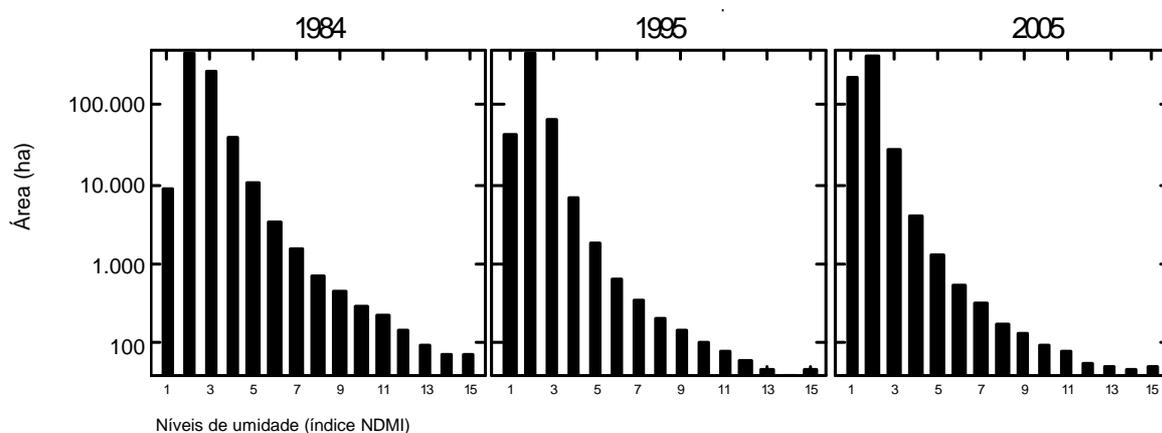


Fig. 8 Variação de umidade, conforme índice NDMI nas áreas de campo (CCS) ao longo do tempo. 1 – 15: níveis de umidade, em ordem crescente de numeração. Os níveis com menor numeração indicam as áreas mais secas, enquanto os níveis com maior numeração indicam áreas mais úmidas.



Fig. 9 Mapa representativo da região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, mostrando a variação da umidade nas áreas de campo de 1984 a 2005. Conforme mostra a escala, quanto mais escura a área, mais úmida e, conseqüentemente, quanto mais clara, mais seca.

A análise Log-Linear realizada relacionando as áreas representadas pelos níveis de umidade com os próprios níveis de umidade, anos e pluviosidade média dos 12 meses anteriores às imagens e satélite analisadas, mostrou que todos os fatores (níveis de umidade, anos e pluviosidade média) interagiram refletindo na variação das áreas correspondentes aos níveis de umidade ao longo do tempo ($\chi^2 = 4,421E^{+10}$, gl = 89, p=0,0).

O mapa onde são sobrepostas as áreas referentes à classe agricultura nas porções norte e sul dos campos às áreas de campo classificadas quanto aos níveis de umidade em cada ano mostrou que possivelmente as áreas agrícolas expandiram-se preferencialmente sobre as áreas com os maiores níveis de umidade (Fig. 10). No ano de 1984 as áreas agrícolas estavam mais concentradas na porção noroeste da porção norte dos campos, mas em 1994 além das áreas agrícolas terem se expandido, parecem ter seguido a direção das áreas que eram mais úmidas em 84, embora em 94 a umidade tenha sido reduzida nas mesmas regiões (Fig. 9). Já de 1994 a 2005 a distribuição parece permanecer a mesma de 94, no entanto, concentra-se ainda na região noroeste da porção norte dos campos, onde ainda encontram-se remanescentes de áreas campestres com maior nível de umidade e maior pluviosidade.

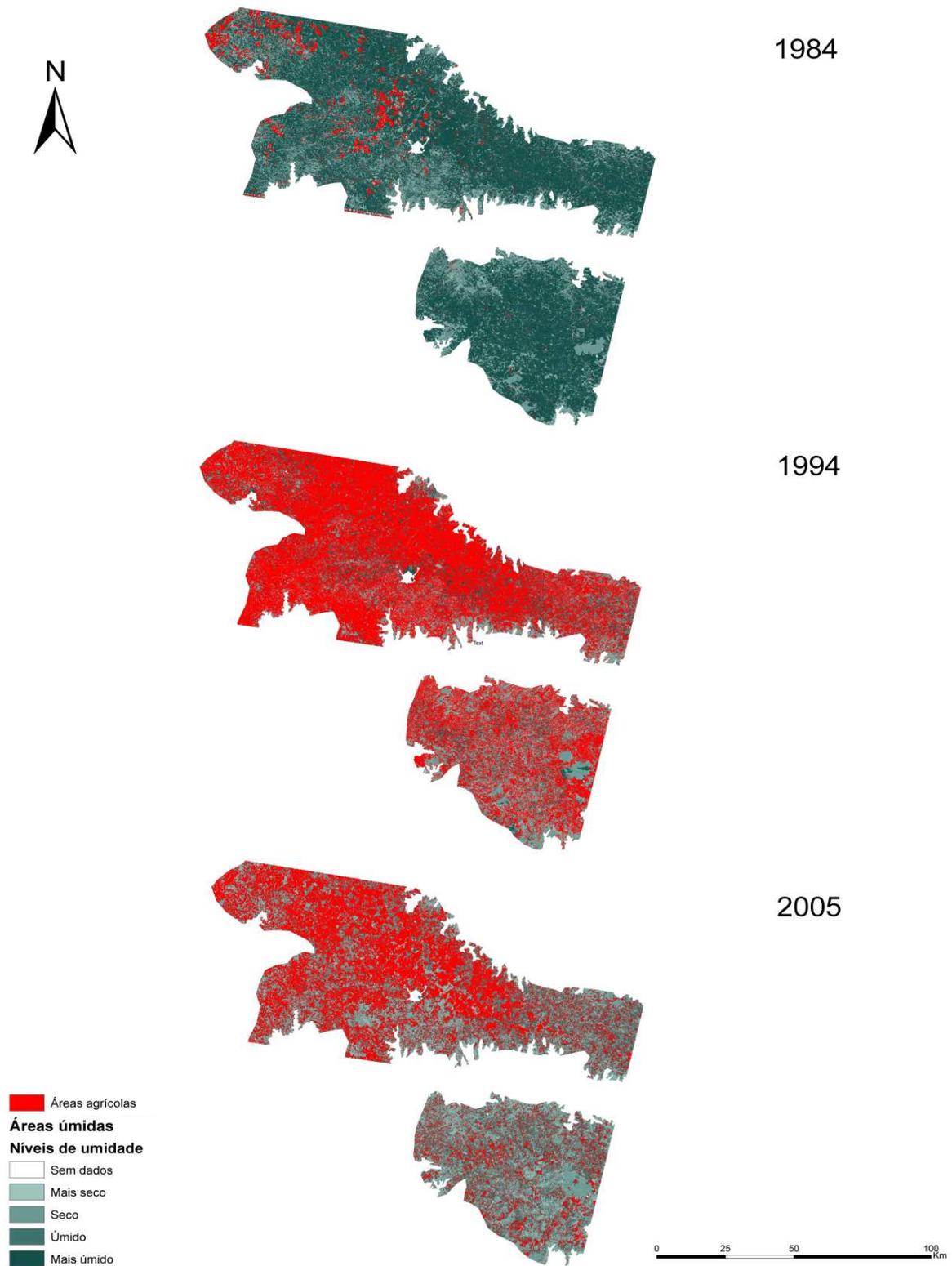


Fig. 10 Mapa representativo da região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, mostrando áreas agrícolas (em vermelho) sobrepostas às áreas campestres classificadas de acordo com os níveis de umidade gerados pelo índice de diferença normalizada de umidade (NDMI), de 1984 a 2005.

Discussão

A partir da análise do panorama inicial da região de estudo em 1984 e a comparação com os resultados apresentados referentes à dinâmica da paisagem até 2005, constata-se uma importante mudança na paisagem com a redução das áreas de campo e consequentemente o alto número de fragmentos desta classe ao longo do período estudado, além do crescimento e expansão da agricultura e o aumento da fragmentação florestal. Também foi constatado que o crescimento das áreas agrícolas deu-se principalmente sobre as áreas de maior umidade e maior índices pluviométricos sobre os campos.

A dinâmica de substituição de classes de uso e cobertura do solo foi observada em todas as regiões geoeconômicas. Entende-se que esta relação reflete, de certa forma, o cenário econômico do país e do estado do RS nas décadas de 80 e 90, quando ocorreram uma série de transformações econômicas, devido à crise estabelecida no país (Alonso, 2003). Segundo Ometto et al. (1995), no início dos anos 80 a economia brasileira mergulhou na mais grave crise de sua história, levando à estagnação do Produto Interno Bruto e a taxas de inflação sem precedentes.

Um dos pontos importantes observados é que a agricultura apresentou um elevado crescimento em todas as regiões geoeconômicas. Em detrimento deste crescimento, outras classes foram reduzidas em área, principalmente as áreas de campo. Considera-se que na década de 80 houve o *boom* da produção de soja no Estado, devido à abertura comercial, principalmente na segunda metade desta década e o aumento das exportações que foram crescentes na década de 90, apesar da crise econômica estabelecida na época no país (Zandonadi 1996; Schlindwein e Shikida 2000). Segundo Gasques et al. (2008), entre 1975 e 2005 o crescimento da agricultura passou por fases de expansão e de consolidação, e foi criada, no País, a mais importante empresa de pesquisa agropecuária tropical do mundo: a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que, juntamente com institutos estaduais de pesquisa, universidades e agências privadas, tem liderado, em sua área de atuação, o trabalho de pesquisa no Brasil neste seguimento. Esse fato mostra o investimento realizado no seguimento da agroindústria brasileira no período estudado.

Particularmente, um caso específico do aumento da agricultura destacou-se neste cenário: na região geoeconômica Leste. Nesta região, é praticado o cultivo de banana e abacaxi. Com o crescimento da agricultura, observou-se uma redução importante da

classe floresta, que nessa região, é caracterizada pela transição entre a Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa, nas encostas da Formação da Serra Geral, ambas constituintes da Mata Atlântica, bioma florestal riquíssimo em biodiversidade e extremamente ameaçado (Teixeira et al. 2009). Nos municípios que se encontram nessa região geoeconômica e que foram abrangidos pela área de estudo (Itati, Maquiné e Três Forquilhas), a bananicultura é cultivada nas encostas (Vivian 2002), apesar de serem áreas de difícil acesso e que sofrem restrições do atual Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771 de 15/09/1965), pois são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP). Apesar disso, no entanto, é importante ressaltar que esta porção geoeconômica representa um percentual muito pequeno das áreas de floresta da região em estudo.

Em vista deste incremento agrícola retratado em toda a área de estudo, com alguns picos em determinadas regiões, cabe salientar que o nível ou intensidade da atividade agrícola tem um impacto importante sobre a trajetória de mudança da cobertura do solo e mudanças nas práticas e abandono de terras agrícolas podem também, portanto, deixar traços distintos na paisagem, mesmo que as florestas ou vegetação nativa se regenerem (Thomilson et al.1996).

A silvicultura foi outra classe de uso do solo que apresentou expansão ao longo do período estudado, principalmente entre 1984 e 1994 e, apesar de estar presente em todas as regiões geoeconômicas, apresenta manchas de maior área nas regiões Nordeste e Leste. Conforme Overbeck et al. (2007), o cultivo de árvores exóticas, no caso, *Pinus* sp. nestas regiões, nas áreas de campo, é realizado em áreas onde antes era praticada a pecuária e que são transformadas em extensas plantações. Devido ao importante retorno econômico das monoculturas em vista das práticas pecuaristas, sendo o pinus designado a múltiplos destinos produtivos (laminados, móveis, celulose e papel), as mesmas seguem expandindo-se sobre os campos, tanto pelo aumento em área plantada, quanto pela própria capacidade de dispersão da espécie em áreas abertas (Overbeck et al.2007; Cunha et al. 2011).

A previsão para os próximos anos para o setor florestal no RS e restante do país é de crescimento em produção e expansão em área, assim como vem acontecendo desde 2005, conforme dados publicados pela Câmara Setorial de Silvicultura do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e ABRAF – Associação Brasileira de Produtores e Florestas Plantadas em 2009.

O crescimento das áreas urbanas foi pequeno em vista dos sobressaltos já discutidos no setor agrícola e florestal, no entanto, é importante ressaltar que se

sobressaiu em algumas regiões, como a Sul e a Leste. Particularmente, a região Sul é composta predominantemente por municípios da região metropolitana de Porto Alegre, capital do RS, onde o crescimento populacional em decorrência da alternância entre crescimento industrial e de atividades do terceiro setor tem sido visto em municípios limítrofes à capital e a polos industriais da região. Isso reflete, segundo Jardim e Barcelos (2005), as transformações relacionadas aos processos de desconcentração da produção industrial como parte da redução das vantagens locacionais nas grandes aglomerações e de periferização da moradia da força de trabalho. Este comportamento justifica a expansão de áreas urbanas nesta região. As regiões Sudeste e Leste são adjacentes à região Sul e, de alguma forma, devem ter refletido o processo de expansão urbana que se deu nesta região. Todavia, é importante relacionarmos o crescimento agrícola na região Leste ao incremento em área urbana nesta região, ou seja, o aumento em área agrícola produtiva também pode ter atraído investimentos que justifiquem o crescimento urbano.

Apesar do crescimento das áreas urbanas, a área média (AREA_MN) das manchas desta classe diminuiu de 1984 a 2005, o que significa que apesar do aumento destas áreas, as manchas foram tornando-se menores (área média) e mais distribuídas na região, conforme o índice de intercalação e justaposição (IJI),

O alto percentual de fragmentação das áreas de campo de 1984 a 2005 mostram o quanto este ecossistema está sendo recortado e substituído por outros usos do solo. Com o crescimento da fragmentação, a conectividade existente entre as áreas vai se perdendo e conseqüentemente implica em uma série de problemas de conservação para estas áreas, pois a biodiversidade associada, muitas vezes composta por espécies endêmicas, perde habitat, sofre com o aumento do efeito de borda, enfrenta problemas de dispersão e conseqüentemente estabelecimento, sobrevivência e reprodução, podendo levar espécies nativas à extinção (Cunha 2001, Primack e Rodrigues 2001, Foreno-Medina e Vieira 2007; Dajoz 2008). O que confirma o aumento da fragmentação é o contraste de densidade de borda (CWED) entre as áreas de campo e áreas de classes não naturais que foi crescente de 1984 a 2005. Isso significa dizer que as bordas das manchas de campo estavam em contato com outras classes de uso do solo não naturais, ou seja, de origem antrópica (urbano, agricultura, silvicultura) e que este contato foi aumentando ao longo do tempo. Isso corrobora ainda mais o resultado de que as áreas naturais de campo, mais ainda do que as de floresta, sofreram pressões antrópicas ao

longo destes 21 anos. Estas áreas foram sendo reduzidas e praticamente formando grandes ilhas na paisagem, como é representado também pelo índice de agregação (AI).

Esta constatação também já foi feita por outros pesquisadores (Cordeiro e Hasenack 2009), apontando inclusive que a taxa de perda de campo por ano seria de 1.000 Km² no Estado do Rio Grande do Sul (1976 – 2002). Os resultados também mostraram que além das áreas de campo terem sido reduzidas, as manchas remanescentes, que eram grandes (área média), foram sendo fragmentadas e as manchas resultantes, de menor área, é que foram sendo convertidas em outros usos do solo, como a agricultura e a silvicultura. Isto deu-se principalmente nas porções Norte e Noroeste onde as áreas de campo, que predominam na região e são utilizadas para a pecuária, foram e continuam sendo convertidas ou substituídas pela prática agrícola, principalmente de soja, trigo e milho, que são as culturas mais difundidas na região (Brum Neto et al. 2007).

As áreas de floresta também sofreram redução em área de 1984 a 1994, mas de 1994 a 2005 houve um crescimento desta área. Este comportamento também foi registrado por Hasenack e Cordeiro (2009), no entanto não é sugerida nem apontada nenhuma causa possível. Coelho et al. (2005) também detectou crescimento de áreas florestais naturais no município de Viçosa, Minas Gerais, através de imagens e satélite Landsat 5TM entre 1994 e 1998 e atribuiu este incremento em área à proibição, por legislação local, ao corte, a exploração e a supressão da vegetação primária ou nos estágios de avançada e média regeneração, aliados a outros fatores, como fiscalização eficiente da Polícia Ambiental e, em alguns casos, abandono de áreas de pastagens degradadas em função da declividade acentuada e baixa fertilidade dos solos.

Este crescimento das áreas florestais de 1994 a 2005 pode indicar sucessão florestal em áreas onde houve êxodo rural neste período. Apesar das taxas de êxodo rural virem reduzindo desde o censo do IBGE de 1991, o mesmo continuou acontecendo. É importante observar também que a população rural apresentou uma grande queda de natalidade neste período, como resultado da redução também na taxa de fecundidade (Schneider, 1994; Schneider e Radomsky, 2002). A consequência disto é que a população rural não cresça e as áreas abandonadas não sejam repovoadas, favorecendo a sucessão florestal. Sabe-se que campos com exclusão de fogo e pastejo tendem ao surgimento de arbustos que caracterizam o início do processo de sucessão florestal sobre os campos. Isto foi comprovado por Oliveira & Pillar (2004), em estudo comparativo entre áreas de fazenda e de campo com exclusão de pastejo e fogo (CPCN

Pró Mata). Os autores puderam mostrar a mudança da fisionomia vegetal na área de estudo, onde as áreas excluídas de pastejo e fogo, mais próximas da floresta, apresentaram a alteração de pastagens de campo para campo com arbustos e campo com arbustos altos em poucos anos. Percebe-se então, neste cenário, a substituição de áreas de campo abandonadas, provavelmente oriundas da agricultura familiar, pela sucessão florestal, caracterizando o aumento de área florestal de 1994 a 2005. É importante destacar também que, apesar deste crescimento, as áreas florestais estão bastante fragmentadas.

Aplicou-se o índice de umidade NDMI nas imagens de satélite em estudo a fim de verificar a dinâmica da umidade na área de estudo, principalmente nos campos, pois a existência ou aumento de áreas úmidas nesta região poderia ser uma causa da substituição das áreas de campo por áreas agrícolas ou monoculturas de pinus. Todavia, com esta análise pôde-se observar que as áreas úmidas nos campos não aumentaram de 1984 a 2005, o que poderia justificar o aumento da agricultura, que converteria estas áreas úmidas de campo em áreas agriculturáveis, mas houve sim a redução progressiva das áreas úmidas e inclusive o desaparecimento de alguns níveis indicativos de maior umidade. Procurou-se verificar se haveria influência do índice pluviométrico dos 12 meses anteriores às imagens de satélite com a redução de áreas úmidas e principalmente dos níveis de maior umidade, o que foi confirmado pela análise Log-linear ($p=0.0$). Entretanto, o fator ano também influenciou significativamente nesta variação de áreas de níveis de umidade, o que significa que não somente a variação da pluviosidade influenciou nesta redução.

Ao analisar o mapa onde se sobrepôs às áreas agrícolas às áreas campestres com a classificação dos níveis de umidade, observa-se que as áreas agrícolas expandiram-se preferencialmente sobre as áreas mais úmidas em 1984, apesar destas mesmas áreas não terem mantido os mais altos níveis de umidade em 1994. A concentração das áreas agrícolas em 2005, na porção noroeste da região norte dos campos sinaliza que as áreas destinadas à agricultura são preferencialmente aquelas onde os níveis de umidade são maiores e onde a pluviosidade também é maior. Isto de certa forma corrobora a ideia de que as áreas de campo úmido são as que estão sendo convertidas para áreas agrícolas (Gasca-Tucker et al. 2007).

Conclusões

A região nordeste do Rio Grande do Sul passou por uma série de transformações na paisagem e na dinâmica de uso e cobertura do solo de 1984 a 2005. E estas transformações implicaram em uma grande redução das áreas de campo. As áreas de campo remanescentes estavam muito mais fragmentadas em 2005 do que no cenário inicial de 1984 sendo manchas grandes, o que indica que os fragmentos menores foram sendo substituídos principalmente por áreas agrícolas, que aumentaram muito neste período.

A agricultura foi a classe de uso do solo que apresentou maior crescimento no período e, o incentivo econômico e mudanças favoráveis neste cenário ao longo do tempo, apesar da crise econômica enfrentada, podem justificar este crescimento. Pôde-se demonstrar também que a direção de expansão das áreas agrícolas pôde ser determinada também pelos níveis de umidade nas áreas de campo, onde áreas mais úmidas e com índices pluviométricos maiores são preferidas.

A silvicultura também apresentou crescimento, apesar de menor do que a agricultura e menos discrepante, substituindo áreas de campo.

Em contrapartida, áreas florestais sofreram redução, o que é motivo de preocupação, de um modo geral, devido ao seu histórico de exploração no século passado.

Pode-se dizer que a economia influenciou e continua influenciando diretamente no uso e cobertura do solo, mas considera-se que esta situação deve ser observada constantemente a fim de evitar uma maior redução das áreas naturais do RS que estão cada vez mais afetadas.

Considera-se como principal resultado e conclusão deste trabalho a expressiva redução e conseqüente fragmentação de áreas de campo e o aumento da agricultura, além da redução das áreas florestais, ocorridos no período analisado (1984 -2005).

Referências

- Alonso, J. A. F.(2003). O cenário regional gaúcho nos anos 90: convergência ou mais desigualdade? *Indicadores Econômicos FEE*, V. 31, Nº 3.
- Antrop, M. (2005). Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape Urban Plan.* 70, 21–34.

- Boldrini, I. I.(2009). *Biodiversidade dos campos do Planalto das Araucárias*. Brasília: MMA, 240 p.: Série Biodiversidade, v.30.
- Boni, L.A. De & Costa,R. (1984). *Os italianos no Rio Grande do Sul*. Escola Superior de Teologia São Lourenço de Brindes: Caxias do Sul. Universidade de Caxias; Correio Riograndense.
- Burel, F. & Baundry, J. (2003). *Landscape Ecology: Concepts, Methods and Applications*. Science publishers, inc.
- Bürgi, M., Hersperger, A.M. & Schneeberger, N. (2004). Driving forces of landscape change – current and new directions. *Landscape Ecology* 19: 857–868, 2004.
- Bürgi, M., Hersperger, A.M., Hall, M., Southgate, E.M.B. & Schneeberger, N.(2009). *Using the Past to Understand the Present Land Use and Land Cover. In Changing World – Challenges for landscape research*. Springer, Landscape Series, Vol.8.
- Brum Neto, H., Bezzi, M. L. & Castanho, R. B.(2007). Rio Grande do Sul: uma proposta de regionalização geoeconômica. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 19 (2):171-190.
- Câmara Setorial de Silvicultura do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009). Agenda Estratégica do Setor de Florestas Plantadas. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. <http://www.abraflor.org.br/agenda/agenda.asp>. Acessado em 15 de dezembro de 2011.
- Carvalho, A.B.P & Ozorio, C.P. (2007). Avaliação sobre os banhados do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista de Ciências Ambientais*, Canoas, v.1, n.2, p. 83 a 95.
- Calvo-Iglesias, M.S., Fra-Paleo, U. & Dias-Varela, R.A. (2008). Changes in farming system and population as drivers of land cover and landscape dynamics: the case of enclosed and semi-openfield systems in Northern Galicia (Spain). *Landscape Urban Plan.* 90, 168–177.
- Código Florestal Brasileiro. Lei 4.771 de 15/09/1965. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771. Acessado em 02 outubro de 2011.
- Coelho, D. J. S., Souza, A. L. & Oliveira, C.M.L. (2005). Levantamento da cobertura florestal natural da microrregião de Viçosa, MG, utilizando-se imagens de Landsat 5. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.17-24.
- Cunha, M.C.L., Monguilhott, M., Saldanha,D.L., Guasselli,L. & Oliveira,G.(2011). Quantificação da dinâmica dos remanescentes florestais no município de Jaquirana, RS, em imagens de satélite. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.4, p.867-873.

- Dajoz, R. (2008). A Ecologia de Paisagem e as Metapopulações. In *Princípios de Ecologia*. 7ed. Artmed Editora. Porto Alegre.
- Eastman, J.R., 2006. IDRISI Andes. Worcester, MA: Clark University.
- Envi (2008). Version 4.5. ITT Visual Information Solutions.
- Ferreira, P.M.A., & Setubal, R.B (2009). *Florística e fitossociologia de um campo natural no município de Santo Antonio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Brasil*. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 195-204, abr./jun.
- Foreno-Medina, G. & Vieira, M.V. (2007). Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. *Oecologia Brasiliensis*, 11 (4): 493-502.
- Fortes, A.B. (1959). Zonas fisiográficas. Capítulo 6. In: *Geografia física do Rio Grande do Sul*. (pp 131-154). 1. Ed. Porto Alegre: Globo.
- Fundação SOS Mata Atlântica. Informações. Unidades de Conservação. <http://www.sosmatatlantica.org.br/index.php?section=info&action=unidades>. Acessado em 20 de dezembro de 2011.
- Gao, B. C.(1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58:257-266.
- Guerra, M.P., Silveira, V., Reis, M.S., Schneider, L (2002). Exploração, manejo e conservação da Araucária (*Araucaria angustifolia*). In: Simões, L.L., Lino, C.F. (Eds.), *Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais*, Senac, São Paulo, pp. 85–101.
- Gasca-Tucker, D.L., Acreman, M.C, Agnew, C.T. & Thompson, J.R. (2007). Estimating evaporation from a wet grassland. *Hydrology & Earth System Sciences*, 11(1), 270- 282.
- Gasques, J. G., Bastos, E. T. & Bacchi, M. R. P. (2008). Produtividade e fontes de crescimento da agricultura brasileira. In João Alberto De Negri e Luis Claudio Kubota (Editores), *Políticas de Incentivo à Inovação Tecnológica* (pg 435 – 459). Brasília. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- Hardisky, M.A., Klemas, V. & M.Smart. (1983). The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on spectral radiance of spartina alterniflora canopies. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 16(9):1581-1598.
- IBGE. (1986). Levantamento de recursos naturais (Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim). *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, Rio de Janeiro, 796 pg.

- IBGE. (2010). Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul. Relatório Técnico. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE*. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.
- Iotti, H.L. (2010). *Imigração e Poder: A palavra oficial sobre os imigrantes italianos no Rio Grande do Sul (1875 – 1914)*. Caxias do Sul : EDUCS. 263 pg.
- Jardim, M.L. & Barcellos, T. M (2005). Mobilidade populacional na região metropolitana de Porto Alegre nos anos 90. *São Paulo em Perspectiva*. vol.19 no.4 São Paulo Oct./Dec, doi.org/10.1590/S0102-88392005000400005.
- Kuinchtner, A. & Buriol, G. A. (2001). Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciências Exatas, S. Maria, v.2, n.1, p.171-182.
- Lang, S. & Blaschke, T. (2009). Por que Quantificar paisagens? In *Análise da paisagem com SIG*. Oficina de Textos. São Paulo.
- MacGaridal e Marks 1995. *Fragstats 3.3*. Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure.
- Metzger, J.P.(2001). O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, 1(1).
Oliveira-Filho, A.T. & Fontes, M.A.L. (2000). Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate. *Biotropica* 32(4b): 793-810 2000
- Oliveira, J.M. & Pillar, V. D. (2004). Vegetation dynamics on mosaics of Campos and Araucaria forest between 1974 and 1999 in Southern Brazil. *Community Ecology*. 5(2):197-202, doi: 10.1556/ComEc.5.2004.2.8.
- Ometto, A.M.H., Furtuoso, M.C.O. & Silva, M.V.(1995). Economia brasileira na década de oitenta e seus reflexos nas condições de vida da população. *Revista de Saúde Pública*, 29(5), 403-414.
- Overbeck , G. E., Müller, S.C., Fidelis, A. [Pfadenhauer](#), J., Pillar V. D., Blanco, C.C., Boldrini, I.I., Both, R. & Forneck, E.D. (2007). Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. Volume 9, Issue 2, 11, P 101-116, [doi:10.1016/j.ppees.2007.07.005](https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.07.005).
- Pillar, V.D. & Vélez, E. (2010). Extinção dos Campos Sulinos em Unidades de Conservação: um Fenômeno Natural ou um Problema ético? *Natureza & Conservação* v. 08, p. 84-86. <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/natcon.00801014>.

- Poças, I., Cunha, M., Marcal, A.R.S. & Pereira, L.S. (2011). An evaluation of changes in a mountainous rural landscape of Northeast Portugal using remotely sensed data. *Landscape and Urban Planning* 101: 253–261.
- Primack, R.B. & Rodrigues, E. (2001). Ameaças à Diversidade Biológica. In *Biologia da Conservação*. Editora Planta. Londrina.
- Quaini, I.C. (2005). *La stória dei nostri noni – Sobre a imigração italiana no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre : Myrian. 175 pg.
- Randolph, J.C., Green, M.G., Jonathan, B., Burcsu, T. & Welch, D. (2009) Ecosistemas florestais e as dimensões humanas. In Moran, E. F & Ostrom, E. (Org.), *Ecosistemas Florestais: Interação homem-ambiente* (pp. 139-164). São Paulo. Editora Senac São Paulo: Edusp.
- Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A. C., Ponzoni, F.J., Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142 (2009) 1141–1153.
- Silveira, E. L. D. (2009). Paisagem: um conceito chave em Geografia. In: EGAL- 12º Encontro de Geografia da América Latina, 2009, Montevideo.
- Schlindwein, M.M. & Shikida, P. F. A. (2000). Aspectos da evolução da economia brasileira nos anos 90: década perdida? *Revista de Ciências Empresariais*. UNIPAR. v.2,n.2.:jul/dez.
- Schneider, I. (1994). Êxodo, envelhecimento populacional e estratégias de sucessão na exploração agrícola. *Indicadores Econômicos FEE*, V. 21, No 4.
- Schneider, S. & Radomsky, G.F.W. (2002). Evolução demográfica e ocupacional da população rural do Rio Grande do Sul. *Ensaio FEE*, Porto Alegre, V. 23, Número especial.
- Shine, C. & Klemm, C. (1999). Wetlands, water and the law: Using law to advance wetland conservation and wise use. *Gland: IUCN*, 348 p.
- Sokal, R.R., Rohlf, F. J. (2000). *Biometry : the principles and practice of statistics in biological research*. 3. ed. New York: W. H. Freeman. 887 p.
- SYSTAT (2007) For Windons, Version 12.00.08. Inc, Chicago.
- Teixeira, A. M. G., Soares-Filho, B. S., Freitas, S. R. & Metzger, J.P. (2009). Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 257: 1219–1230, [doi:10.1016/j.foreco.2008.10.011](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.011)

- Thomilson, J.R., Serrano,M.I., Lopez,T.M., Aide,T.M., Zimmerman,J.K. Land-Use Dynamics in a Post-Agricultural Puerto Rican Landscape (1936-1988). *Biotropica*, 28(4a), 525-536, 1996.
- Vivan, J. L. (2002). Bananicultura em Sistemas Agroflorestais no Litoral Norte do RS. Relato de Experiência . *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*. Porto Alegre, v.3, n.2, abr./junh.2002.
- Wilson, H. E. & Sader, A.S. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment* 80 (2002) 385–396. [doi:10.1016/S0034-4257\(01\)00318-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00318-2)
- Zandonadi, R.(1996). *Fundamentos Técnicos para o diagnóstico da agricultura brasileira: período analisado 1980 a 1995*. Brasília,CNA.
- Zar, Jerrold H. (1999). *Biostatistical Analysis*. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall. 931 p.