

Análise espaço-temporal das coberturas florestais do município de Roca Sales - RS através de imagens de sensoriamento remoto

Juliana Fava e Silva¹
Rafael Rodrigo Eckhardt¹
Claudete Rempel¹

¹ Centro Universitário UNIVATES
Caixa Postal 155 - 95900-000 - Lajeado - RS, Brasil
julianaf@universo.univates.br; {rafare, crempel}@univates.br

Abstract. The availability of satellite images from a same region of the Earth, spaced in the time, and the GIS allow the elaboration of comparisons, using the temporal dimension like a quality of the data acquired in the different instants. This remote sensing function, destined to the analysis of the temporal phenomenon, it's known by Land Use-Cover Changes Detection or still Temporal Evaluation. This paper aims to perform the space-time analysis of the Roca Sales municipality landscape, located in the northeast of the Rio Grande do Sul State. The temporal analysis was performed starting from Landsat 5 satellite images from 1989, 1999 and 2009. The results showed that the native forest areas are increasing and the agricultural areas are decreasing in the municipality landscape. The native forests increased 76.45% and the agricultural areas had reduction of 32.18%. In the twenty years analyzed, many agricultural areas were abandoned in Roca Sales, mainly in high slopes. On these places, the natural forest regeneration process retrieve de forest land cover.

Palavras-chave: remote sensing, temporal analysis, landscape dynamics, sensoriamento remoto, análise temporal, dinâmica da paisagem.

1. Introdução

A História de mais de 3,5 bilhões de anos do planeta Terra é longa e complexa, repleta de constantes transformações capazes de evidenciar uma sucessão de estados que se alternam entre situações de não-equilíbrio e equilíbrio (Santos, 2004), como consequência de causas naturais, sobre as quais se tem pouco controle, e mais recentemente, antropogênicas. As ações humanas promovem a ocupação do espaço, seja para agricultura, seja para a exploração de matérias-primas, ou para a construção de estruturas para a vida em sociedade. Ao longo da evolução, o ser humano promoveu diversas modificações nas características de seu ambiente, resultando em diferentes paisagens.

Segundo Bertrand (1968), paisagem consiste em uma determinada porção do espaço que resulta da combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais interagem dialeticamente uns sobre os outros formando um conjunto único e indissociável em perpétua evolução. A observação do desenvolvimento das paisagens no espaço e no tempo é relevante para entender os processos que estão ocorrendo e para o prognóstico de tendências futuras. A documentação da condição atual de uso e cobertura da terra e a detecção de mudanças no tempo são de significado central para muitas atribuições dos órgãos de planejamento e do meio ambiente. Dados espaciais atualizados do uso e cobertura da terra são necessários tanto como base na tomada de decisões para o planejamento de medidas relevantes de proteção à natureza, como também para o controle sobre o êxito de tais medidas (Lang e Blaschke, 2009). Segundo Soares Filho (1998), para estudar a dinâmica da paisagem, é necessário, em primeiro lugar mapear os padrões de uso e cobertura da terra, categorizando-os em função de características médias, para com isso avaliar como cada elemento da paisagem se relaciona com o outro espacialmente e temporalmente.

De acordo com Santos (2004), das classes de uso e cobertura da terra, pelo seu potencial como indicador, a vegetação é um tema muito valorizado. É um elemento muito sensível às condições e tendências da paisagem, reagindo distinta e rapidamente às variações. Seu estudo permite conhecer, por um lado, as condições naturais do território e, por outro lado, as

influências antrópicas recebidas, podendo-se inferir, globalmente, a qualidade do meio. A delimitação da vegetação em datas diferentes indica as mudanças, sua direção e a velocidade ao longo do tempo, permitindo reconstruir os cenários passados, compreender o cenário atual e modelar cenários futuros. Além disso, o mapeamento da vegetação é a forma mais comum encontrada para a tomada de decisões relativas à conservação de ecossistemas naturais ou à recuperação da cobertura vegetal.

1.1 Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas

Uma das mais importantes ferramentas para o monitoramento ambiental das mudanças das paisagens consiste no uso de dados provenientes de sensores a bordo de aeronaves e satélites, aspecto que permite a cobertura de extensas áreas, aumento da abrangência do monitoramento e a diminuição dos custos. Além disso, as imagens de satélite apresentam características de repetitividade que permitem seguir os processos ambientais ao longo do tempo (Batistella e Moran, 2008).

De acordo com Lillesand e Kiefer (2004), Sensoriamento Remoto consiste na ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um instrumento que não está em contato com o alvo sob investigação. Em termos gerais, a interpretação das imagens obtidas pelos sensores remotos permite a elaboração de mapas que expressam as classes de uso e cobertura da terra e o acompanhamento das mudanças espaciais e temporais da paisagem (Santos, 2004).

Segundo Lang e Blaschke (2009), as ações de planejamento das paisagens e do meio ambiente permitiram o surgimento das raízes dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que utilizam operações matemáticas e métodos computacionais para o tratamento das informações digitais. Entre as principais utilizações destacam-se a produção de mapas, a análise espacial e o banco de dados geográfico, com funções de armazenamento, cruzamento e recuperação de dados (Câmara e Medeiros, 1998). Na opinião de Zev Naveh (1995), os SIGs e o Sensoriamento Remoto consistem nas “*mais importantes ferramentas holísticas para a análise, planejamento e gestão da paisagem*”, podendo fornecer valiosas contribuições no apoio aos cada vez mais complexos projetos de planejamento.

Da mesma forma que a evolução dos SIGs, o desenvolvimento e a utilização de imagens de satélite está em constante avanço, principalmente no acompanhamento do desmatamento, na preservação ambiental e na identificação de impactos causados pela ação humana (Florenzano, 2002). Depois de mais de 40 anos de desenvolvimento, os SIGs apresentam grande número de métodos e aplicações, mas o potencial ainda é bem maior do que o utilizado atualmente (Lang e Blaschke, 2009).

1.2 Análise Temporal da Paisagem

O advento dos satélites de sensoriamento remoto tem favorecido a realização de levantamentos das variações da superfície terrestre em áreas extensas e inóspitas à distância, favorecendo, principalmente, os mapeamentos e monitoramentos sazonais da superfície da Terra. A análise de apenas uma data de dados obtidos por sensores remotos visando extrair informações importantes de variáveis biofísicas da paisagem frequentemente é de grande valor. Porém, quando se pretende analisar a dinâmica de ecossistema, é necessário monitorá-la através do tempo e determinar as sucessões das mudanças (Jensen, 2009).

A disponibilidade de imagens de satélite, de uma mesma região da Terra, espaçadas no tempo, e das ferramentas computacionais presentes nos SIGs permitem que sejam elaboradas comparações, utilizando a dimensão temporal como uma qualidade dos dados adquiridos nos distintos instantes, qualificando as informações obtidas. Esta função do sensoriamento remoto, destinada à análise dos fenômenos temporais é conhecida por Detecção de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra ou Análise Temporal (Huang et al., 2000).

Para Carvalho Júnior et al. (2005), os estudos de análise temporal cada vez mais se intensificam, considerando as características espectrais das imagens de satélite. Esses procedimentos permitem o desenvolvimento de monitoramentos sazonais da superfície da Terra, como por exemplo, na evolução dos desmatamentos, crescimento urbano, monitoramento agrícola, entre outras aplicações.

Segundo Reitz et al., (1983), o Rio Grande do Sul sofreu um declínio representativo na cobertura vegetal desde o século passado, principalmente a partir das imigrações alemã e italiana. Na atualidade existem resquícios de mata nativa somente nas regiões marginais dos cursos de água, em áreas de maior altitude e declividade e em poucas zonas preservadas. Estudos recentes apontaram que a área coberta por florestas naturais no Estado do Rio Grande do Sul aumentou 11,91% de 1982 a 2000 utilizando análises e interpretações de imagens de satélites. A área atual é composta por 13,5% de florestas nativas em estágio médio e avançado e 4,03% em estágio inicial de sucessão (Rio Grande do Sul, 2002).

Estudos de evolução temporal realizados em uma bacia hidrográfica localizada próxima à área de estudo e com características físicas semelhantes apresentaram resultados similares aos obtidos no Estado do RS (Rempel et al., 2001). Outro estudo de evolução temporal do uso e cobertura da terra foi realizado no município de Teutônia por Altmann et al. (2009). Esse último estudo apontou, inclusive, uma intensificação na regeneração das áreas com vegetação nativa, indicando que existe uma tendência natural e atual de regeneração e recuperação das áreas florestais suprimidas no passado nas regiões serranas do Rio Grande do Sul.

O presente estudo visa realizar a análise temporal das áreas florestais nativas da paisagem do município de Roca Sales (Figura 1), localizado na região do Vale do Taquari, no estado do Rio Grande do Sul. A análise temporal foi realizada com imagens TM do satélite Landsat 5, entre os anos de 1989, 1999 e 2009.

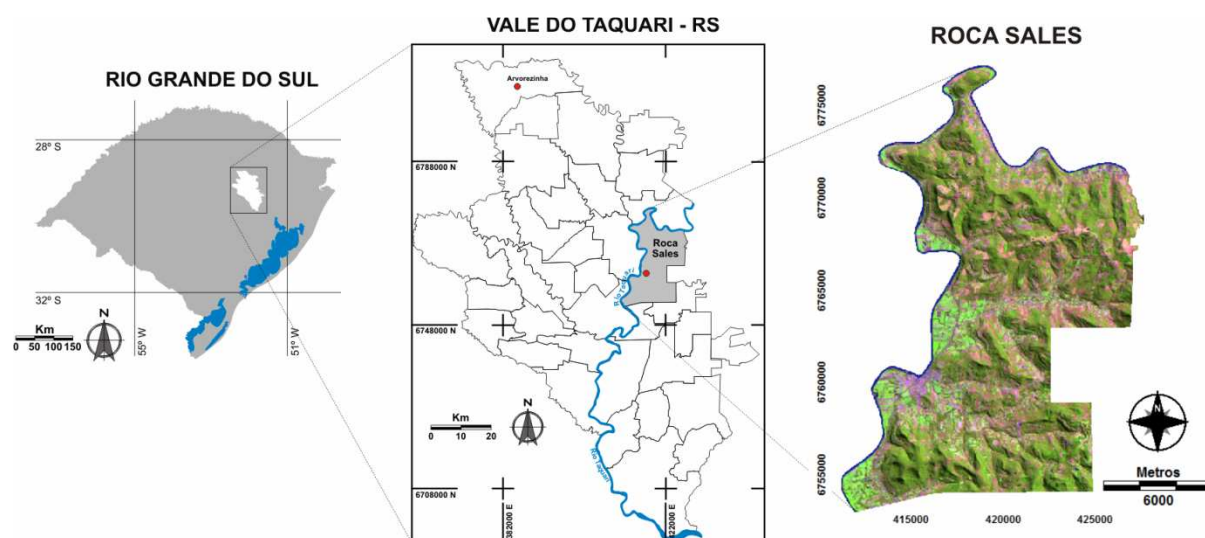


Figura 1. Localização do município de Roca Sales.

2. Metodologia de Trabalho

A análise temporal da cobertura vegetal nativa, proposta de ser realizada no município de Roca Sales, foi realizada a partir de um conjunto de imagens TM do satélite Landsat 5, obtidas gratuitamente do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. A investigação foi realizada para os anos de 1989, 1999 e 2009, período que compreende 20 anos. A Tabela 1 apresenta a relação e as principais características das imagens de satélite utilizadas na análise temporal proposta.

Tabela 1. Relação das imagens TM do satélite Landsat 5 utilizadas no estudo.

Data da Imagem	Satélite	Órbita - Ponto	Resolução Espacial	Bandas Usadas
20/09/1989	Landsat 5	221-080	30 m	3, 4 e 5
16/09/1999	Landsat 5	221-080	30 m	3, 4 e 5
26/08/2009	Landsat 5	221-080	30 m	3, 4 e 5

2.1 Materiais e Softwares Utilizados

- Bandas TM 3, 4 e 5 do satélite Landsat 5 dos anos de 1989, 1999 e 2009;
- Cartas topográficas em escala 1:50.000;
- GPS - Global Positioning System;
- Software Envi 4.5;
- Software Idrisi Andes.

2.2 Procedimentos Metodológicos

2.2.1 Pré-Processamento das Imagens de Satélite

Os procedimentos metodológicos relacionados com o pré-processamento das imagens de satélite apresentadas na Tabela 1, como a correção radiométrica, o georreferenciamento e o recorte foram realizados no software ENVI 4.5, enquanto que a classificação das imagens de satélites e a análise temporal foram executadas no SIG Idrisi Andes. Foram utilizadas as bandas 3 (Vermelho), 4 (Infravermelho Próximo) e 5 (Infravermelho Médio) do satélite Landsat 5 dos anos de 1989, 1999 e 2009.

O georreferenciamento consiste em um processo que concede a uma imagem um sistema de coordenadas e corrige as deformações decorrentes do processo de aquisição. O georreferenciamento foi realizado na imagem de 2009, utilizando 15 pontos de controle medidos nas cartas topográficas elaboradas pelo Serviço Geográfico do Exército, em escala 1:50.000. O erro médio quadrático (RMS) do georreferenciamento foi controlado com valor inferior a 1 pixel, ou seja, inferior a 30 metros. As imagens de satélite de 1989 e 1999 foram registradas utilizando a imagem georreferenciada de 2009 como referência. Esta etapa também foi realizada com a marcação de 15 pontos de controle, com controle do RMS de até 1 pixel. A distribuição dos pontos de controle foi realizada de modo que cada quadrante da área de estudo recebesse, pelo menos, 20% do total de pontos. Por último, a disponibilidade do limite municipal de Roca Sales permitiu a criação de uma máscara para realizar o recorte das bandas georreferenciadas do conjunto de imagens.

2.2.2 Mapeamento das Áreas Florestais Nativas

As áreas florestais nativas de Roca Sales foram classificadas pelo método supervisionado da Máxima Verossimilhança Gaussiana. Este classificador utiliza apenas a informação espectral de cada pixel para definir regiões homogêneas e se fundamenta em métodos estatísticos (Ponzoni e Chimabukuru, 2007). As amostras de treinamento utilizadas para treinar o classificador foram coletadas sobre uma composição colorida, procurando compreender toda a variação dos níveis de cinza das áreas florestais nativas. As imagens temáticas resultantes das áreas florestais, para cada ano analisado, foram validadas de forma heurística e com pontos de controle terrestres medidos em campo com GPS. A técnica de classificação digital utilizada consiste em um método pelo qual os pixels da imagem são associados a classes temáticas, de acordo com características espectrais. A classificação digital é um processo de reconhecimento de padrões e de objetos homogêneos e aplica-se ao mapeamento de áreas consideradas pertencentes a uma única classe de objetos que constituem a legenda do mapeamento pretendido.

2.2.3 Mapeamento das Áreas de Uso Antrópico

Em virtude do estudo focar a dinâmica espaço-temporal das áreas florestais nativas, a área urbanizada em cada período foi vetorizada com o auxílio das composições coloridas RGB543 e da Banda 3 de cada ano avaliado. Os demais usos antrópicos (agricultura, pastagens e solo exposto) foram agrupados em uma única classe temática, representada pelas áreas de uso antrópico. Assim sendo, com o uso de álgebra de mapas serão gerados os mapas temáticos do uso e cobertura da terra de cada ano analisado.

2.2.4 Análise Temporal da Paisagem

Uma vez que as imagens a serem utilizadas no estudo são do mesmo satélite e apresentam resolução espacial igual (30 metros), uma série de técnicas de análise temporal pode ser aplicada diretamente ao conjunto de imagens. Podem ser implementadas desde comparações ou mesmo razões diretas entre as bandas entre os distintos períodos de tempo na determinação das mudanças ou determinar as mudanças da paisagem com base na comparação dos resultados advindos do processo de classificação supervisionado da imagem de satélite de cada período (Altmann et al., 2009).

De acordo com Coppin et al., (2004), a principal vantagem dessa última técnica reside na independência entre as imagens temporais, fato que minimiza os problemas de correção e de normalização radiométrica, além de que, acessoriamente, um bom esquema de classificação pode auxiliar no foco da detecção de mudanças ao isolar as transformações que não importam. Assim sendo, optou-se por analisar a evolução temporal da paisagem de Roca Sales com base nos resultados advindos dos processos de classificação das imagens de 1989, 1999 e 2009.

3. Resultados e Discussão

Os resultados apresentados na sequência indicam a situação de uso e cobertura da terra do município de Roca Sales, com base na interpretação e classificação das imagens TM do satélite Landsat dos anos de 1989, 1999 e 2009.

3.1 Uso e Cobertura da Terra de 1989

A análise da imagem de satélite de 1989 revelou que 28,57% do município conservavam fragmentos florestais nativos, enquanto as áreas de uso agropecuário somavam 68,85% da área. A área urbanizada e os cursos de água representavam, respectivamente, 0,48% e 2,10% da área do município (Tabela 2).

Tabela 2. Cenário da situação de uso e cobertura da terra de Roca Sales em 1989.

Classe de Uso da Terra	Área (km ²)	%
Usos Antrópicos	143,45	68,85
Floresta Nativa*	59,52	28,57
Área Urbanizada	0,99	0,48
Rio Taquari	4,38	2,10
Total	208,34	100,00

* Floresta Estacional Decidual (Bioma Mata Atlântica) em estágio intermediário e avançado de regeneração.

3.2 Uso e Cobertura da Terra de 1999

A análise da imagem de satélite de 1999 revelou uma tendência de redução das áreas de uso agropecuário e um consecutivo aumento das áreas florestais nativas e da área urbanizada em relação à década anterior. A dinâmica da paisagem do município indica que as áreas de uso agropecuário abandonadas foram, progressivamente, regenerando vegetação dentro de um processo natural. Em 1999 as áreas florestais nativas somavam 35,50%, as áreas de uso agropecuário totalizavam 61,78%, a drenagem manteve uma área relativa de 2,10% e as áreas

urbanizadas cresceram 0,61% da área do município (Tabela 3). As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, o cenário do uso e cobertura da terra dos anos de 1989 e 1999.

Tabela 3. Cenário da situação de uso e cobertura da terra de Roca Sales em 1999.

Classe de Uso da Terra	Área (km ²)	%
Usos Antrópicos	128,72	61,78
Floresta Nativa*	73,97	35,50
Área Urbanizada	1,27	0,61
Rio Taquari	4,38	2,10
Total	208,34	100,00

* Floresta Estacional Decidual (Bioma Mata Atlântica) em estágio intermediário e avançado de regeneração.

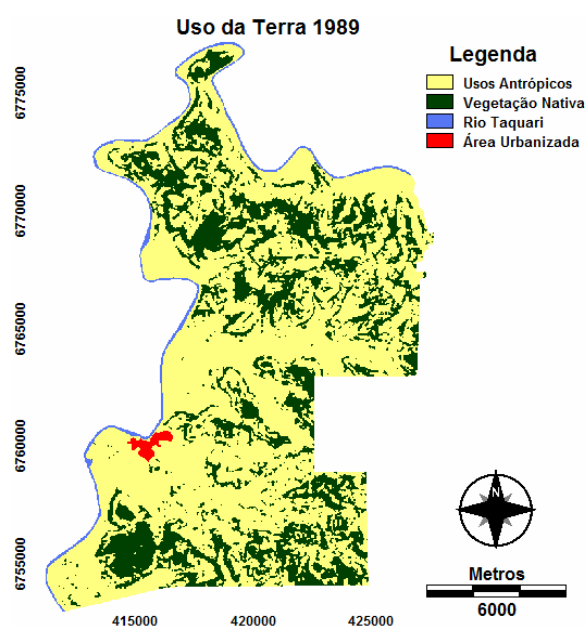


Figura 2. Uso da Terra de Roca Sales de 1989.

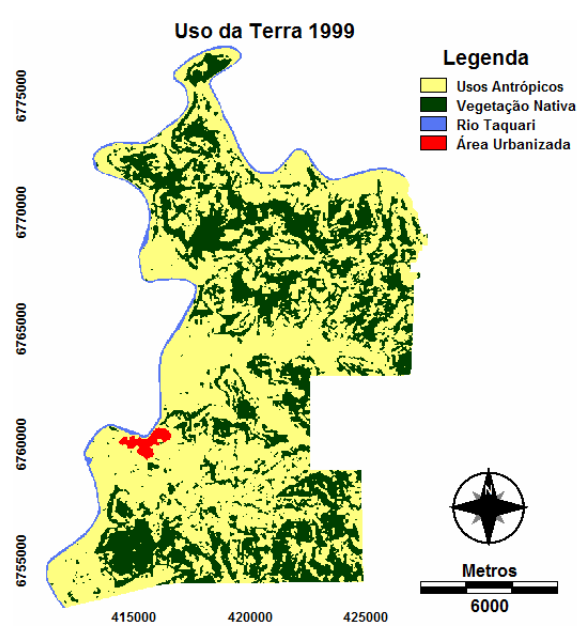


Figura 3. Uso da Terra de Roca Sales de 1999.

3.3 Uso e Cobertura da Terra de 2009

A análise da imagem de satélite de 2009 representa a situação atual do uso da terra do município e confirmou a tendência de regeneração das áreas florestais em áreas de uso agropecuário abandonadas. O abandono dessas áreas de uso agropecuário, possivelmente, esteve relacionado com a alteração do sistema de produção agropecuário para a suinocultura e a avicultura, ambas com forte representação na economia do município. Ao mesmo tempo, também ocorreu êxodo rural, levando diversas famílias a fixarem moradia e exercerem atividades remuneradas na área urbana de Roca Sales e em outras cidades, processo que foi registrado em todo o Brasil. A Tabela 4 apresenta o cenário de uso da terra de Roca Sales, enquanto a Figura 4 apresenta o mapa de uso e a Figura 5 a fisionomia da vegetação nativa.

Tabela 4. Cenário da situação de uso e cobertura da terra de Roca Sales em 2009.

Classe de Uso da Terra	Área (km ²)	%
Usos Antrópicos	97,28	46,69
Floresta Nativa*	105,03	50,41
Área Urbanizada	1,65	0,79
Rio Taquari	4,38	2,10
Total	208,34	100,00

* Floresta Estacional Decidual (Bioma Mata Atlântica) em estágio intermediário e avançado de regeneração.

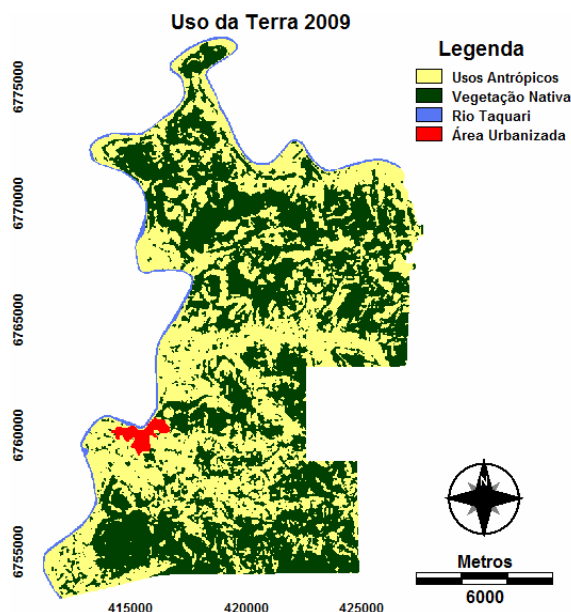


Figura 4. Uso da Terra de Roca Sales de 2009.



Figura 5. Fisionomia da vegetação nativa.

3.4 Dinâmica da Paisagem do Município de Roca Sales de 1989 - 2009

A configuração espacial da paisagem, expressa pelos mapas de uso e cobertura da terra, decorre das ações naturais e antrópicas sobre esta. Assim sendo, a dinâmica da paisagem envolve, basicamente, a evolução espacial do sistema ao longo do tempo. A Figura 6 e a Tabela 5 apresentam a síntese das mudanças e as taxas das variações das classes de uso e cobertura da terra analisadas na paisagem de Roca Sales no período de 1989 a 2009.

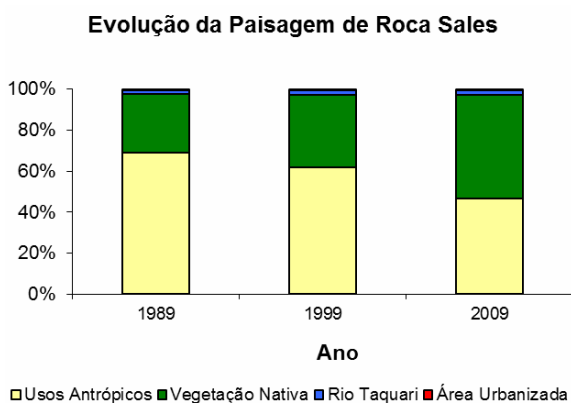


Figura 6. Dinâmica da paisagem de Roca Sales.

Tabela 5. Variação das taxas das classes de uso e cobertura da terra de Roca Sales.

Classes de Uso	1989	2009	Δ %
Usos Antrópicos	143,45	97,28	-32,18
Vegetação Nativa	59,52	105,03	+76,45
Rio Taquari	4,38	4,38	0,00
Área Urbanizada	0,99	1,64	+66,76
TOTAL	208,34	208,34	-

A análise do gráfico acima e da Tabela 5 apontam que as áreas florestais aumentaram 76,45% nos últimos 20 anos no município de Roca Sales. Em 1989 as áreas florestais representavam 28,57% da área do município e em 2009 passaram a representar a matriz da paisagem com 50,41%. A análise do cenário de uso da terra de 2009 permite constatar um processo de densificação das áreas florestais, decorrente do processo natural de regeneração das áreas de uso agropecuário abandonadas em terrenos com declividades acentuadas.

As áreas de uso agropecuário registraram redução ao longo do período analisado, passando de 68,85% a 46,69% da área do município em 20 anos. Ao observar o mapa de uso e cobertura da terra no último período analisado, percebeu-se que as áreas de uso agropecuário, apesar de apresentarem tendência de redução da área total utilizada, mantiveram-se nas áreas mais planas pela possibilidade de mecanização da produção e pela maior produtividade.

4 Conclusões

A recuperação florestal constatada neste estudo no município de Roca Sales segue uma tendência registrada em todo o estado do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2002), em bacias hidrográficas (Rempel et al., 2001) e municípios da região (Altmann et al., 2009). Esta tendência é altamente positiva sob o aspecto ambiental, visto que reduz a pressão sobre o solo e os recursos hídricos, além de criar condições mais favoráveis para que a fauna encontre alimentos e abrigo. A detecção de mudanças do uso e cobertura da terra por sensoriamento remoto permite reconstituir como determinada área foi utilizada em cada período de tempo, e assim, compreender a dinâmica da paisagem. Caso a tendência de alteração da paisagem se mantiver em taxas semelhantes, existe possibilidade de estimar cenários futuros.

Referências Bibliográficas

Altmann, A. L.; Eckhardt, R. R.; Rempel, C. **Evolução temporal do uso e cobertura da terra - estudo de caso no município de Teutônia - RS - Brasil**. Revista Brasileira de Cartografia, nº 61/03, 2009. p 273-283.

Batistella, M.; Moran, E. F. **Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.

Bertrand, G. **Paysage et Géographie Physique Globale: esquisse methodologique**. Revue Géographique des Pyrenées et du Sud-Ouest, v.39, n.3, p. 249-72, 1968.

Câmara, G.; Medeiros, J. S. **Princípios básicos em geoprocessamento**. In: Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. Assad, E. D.; Sano, E. E. (Ed.). Brasília: Embrapa, 1998. p. 3-11.

Carvalho Júnior, O. A.; Guimarães, R. F.; Carvalho, A. P. F.; Gomes, R. A. T.; Melo, A. F.; Silva, P. A. **Processamento e análise de imagens multitemporais para o perímetro de irrigação de Gorutuba (MG)**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005. Anais. INPE, p. 473-480, 2005.

Coppin, P.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B.; Lambin, E. **Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review**. International Journal of Remote Sensing. Taylor e Francis Ltda, n. 9, p. 1565-1596, 10 mai. 2004.

Florenzano, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002, 97 p.

Huang, C. Townshend, J. R. G.; Xiwu, Z. Hansen, M.; Defries, R.; Sohlberg, R. **Detecting land cover changes based on their trajectories in the spectral space**. In: Geosciences and Remote Sensing Symposium. Proceedings, IGARSS, IEEE International, vol. 5, p. 1984-1986, 2000.

Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Lang, S.; Blaschke, T. (Org.) **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2008. 283 p.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. Nova York: John Wiley, 2004.

Naveh, Z. **Interactions of landscape and cultures**. Landscape and Urban Planning, 32, 43-54. 1995.

Ponzoni, F. J.; Chimabukuru, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 136 p.

Reitz, R.; Klein, R.M.; Reis, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Sellowia, Itajaí, v. 34/35, n. 34/35, p. 5-483, 1983.

Rempel, C.; Suertegaray, D.; Jasper, A. **Aplicação do sensoriamento remoto para determinação da evolução da mata nativa da bacia hidrográfica do Rio Forqueta - RS entre 1985 e 1995**. Pesquisas Caderno de Botânica, São Leopoldo, v. 51, n. 1, p. 101-112, 2001.

Rio Grande do Sul. Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFSM / SEMA, 2002. Disponível em <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/index.php>> Acesso: 15 de janeiro 2009.

Santos, R. F. dos. **Planejamento Ambiental - teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

Soares Filho, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. 299 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 1998.