

MAPEAMENTO E ANÁLISE DA DINÂMICA DE OCUPAÇÃO NA BACIA DE ENTRE-RIBEIROS – MG, NOS ANOS DE 1975, 1989 E 2008.

Vitor Vieira **VASCONCELOS**

Consultor Legislativo de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável na Assembleia Legislativa de Minas Gerais, Doutorando em Geologia, Mestre em Geografia, Especialista em Solos e Meio Ambiente, Bacharel em Filosofia, Bacharelando em Geografia, Técnico em Meio Ambiente, Técnico em Informática Industrial. Autor para contato: vitor.v.v@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8151243279050980>

Renato Moreira **HADDAD**

Doutor em Ciência da Computação, Mestre em Engenharia Eletrônica e Computação, Bacharel em Engenharia Mecânica. Pró-Reitor da PUC-Minas, Campus Barreiro. Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial da PUC-Minas. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0625949821838160>

Paulo Pereira **MARTINS JUNIOR**

Doutor em Geologia. Pesquisador pleno na Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC-MG. Professor na Universidade Federal de Ouro Preto. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1323327733767945>

Resumo: Por meio de sensoriamento remoto e de estudos do uso do solo já existentes, foi proposto um mapeamento multi-temporal de ocupação para a Bacia do Ribeirão Entre-Ribeiros. Foram mapeados os anos de 1975, 1989 e 2008, conjugando técnicas de Análise de Componentes Principais e *Tasseled Cap*. Em seguida, foram perquiridos e comparados os mapas dos períodos analisados, ao que se demonstrou o avanço das áreas agrícolas, especialmente as de irrigação. Foi realizada, também, uma análise das relações entre processos econômicos, ambientais e sociais. Por fim, procurou-se avaliar como as transformações verificadas no uso do solo estão vinculadas aos atributos ambientais da região de estudo e aos sistemas produtivos agropecuários. Constatou-se como o avanço da ocupação agrícola nas áreas mais planas de baixada, especialmente a de agricultura irrigada, impeliu as áreas com predomínio de pecuária para as regiões de relevo ondulado e suave ondulado, o que ocasionou uma maior destruição e fragmentação dos ecossistemas naturais.

Palavras Chave: Agropecuária. Sensoriamento Remoto. Análise de Componentes Principais. *Tasseled Cap*. Uso do Solo. Meio Ambiente.

MAPPING AND OCCUPATION SYSTEMS DYNAMIC ANALYSIS OF ENTRE-RIBEIROS BASIN – MINAS GERAIS STATE, ON THE YEARS OF 1975, 1989 AND 2008.

Abstract: By means of remote sensing and land use studies, a multi-temporal occupation mapping is proposed for Entre-Ribeiros Basin, referring to the years of 1975, 1989 and 2008. For remote sensing work, the techniques of Principal Component Analysis and Tasseled Cap were used. Following, the maps are analyzed and compared among each other, demonstrating the spreading of agriculture, specially the irrigated crops. It was important to uphold the systemic analysis approach and the liaison among the economic, environment and social process. The aim was to assess how the land use trends are related to the Entre-Ribeiros environmental attributes and to the rural production systems. The agriculture, specially the irrigated crops, has advanced over the plain areas, driving the cattle rising to the areas of wavy relief. The overall land use history led to the deforestation and fragmentation of natural ecosystems.

Key-words: Agriculture. Remote Sensing. Principal Component Analysis. Tasseled Cap. Land use. Environment.

MAPEO Y ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE LA OCUPACIÓN DE LA CUENCA DE ENTRE-RIBEIROS – MG, EN LOS AÑOS DE 1975, 1989 Y 2008

Resumen: Empleando teledetección e estudios de uso del suelo existentes, fue propuesto un mapeo multitemporal de ocupación de la Cuenca de el Ribeirão Entre-Ribeiros. Fueron mapeados los años de 1975, 1989 y 2008, conjugando técnicas de Análisis de Componentes Principales y *Tasseled Cap*. Luego, fueron perquiridos y comparados los mapas de los períodos analizados, a lo que se demostró el avance de las áreas agrícolas, especialmente las de irrigación. Se realizó, también, un análisis de las relaciones entre los procesos económicos, ambientales y sociales. Por último, procuró-se evaluar cómo los cambios observados en el uso del suelo están vinculadas a los atributos ambientales de la zona de estudio e a los sistemas productivos agropecuarios. Constató-se como lo avance de la ocupación agrícola en las áreas más llanas de las bajadas, especialmente a de la agricultura irrigada, impelió las áreas con predominio de la ganadería para las regiones de relevo ondulado y suave ondulado, lo que ocasionó una mayor deforestación y fragmentación de los ecosistemas naturales.

Palabras-llave: Agropecuaria. Teledetección. Análisis de Componentes Principales. Tasseled Cap. Uso del Suelo. Medio Ambiente.

INTRODUÇÃO

No mapeamento de ocupação territorial, compreendidos nestes os trabalhos orientados a atividades agrícolas, o uso dos sistemas de informações geográficas (SIG), associado a técnicas de sensoriamento remoto, tem-se mostrado como importante ferramenta. Os SIGs possibilitam, pois, criar de forma prática, rápida e menos onerosa, bancos de dados e documentos cartográficos com as mais diversas informações relacionadas às condições de

solos, sistemas produtivos e clima, que servirão de base para o adequado planejamento e monitoramento de diversas áreas.

O sensoriamento remoto pode ser entendido como o conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas, fenômenos), através do registro da interação da radiação eletromagnética com a superfície, realizado por sensores distantes, ou seja, remotos. Dentre as técnicas de sensoriamento remoto para mapeamento, destaca-se a de Análise de Componentes Principais – ACP. Esta transformação geoestatística permite a análise da variância global da resposta às imagens de satélite (COSTA, MARCO e BRITES, 2006). A ACP amortiza a redundância espectral entre as bandas a partir da rotação do sistema de referência no espaço de atributos, alinhando os eixos com os principais vetores de variabilidade do conjunto de dados; de tal modo que o eixo original é rotacionado a fim de coincidir com as direções de máxima ou mínima variância do dado, mantendo sempre a ortogonalidade do sistema de referência (AFFONSO, 2003, p. 26 e 27; MATHER, 1999). Produz-se, com isso, um conjunto reduzido de bandas que representam a maior parte das informações das bandas originais.

Outra técnica de sensoriamento remoto de grande utilidade para esse contexto é a de Tasseled Cap (KAUTH, THOMAS, 1976), a qual seleciona as características de refletância mais significativas para o estudo de vegetação. A técnica de Tasseled Cap fundamenta-se no contraste espectral entre a vegetação e os atributos de solos (COSTA, MARCO e BRITES, 2006). A partir do espaço tridimensional espectral da vegetação, realiza-se uma transformação linear que rotaciona os dados a novos eixos. Esses novos eixos, por sua vez, estão correlacionados a características físicas da vegetação, quais sejam: verdor, brilho e umidade (AFFONSO, 2003, p. 25 e 26). Cohen *et al.* (1995) demonstram que esses componentes também se mostram potencialmente úteis para identificar atributos vegetacionais como espécie, estrutura e estágio sucessional.

O mapeamento convencional de cobertura vegetal apresenta-se como um retrato estático e rígido da área de estudo. Ao passo que o mapeamento de sistemas de ocupação, proposto neste artigo, consiste em uma postura conceitual e epistemológica que se inicia pela compreensão da estrutura social e ambiental existente na cena, e que procura ir mais além do que apenas identificar uma cobertura diferenciada do solo. O mapeamento de sistemas de ocupação permite captar com mais clareza os processos dinâmicos de variação de uso do solo, bem como propicia um entendimento mais evidente das estruturas sociais e econômicas que

sustentam essas formas de ocupação. Ademais, por resultarem em mapas mais abstratos (com maior convergência de informações e menor número de classes), tornam possível (A) uma melhor comparação entre os diversos cenários temporais e (B) uma análise clara das tendências de ocupação ao longo do tempo histórico.

Neste artigo foram realizados mapeamentos de ocupação do solo para os anos de 1975, 1989 e 2008, utilizando de estudos de mapeamento existentes, de técnicas de sensoriamento remoto (Análise de refletância de bandas, Análise de Componentes Principais e Tasseled Cap), bem como trabalhos de campo e pesquisa junto à comunidade local. Como objetivo geral, pretende-se obter uma análise comparada que torne possível, de maneira consistente, refletir sobre a extensão espacial dos impactos ambientais sobre solos, recursos hídricos e biológicos, de maneira direcionada às atividades econômicas. Com isso, procura-se contribuir para o aprimoramento das técnicas de mapeamento, assim como fornecer subsídios para uma melhor compreensão do espaço na bacia hidrográfica em estudo.

METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia de mapeamento em cenários temporais baseou-se nas orientações de Santos (2004) e Castro (2005). Desta forma, pretende-se proporcionar três momentos diferenciados no tempo, cuja análise tornou possível investigar os processos históricos de ocupação do solo.

Descrição da Área

Os estudos apresentados referem-se à Bacia de Entre-Ribeiros, a qual se localiza no Noroeste de Minas Gerais e possui aproximadamente 3.900 km² (Figuras 1 e 2). O Ribeirão Entre-Ribeiros é contribuinte da Bacia do Rio Paracatu que, por sua vez, aflui para o Rio São Francisco. A região do Entre-Ribeiros possui clima tropical chuvoso, planaltos suaves, predominância do Latossolo – solos antigos, profundos e com baixa predisposição natural à erosão, bom potencial agrícola, relacionado a relevos planos (ANDRADE, 2007). Os tipos de vegetação existente são: veredas, cerradão, campo cerrado, parque de cerrado. Também estão presentes na sub-bacia, ecossistemas de mata fluvial ciliar e mata seca (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, 1989), bem como sistemas hidromórficos como lagoas marginais e campos hidromórficos (RURALMINAS, 1996).

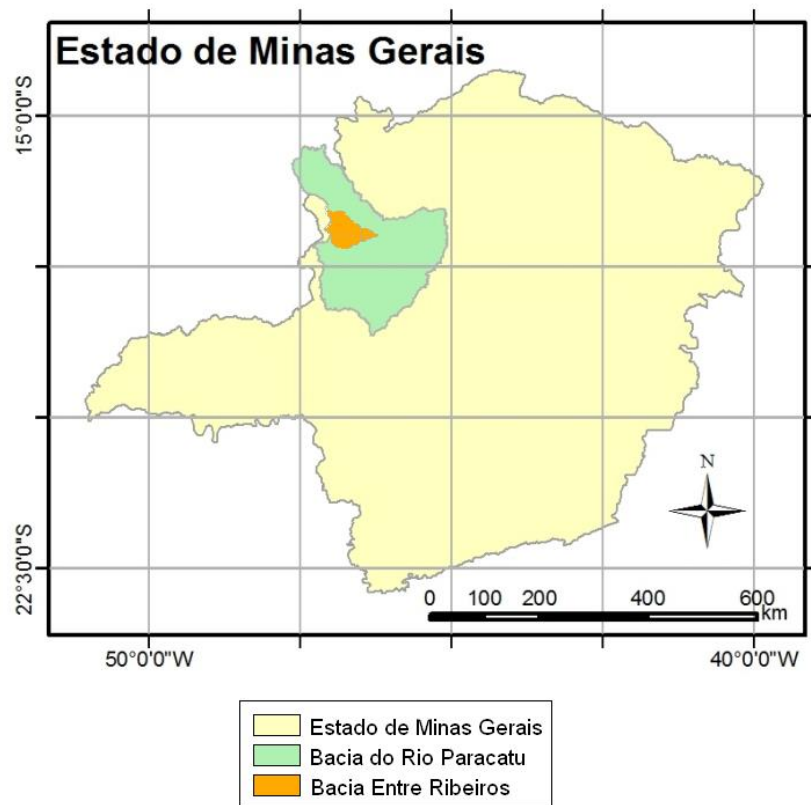


Figura 1 – Localização da Sub-Bacia de Entre-Ribeiros na Bacia do Rio Paracatu e, por sua vez, no Estado de Minas Gerais.

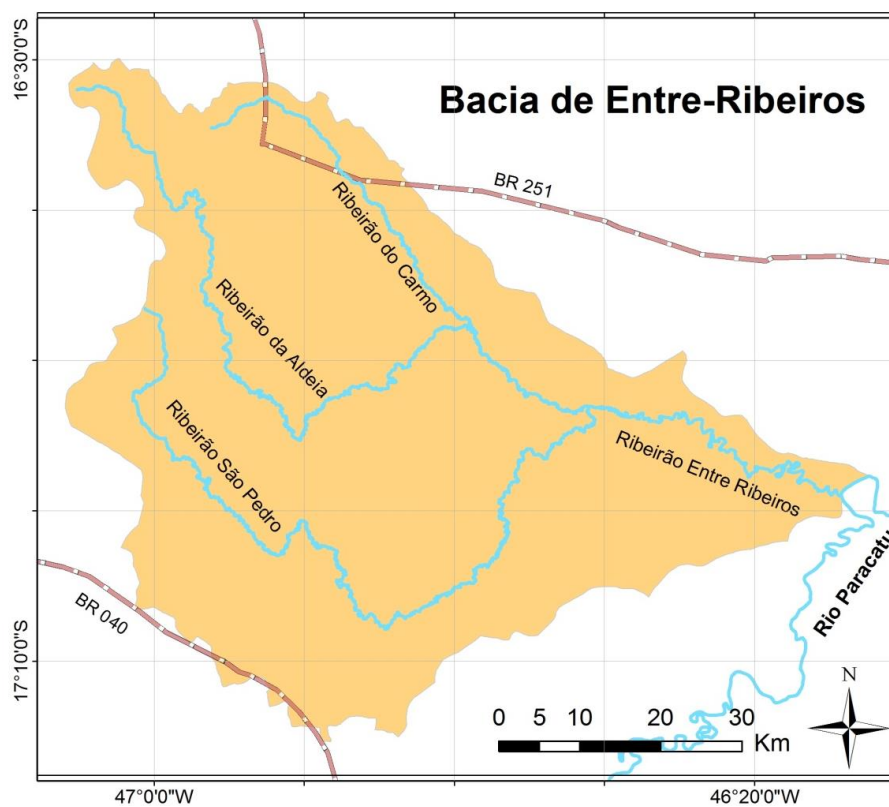


Figura 2 – Hidrografia Simplificada da Bacia do Ribeirão Entre Ribeiros

BASES DE DADOS E DEMAIS FONTES DE INFORMAÇÃO

O Mapeamento, Inventário e Monitoramento da Cobertura Vegetal Nativa e de Florestas Plantadas em Parte do Estado de Minas Gerais, realizado pela Fundação Centro-Tecnológico de Minas Gerais, em 1989, apresenta o estudo mais detalhado existente sobre vegetação e uso do solo para a região. O estudo supracitado foi realizado a partir de extensos levantamentos de campo e interpretação de imagens de satélite, proporcionando um mapeamento na escala de 1:100.000. Para complementação ao cenário de ocupação do solo de 1989, o presente trabalho utilizou imagens Landsat 5 TM, que permitiram acrescentar informações sobre as áreas de irrigação por pivôs de aspersão central. Optou-se por não utilizar o mapeamento da flora do Inventário Florestal de Minas Gerais de 2005-2007 (CARVALHO; SCOLFORO, 2008), em virtude das diversas inconsistências desse mapeamento com a realidade de campo local, conforme constatado por Martins Junior (2009).

Escolheu-se a data de 13/9/1975 (Landsat 1 MSS – bandas 4, 5, 6 e 7) como primeira imagem de satélite para cenário inicial, pois a principal fase de desenvolvimento na região começa no fim da década de 1970, devido a incentivos governamentais para projetos agropecuários (MOREIRA, 2006, p. 16; ANDRADE, 2007, p. 90 e 91; PRUSKY *et al.*, 2007, p. 173). As limitações da escala de detalhamento (resolução espacial) do sensor Landsat 1 MSS ocasionaram uma escolha de um levantamento de uso do solo para uma escala de 1:250.000.

Os estudos de variação de uso do solo em 1975 e 2008 também tomaram por referência as observações sobre vegetação realizadas no estudo da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, de 1989, contrastando com as modificações de ocupação pelo desenvolvimento dos sistemas agropecuários observadas nas imagens de satélite Landsat 5, bandas 2,3,4, 5 e 7, nas datas de 5/8/1989 e 6/6/2008. Adicionalmente, também foram tomados como referência os mapas de vegetação e uso do solo realizados por Assad *et al.* (1991) e Assad *et al.* (1992), Santos (2004, 2005a, 2005b, 2005c e 2006), Andrade (2007), Latuf (2007) e Latuf *et al.* (2007). A recorrência aos estudos de vegetação e uso do solo de pesquisadores de notória competência técnica traz consistência adicional aos produtos apresentados. Contudo, as atividades de campo realizadas de 2002 a 2009 também foram uma importante fonte de validação do mapeamento, mormente para o cenário de 2008.

Tipologia de Ecossistemas e Sistemas de Ocupação

Na análise dos cenários de uso do solo de 1975 e 2008, optou-se por não seguir o mesmo detalhamento em relação à tipologia do mapeamento de 1989 da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Primeiramente, as campanhas de campo nesta pesquisa não permitiram a realização de uma classificação minuciosa quanto aos aspectos de sucessão ecológica dos ecossistemas nativos, bem como sobre os aspectos espaciais cíclicos de curto prazo dos sistemas agrícolas. Ademais, a classificação será direcionada aos objetivos de análise deste artigo. Nesse aspecto, mostra-se crucial demonstrar o avanço dos sistemas agroeconômicos sobre as áreas preservadas.

Portanto, as classes de campo cerrado, cerrado em regeneração, cerrado denso e cerrado *strictu senso* foram agrupadas sobre a tipologia geral de Cerrado. As matas fluviais, veredas de buritizais e mata seca foram agrupadas sobre a tipologia de Mata. Escolheu-se por separar os sistemas de Agricultura Tradicional dos sistemas de Agricultura Irrigada, pois representam características bastante distintas em relação à utilização dos recursos naturais, à tecnologia de manejo e à inserção econômica. No mapeamento de 2008, foram acrescentados os sistemas de reflorestamento e de assentamentos de reforma agrária, que trouxeram uma nova diversidade de paisagens para a região.

Técnicas de Mapeamento e de Sensoriamento Remoto

As imagens de satélite foram visualizadas e interpretadas utilizando as seguintes metodologias:

- 1) Análise das características de refletância de bandas, em composições RGB. (SAUSEN, 1997; ANDRADE, 2006, p. 35 e 58).
- 2) Redução do espaço n-dimensional das imagens espectrais, utilizando o software Erdas Imagine 9.1 (LEICA GEOSYSTEMS, 2006), com as técnicas de:
 - 2-A) Análise de Componentes Principais – ACP.
 - 2-B) Tasseled Cap.

O reconhecimento e delimitação dos sistemas de ocupação foram realizados por meio da conjugação da bibliografia sobre história do uso do solo na bacia hidrográfica, aliada aos elementos de fotointerpretação de cor, textura e padrões geométricos de uso do solo evidenciadas pelas imagens de satélite. As imagens de satélite de diferentes épocas, comparadas aos mapas de uso do solo disponíveis, tornaram possível identificar a retração ou

expansão de cada um dos sistemas. Para o reconhecimento dos sistemas de assentamentos de reforma agrária, foram utilizadas bases cartográficas cedidas pelo Núcleo de Meio Ambiente e Recursos Naturais do INCRA, Superintendência de Minas Gerais. Para o reconhecimento dos sistemas de agricultura irrigada de alta tecnologia, foi utilizado o reconhecimento pela feição geométrica dos pivôs centrais, conforme recomendado por Schimidt *et al.* (2004) e Braga e Oliveira (2005). Os trabalhos de cartografia, digitalização e geoprocessamento foram realizados no software ArcGis 9.3 (ESRI, 2008).

Campanhas de Campo

As viagens de campo realizadas pelos autores e por outros pesquisadores da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, entre os anos de 2002 a 2009, foram importantes para travar contato mais profundo com a realidade estudada, bem como assegurar a consistência dos produtos gerados neste artigo. As atividades de campo incluíram:

- A marcação de pontos com GPS sobre áreas representativas de cada sistema de ocupação, úteis para a validação do mapeamento referente ao ano de 2008;
- Acesso às áreas de maior altitude da bacia para observação da paisagem, interpretação das imagens de satélite e elaboração de croquis;
- Diálogos com a Associação de Produtores Rurais, com a Emater de Paracatu, com o Comitê de Bacia do Rio Paracatu e com representantes das ONG's atuantes na defesa do meio ambiente do Noroeste de Minas Gerais. Esses diálogos foram importantes para compreender o processo de ocupação da região e os desafios ambientais, sociais e econômicos enfrentados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o processo de interpretação das imagens de sensoriamento remoto, foi possível avaliar as vantagens e limitações dos métodos de composição RGB, ACP e Tasseled Cap. O Quadro 1 apresenta, de modo comparado, essas vantagens e limitações. O Quadro 2 apresenta as imagens de sensoriamento remoto obtidas por cada técnica. A transformação de Tasseled Cap demonstrou ser uma boa solução de compromisso, conjugando parcialmente as vantagens das composições RGB e da Análise de Componentes Principais, haja vista condensar a informação de várias bandas (útil para análise de heterogeneidade espacial), sem perder a explicação física referente ao padrão de cores entre as imagens de épocas diferentes.

Não obstante, o uso conjugado das três metodologias permitiu aproveitar as possibilidades de interpretação visual de cada um de seus produtos de sensoriamento remoto, ampliando a qualidade do mapeamento final.

Quadro 1 – Avaliação dos produtos de Sensoriamento Remoto obtidos

Técnica Utilizada	Avaliação
Composição RGB	<ul style="list-style-type: none"> • Melhor para comparação entre imagens de épocas diferentes <ul style="list-style-type: none"> • Explicação física da refletância • Flexibilidade na troca de bandas • Limite de três bandas por visualização
Análise de Componentes Principais (ACP)	<ul style="list-style-type: none"> • Melhor técnica para analisar heterogeneidade espacial na mesma imagem • Não tão boa para analisar imagens de épocas diferentes
Tasseled Cap	<ul style="list-style-type: none"> • Boa para analisar heterogeneidade espacial na mesma imagem • Boa para comparação entre imagens de épocas diferentes <ul style="list-style-type: none"> • Explicação física indireta da refletância

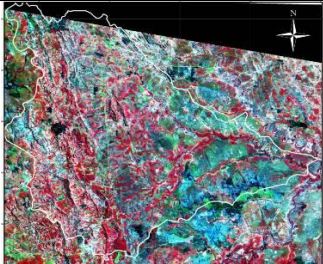
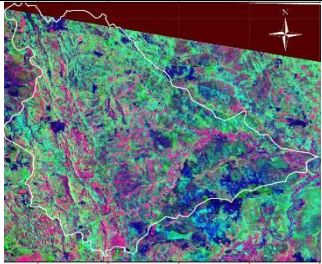
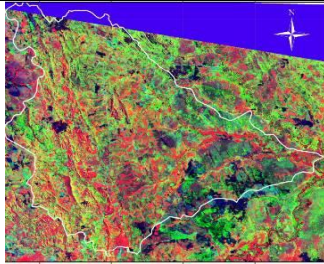
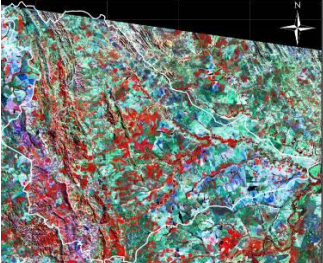
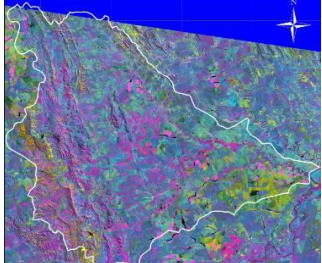

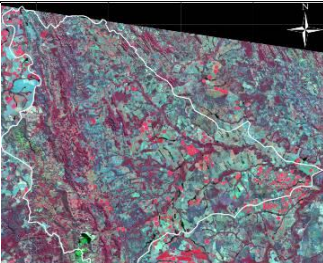
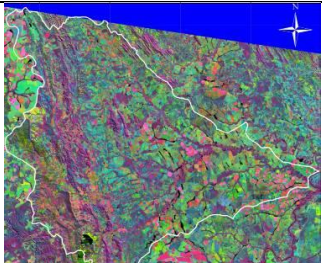

Fonte: os autores (2013)

A seguir, apresentam-se os mapeamentos de 1975, 1989 e 2008, no conjunto de mapas da Figura 3. O mapa da Figura 4 mostra a localização dos pivôs de irrigação na Bacia de Entre-Ribeiros, sob uma perspectiva temporal. Com o objetivo de expressar melhor a ocupação da bacia de Entre-Ribeiros no decorrer dos cenários temporais elaborados, procurou-se demonstrar o progresso da ocupação por meio do mapa da Figura 5. Também foram elaboradas as Tabelas 1 e 2, quantificando as áreas de cada classe mapeada, sua porcentagem em cada cenário e, ainda, a variação percentual comparada entre cada um dos períodos analisados.

Os produtos cartográficos permitem inferências relevantes sobre dinâmica histórica de ocupação da Bacia de Entre-Ribeiros, quando analisados conjuntamente aos estudos existentes sobre a ocupação da região, bem como ao conhecimento aferidos nas campanhas de campo e nos diálogos com a população local.

Analisando o mapa das Figuras 3, 4 e 5, e os dados das Tabelas 1 e 2, é possível traçar os contornos de uma história espacial da ocupação da região. A cena de 1975 demonstra uma

bacia hidrográfica que, em parte, já era utilizada para pecuária extensiva (14,78%), mas que somente poucos anos depois começaria a ser ocupada significativamente para agricultura de sequeiro e, em seguida, com irrigação (ANDRADE, 2007, p. 97 e 116).

	RGB	ACP	Tasseled Cap
1975			
1989			
2008			

Fonte: os autores (2013)

Quadro 2 – Visualização das Imagens de Satélite de acordo com as diferentes técnicas empregadas.

Nas décadas de 1970 e 1980, a pecuária expande-se (83,1%, de 1975 a 1989), mas de forma descentralizada, ocupando áreas de cerrado (-32,23%) e de mata (-14,50%). Da década de 1980 até 2008, há um avanço das áreas de agricultura tradicional e irrigada, partindo do extremo leste da Bacia, até ocupar praticamente toda a metade leste. Nas áreas onde havia proximidade de cursos d'água com maior vazão, assim como nas áreas propícias a barramentos de cursos d'água, houve predominância da agricultura irrigada. O avanço da agricultura deu-se tanto sobre o cerrado quanto sobre antigas áreas de pastagem, as quais foram translocadas para a metade oeste da Bacia Hidrográfica. O baixo crescimento total da pecuária entre o período de 1989 a 2008 (7,72%) corrobora com a hipótese de que a atividade pecuária mais se deslocou do que se expandiu. Também se observa, na metade leste da bacia, a drenagem de áreas alagadas para a expansão de sistemas de agricultura (irrigada ou tradicional), equivalendo a uma redução geral de 5.302,55ha (-88,20%).

Bacia de Entre-Ribeiros - Zoneamento Agro-Econômico - 1975 / 1989 / 2008

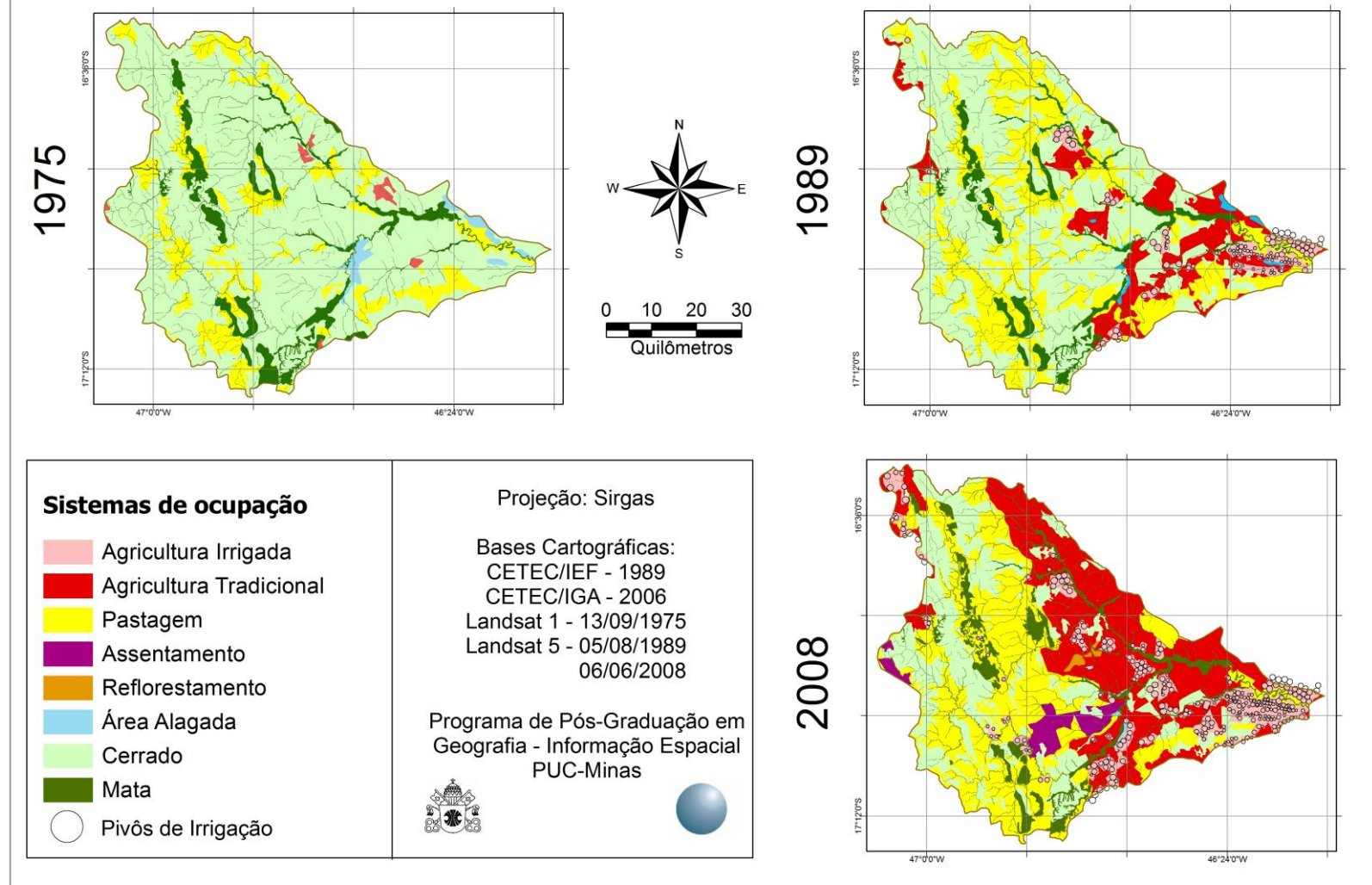


Figura 3 – Mapeamento da Bacia do Ribeirão Entre-Ribeiros, para os anos de 1975, 1989 e 2008.

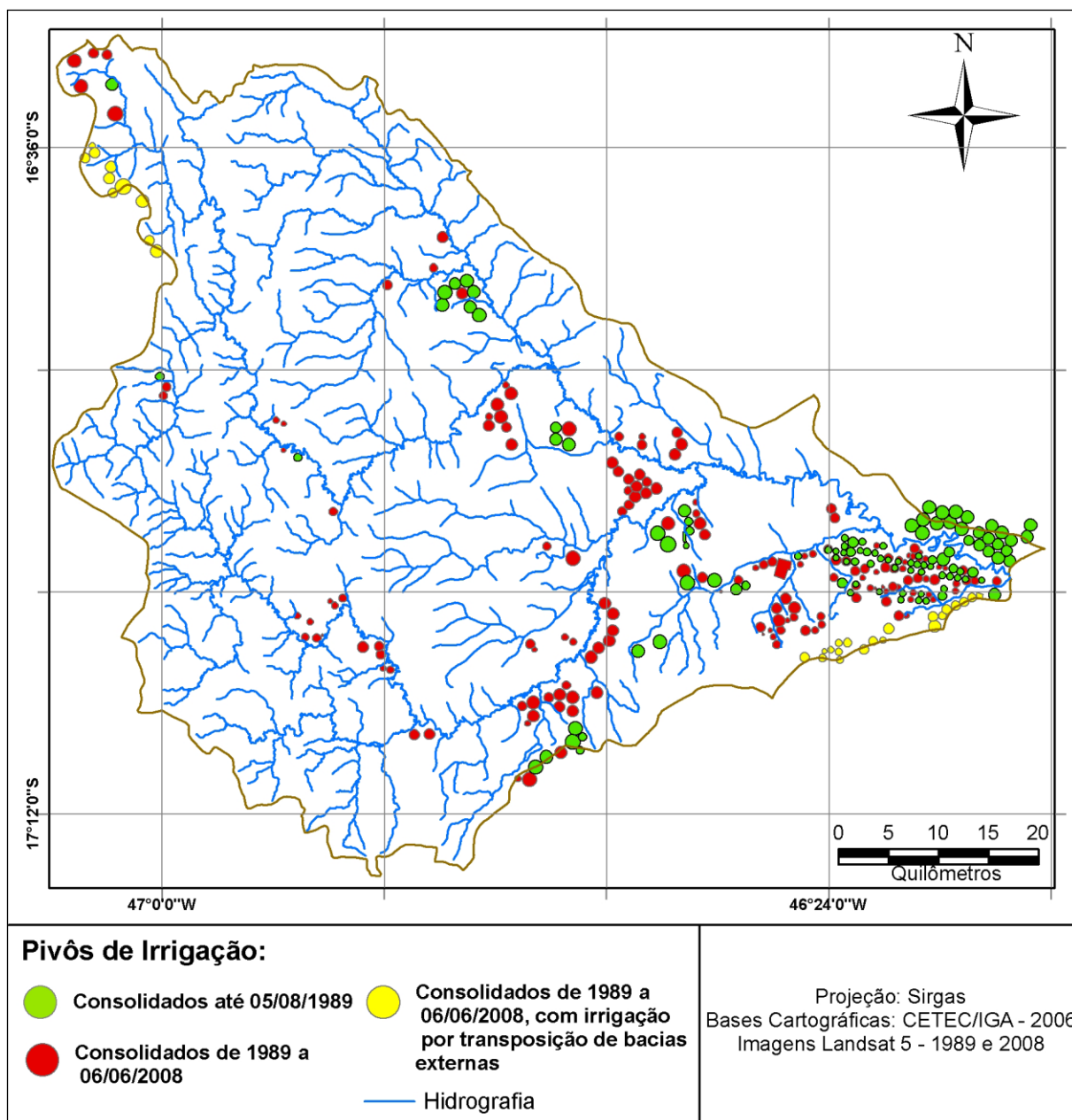


Figura 4: Mapa da evolução da ocupação por pivôs centrais de aspersão na Bacia do Ribeirão Entre Ribeiros, entre os anos de 1989 e 2008.

Ressalta-se a ausência de áreas irrigadas na imagem de 1975. A expansão das áreas irrigadas reflete a progressão intensiva no uso consuntivo da água na bacia, levando a diversos conflitos por uso da água (PRUSKI *et al.*, 2007, p. 200), mormente nos períodos sazonais de estiagem. Nessas ocasiões em que não há recurso hídrico o suficiente para atender à demanda, quando os agricultores disputam a água entre si, pode-se perceber um custo produtivo ocasionado pela escassez de recursos hídricos. Afinal, por não haver água para todos produzirem, alguns vão ter que deixar de utilizar do privilégio produtivo da irrigação, ao menos na escala em que precisariam.

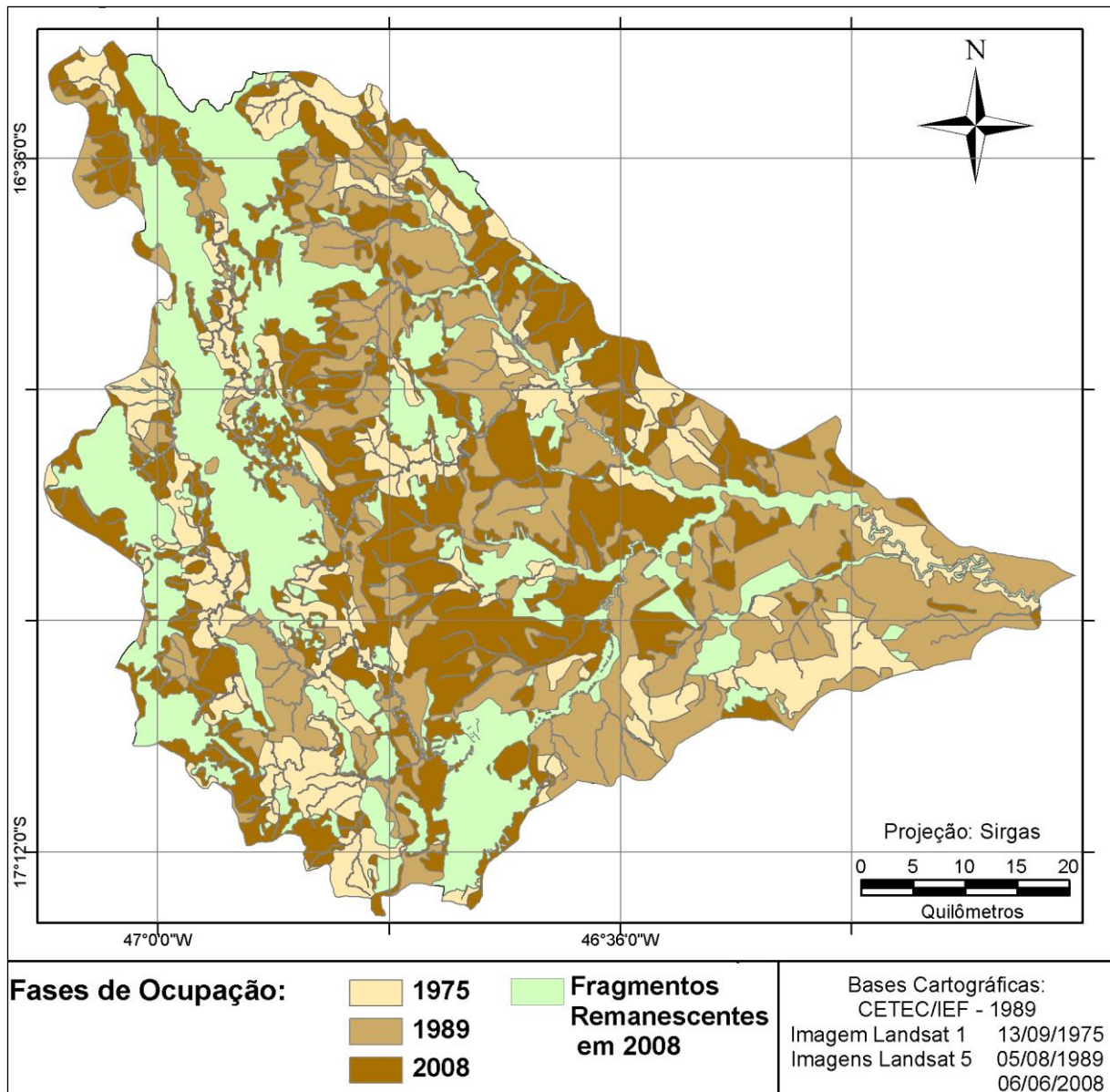


Figura 5: Evolução da Ocupação da Bacia do Ribeirão Entre-Ribeiros para os anos de 1975, 1989 e 2008.

A localização das áreas de agricultura irrigada reflete a maior aptidão de áreas planas para esse sistema de ocupação, nas baixadas da metade leste da bacia hidrográfica, conjugando-se com a proximidade à corpos de água com vazão significativa. Desde 1989, alguns dos pivôs de irrigação situados próximos ao norte da foz de Entre-Ribeiros utilizam-se da água canalizada proveniente do ribeirão, embora se situem para além das margens dos divisores de águas da bacia – um caso especial de transposição de águas de bacia. Para o ano de 2008, atenta-se para o fato de que um número razoável de pivôs de irrigação utiliza-se de água canalizada vinda de fora da Bacia de Entre-Ribeiros – ou seja, o inverso dessa mesma modalidade de transposição. A canalização de águas provenientes do leito do Rio Paracatu para os Projetos de Irrigação Entre-Ribeiros II e III foi descrita por Assad *et al.* (1991), Assad

et al. (1992) e Brito *et al.* (2003). Nos demais casos, as imagens de satélite possibilitaram acompanhar os canais de irrigação que ligam as áreas irrigadas às barragens localizadas para além da bacia hidrográfica.

Tabela 1: Área da Ocupação da Bacia de Entre-Ribeiros em 1975, 1989 e 2008

	1975	1989	2008
Classes	Hectares	Hectares	Hectares
Agricultura Tradicional	3287,91	42387,22	99808,69
Agricultura Irrigada	0,00	14743,63	39131,38
Pecuária	58564,34	107181,11	115452,98
Assentamentos	0,00	0,00	11426,19
Reflorestamento	0,00	0,00	1230,89
Área Alagada	6011,93	1856,74	709,38
Cerrado	285968,28	193797,94	85821,77
Mata	42300,10	36168,39	42555,09
Sub-Total Antrópico	61852,25	164311,96	267050,13
Sub-Total Nativo	334280,32	231823,07	129086,24
Total	396132,57	396135,03	396136,36

Fonte: os autores (2013)

Tabela 2: Porcentagem e Variação da Ocupação da Bacia de Entre-Ribeiros, entre 1975, 1989 e 2008

Classes	1975	Variação	1989	Variação	2008	Variação
	%	1975-1989 em %	%	1989-2008 em %	%	1975-2008 em %
Agricultura Tradicional	0,83	+1189,18	10,70	+135,47	25,20	+2935,63
Agricultura Irrigada	0,00	-	3,72	+165,41	9,88	-
Pecuária	14,78	+83,01	27,06	+7,72	29,14	+97,14
Assentamentos	0,00	-	0,00	-	2,88	-
Reflorestamento	0,00	-	0,00	-	0,31	-
Área Alagada	1,52	-69,12	0,47	-61,79	0,18	-88,20
Cerrado	72,19	-32,23	48,92	-55,72	21,66	-69,99
Mata	10,68	-14,50	9,13	+17,66	10,74	+0,60
Sub-Total Antrópico	15,61	+165,65	41,48	+62,53	67,41	+331,75
Sub-Total Nativo	84,39	-30,65	58,52	-44,32	32,59	-61,38

Fonte: os autores (2013)

A separação entre os sistemas de pecuária e de agricultura (exceto irrigação por pivô central), nos casos de baixa e média tecnologia, mostrou-se bastante complexa no cenário de 2008, em razão de se encontrarem bastante imbricados na malha de ocupação do solo, bem como em virtude do recente abandono das áreas de agricultura de sequeiro, relatados por Andrade (2007:105). Para auxiliar na identificação das tendências gerais de ocupação para esses dois sistemas, foi bastante útil a classificação supervisionada de Latuf (2007) para o ano de 2000, nas bacias abrangidas pelas estações fluviométricas de Entre-Ribeiros. Na ocasião, esse mapeamento apoiou-se em verificações de campo consistentes, o que confere confiabilidade para a delimitação. A comparação da classificação de Latuf com as imagens de satélite e com os mapas de geomorfologia e de unidades ambientais (ANDRADE, 2007, p. 65 e 131), demonstrou que, nas áreas de superfície tabular aplainada da metade leste da bacia de Entre-Ribeiros, há uma predominância evidente das terras de cultura. Em contraste, nas áreas de relevo ondulado suave a moderado houve uma predominância maior de atividades de pecuária. As confirmações de campo, por fim, foram especialmente importantes para refinar e validar essa distinção de usos do solo. Entretanto, devido às inferências indiretas utilizadas, as áreas de agricultura tradicional e pastagens, para o ano de 2008, apontam apenas a predominância dessas respectivas atividades; deve-se, pois, levar em conta que em muitos casos elas não estão dissociadas nos sistemas produtivos.

Nas áreas de agricultura irrigada, por sua vez, a heterogeneidade espacial foi pequena. Como era esperado, o que predomina nesse sistema são as monoculturas de grande extensão, com pequenas áreas abertas para armazéns, maquinário e circulação.

Por fim, o cenário de 2008 apresenta uma maior complexidade em relação aos sistemas de ocupação de 1975 e 1989, com a presença de reflorestamentos (1.230ha) e assentamentos de reforma agrária (11.426,19ha).

A dinâmica de ocupação e uso do território nos assentamentos de reforma agrária da bacia de Entre-Ribeiros é bastante diferente da dinâmica territorial dos usos vizinhos, como também demonstrado por Silva (2007). Entre as características paisagísticas diferenciadas, confirmadas pela interpretação por sensoriamento remoto, estão uma visível fragmentação e diversidade de fragmentos naturais e antrópicos. Isso se deve, primeiramente, ao parcelamento do solo em lotes de dimensão muito reduzida, em comparação ao loteamento padrão da região. Como feição típica da agricultura familiar, em cada lote estão presentes diversas atividades de agricultura, pecuária e também áreas preservadas. Para completar a heterogeneidade, há que se levar em conta um grande número de lotes abandonados, devido à

dificuldade de vida na zona rural, e que são deixados, ao menos temporariamente, à regeneração natural dos ambientes. As reservas legais comunitárias e áreas de preservação permanente, na maior parte das vezes, são utilizadas para criação de gado, seja da comunidade ou por arrendamento externo. Por fim, a constante venda de lotes proporciona uma dinâmica ainda maior à ocupação do solo nessas áreas. As flutuações no desenvolvimento, estagnação e aplicação de projetos de conservação ambiental estão muito relacionados às políticas governamentais de crédito, assistência técnica e licenciamento ambiental específicas para reforma agrária, o que marca a diferença dos processos históricos de ocupação em relação ao que ocorre no restante da bacia de Entre-Ribeiros.

Os mapas e tabelas apresentados demonstram claramente como os sistemas de ocupação (sub-total antrópico) avançou sobre os ecossistemas naturais (sub-total nativo). O mapa da Figura 5, analisado em conjunto com a Tabela 1, evidencia que, embora a área desmatada entre 1975-1989 (102.457,25ha) seja similar à área desmatada entre 1989-2008 (102.736,83ha), o maior impacto de fragmentação de ecossistemas ocorreu entre 1989-2008. Essa afirmação pode ser interpretada espacialmente, ao observar que, no mapa da Figura 5, os fragmentos de vegetação nativa remanescentes em 2008 (verde, na legenda) eram em sua maior parte conectados pelas áreas desmatadas entre 1989-2008 (marrom escuro, na legenda).

Enfim, analisando o processo de ocupação como um todo, com base nos mapeamentos apresentados, nas campanhas de campo e nas constatações dos estudos bibliográficos existentes, foram reconhecidos os seguintes processos e tendências nos sistemas principais de ocupação:

1) Ecossistemas Nativos:

- a. Regeneração de florestas em terrenos de ravinas relativos a pastagens abandonadas, especialmente em áreas declivosas, por se mostrarem inadequadas para essa atividade econômica (LATUF, 2007, p. 42 e 65).
- b. Relativa conservação de algumas áreas de preservação permanente de matas ciliares e terrenos de inclinação elevada, além de algumas áreas de reserva legal.

2) Agropecuária de baixa e média tecnologia.

- a. Avanço das áreas de cultivo de sequeiro sobre as áreas de cerrado, no período dentre 1985 a 2000 (LATUF, 2007, p. 67).
- b. Abandono recente das áreas de cultivo de sequeiro com baixo potencial de conversão para áreas irrigadas (ANDRADE, 2007, p. 105).

3) Assentamentos de Reforma Agrária

- a. Mosaico heterogêneo de paisagem nas áreas loteadas, com grande variação

temporal de uso, devido à constante troca e venda de lotes.

- b. Soltio generalizado de gado nas Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente relativas a cerrados degradados em diferentes estágios de regeneração (Santos, 2004; 2005a; 2005b; 2005c; 2006).
 - c. Ciclos de desmate vinculados a autorizações de desmate e financiamento rural autorizados pelo INCRA.
- 4) Agricultura Irrigada de Alta Tecnologia.
- a. Expansão das áreas de pivôs centrais, vinculada historicamente a ciclos de financiamento rural e a renegociações de dívidas.
 - b. Aumento na quantidade de barragens de pequeno porte para irrigação (LATUF, 2007, p. 50), inclusive em áreas de veredas (ANDRADE, 2007, p. 108 e 109) e lagoas marginais (ANDRADE, 2007, p. 102).
 - c. Os únicos remanescentes preservados, em meio à área de maior predominância de projetos de irrigação, correspondiam às delimitações de reservas legais (ASSAD *et al.* 1991; ASSAD *et al.*, 1992). Em muitos casos nem mesmo foram respeitadas as áreas de proteção permanente das margens dos cursos d'água (ASSAD *et al.* 1991; ASSAD *et al.*, 1992, p. 22).
- 5) Áreas Alagadas.
- a. Diminuição das áreas alagadas, pela drenagem para agricultura tradicional e irrigada, especialmente na metade leste da bacia.

CONCLUSÕES

O mapeamento multi-temporal proporcionou contornos mais definidos para a expansão agropecuária e seus impactos ambientais, perfazendo as variáveis de tempo e espaço. O mapeamento apontou, por meio de mapas e de análises quantitativas, como houve um avanço da área antropizada por sobre os ecossistemas naturais, no entremeio dos cenários de 1975, 1989 e 2008.

Por meio da comparação dos mapas nas três datas escolhidas, demonstra-se como os ciclos de ocupação do solo nessa bacia hidrográfica geraram vetores de pressão sobre os recursos naturais. Cada sistema de ocupação agroeconômico (agropecuária extensiva, assentamentos de reforma agrária e agricultura irrigada) caracteriza-se por processos diferenciados de ocupação do solo, uso e conservação de recursos naturais, bem como se

alicerça em fundamentos econômicos diversos. Os resultados de mapeamento mostraram-se coerentes com as indicações fundamentadas nos estudos históricos pré-existentes e nos levantamentos de campo com as comunidades locais.

O cerrado foi o principal ecossistema impactado, em termos quantitativos de área. A agricultura concentrou-se nas áreas planas da metade leste da bacia, com destaque para a agricultura irrigada. De 1989 a 2008, foi possível perceber como a ocupação agrícola impeliu as áreas com predomínio de pecuária para a metade oeste da Bacia Hidrográfica, onde se situam as regiões de relevo ondulado e suave ondulado.

Contudo, mais que um estudo regional, os processos identificados intentam dar palco a uma análise integrada os impactos típicos das frentes agrícolas modernas sobre o cerrado brasileiro. Dessarte, grande parte das reflexões tecidas também se aplicam às demais frentes de ocupação análogas. A metodologia utilizada, empregando o conceito de sistemas de ocupação de uso e utilizando-se da análise conjugada de sensoriamento remoto por composição RGB, ACP e Tasseled Cap, apresenta-se factível de ser utilizada em outras bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, A.G. *Caracterização de fisionomias vegetais na Amazônia oriental através de videografia aerotransportada e imagens LANDSAT 7 ETM+*. 2003. 120f. Dissertação de Mestrado. INPE, São José dos Campos, 2003.

ANDRADE, H. *Geoprocessamento Aplicado a Solos e o Meio Ambiente*. UFPA, Ed. Faepe. Lavras/MG, 2006. 58p.

ANDRADE, L.M.G. *Uso Optimal do Território de Bacia Hidrográfica com fundamentos no conceito de Geociências Agrárias e Ambientais - Bacia do Ribeirão de Entre-Ribeiros no vale do Rio Paracatu*. 2007. 203f. Dissertação de Mestrado. UFOP, Escola de Minas, Dep. de Geologia, Ouro Preto, 2007.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MOREIRA, L.; e VALENTE, B.C. *Caracterização ambiental dos projetos Entre Ribeiros II e III (PCPER II e III) e das reservas em condomínio dos PCPER I e II, Paracatu (MG)*. Brasília: EMBRAPA-CPAC, Campo, 1991. 21p.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MOREIRA, L.; e VALENTE, B.C. *Caracterização de áreas nativas através do sensoriamento remoto e do sistema de informações geográficas; caso dos projetos de irrigação entre Ribeiros, Paracatu (MG)*. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, 1992, 23 p.

BRAGA, A.L. e OLIVEIRA, J.C. Identificação e quantificação de áreas irrigadas por pivô central utilizando imagens CCD/CBERS. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 16-21 abril, 2005, Goiânia, *Anais...*, Goiânia, Brasil: INPE, 2005. p. 849-856.

BRITO, A.L.; BASTINGS, I.W.A.; e BORTOLOZZO, A.R. The Paracatu/Entre-Ribeiros irrigation scheme in Southeastern Brazil. Features and challenges in performance assessment. *Rev. Irrigation and Drainage Systems*, Netherlands, 17: 285–303. 2003.

CARVALHO, L.M.T.; SCOLFORO, J.R.S. Inventário Florestal de Minas Gerais: Monitoramento da flora nativa 2005-2007. Lavras: Editora UFLA. 2008. 357p.

CASTRO, F.V.F.C. *A modelagem de cenários de mudanças na região de Brasiléia aplicada ao Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre*. 2005. 88f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.

COHEN, W.B.; SPIES, T.A.; FIORELLA, M. Estimating the age and structure of forest in a multi-ownership landscape of western Oregon, U.S.A. *International Journal of Remote Sensing*, v. 16, 2005, p. 721-746.

COSTA, T.C.C.; MARCO, P.; BRITES, R.S. Métodos para Redução do Espaço N-Dimensional de Imagens Orbitais. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 58, n. 1, abril, 2006.

ESRI (2008) ArcGis 9.3.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC-MG. *Mapeamento, Inventário e Monitoramento da Cobertura Vegetal Nativa e de Florestas Plantadas em Parte do Estado de Minas Gerais*. CETEC/IEF, Belo Horizonte. 1989.

KAUTH, R.J.; THOMAS, G.S. The Tasseled Cap: a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. In: PROCEEDINGS ON THE SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 29 jun-01 jul. 1976, West Lafayette, Indiana, EUA. *Annals...*, West Lafayette, Indiana: Purdue University, 1976. p. 41-51.

LATUF, M.O. *Mudanças de Uso do Solo e Comportamento Hidrológico nas Bacias do Rio Preto e de Entre-Ribeiros*. 2007, 103f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Viçosa. 2007.

LATUF, M.O.; MARTINEZ, M.A.; PRUSKI, F.F.; e SILVA, D.D. Mudanças no uso do solo nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros/MG a partir de imagens do sensor Landsat 5 TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 21-26 abril, Florianópolis, *Anais...*, Florianópolis, Brasil: INPE, 2007. p. 5855-5862.

LEICA GEOSYSTEMS. Erdas Imagine 9.1. 2006.

MARTINS JUNIOR, P.P. (coord.) Monitoramento do uso da terra com ênfase na cobertura vegetal, nos períodos de 1964, 1989 e 2005. In: MARTINS JUNIOR, P.P. (coord.) *Projeto GZRP - Gestão de Zonas de Recarga de Aquíferos Partilhadas entre as Bacias de Paracatu, São Marcos e Alto Paranaíba*. Cetec/Fapemig - 2007-2009. Relatório final em 2009.

MATHER, P.M. *Computer Processing of Remotely-sensed images: an introduction*. Baffins, Chichester, England: John Wiley e Sons Ltd. 1999. 292 p.

MOREIRA, M.C. *Gestão de Recursos Hídricos: Sistema Integrado para otimização da Outorga de Uso da Água*. 2006. 94f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Viçosa. 2006.

PRUSKI, F.F.; RODRIGUEZ, R.D.G.; NOVAES, L.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M.; TEIXEIRA, A.F. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na Bacia do Paracatu. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 2, p.199-210, 2007.

RURALMINAS. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu – PLANPAR. Consórcio MAGNA / DAM / EYSER - Governo de Federal, Governo do Estado de Minas Gerais, Governo do Distrito Federal, Brasil, Fevereiro, 1996.

SANTOS, M.M. (coord.). *Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental e Projeto Final de Assentamento do Projeto de Assentamento Nova Lagoa Rica*. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Universidade Federal de Viçosa/FUNARBE, 2004.

SANTOS, M.M. (coord.). *Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental e Projeto Final de Assentamento do Projeto de Assentamento Tiro e Queda*. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Universidade Federal de Viçosa/FUNARBE, 2005a.

SANTOS, M.M. (coord.). *Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental e Projeto Final de Assentamento do Projeto de Assentamento Herbert de Souza*. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Universidade Federal de Viçosa/FUNARBE, 2005b.

SANTOS, M.M. (coord.). *Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental e Projeto Final de Assentamento do Projeto de Assentamento XV de Novembro*. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Universidade Federal de Viçosa/FUNARBE, 2005c.

SANTOS, M.M. (coord.). *Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental e Projeto Final de Assentamento do Projeto de Assentamento Belo Vale*. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Universidade Federal de Viçosa/FUNARBE, 2006.

SANTOS, R.F. *Planejamento ambiental: teoria e prática*. São Paulo, Ed. Oficina de Textos. 2004. 183 p.

SAUSEN, T.M. *Sistemas Sensores Ópticos Landsat*. Cadernos Didáticos. Projeto Educa Sere. Programas Espaciais. Nº 1. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE, São José dos Campos. 1997.

SCHMIDT, W.; COELHO, R.D.; JACOMAZZI, M.A.; ANTUNES, M.A.H. Distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil: I - Região Sudeste. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. v.8, n.2/3, 2004, p.330-333.

SILVA, C.M.V. *Agricultura familiar, gênero e dinâmicas sociais: um estudo sobre a construção territorial do assentamento Nova Lagoa Rica (Paracatu-MG)*. 2007. 106f. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, pela orientação cartográfica, ao Professor Doutor José Flávio Morais Castro, da Pós-Graduação em Geografia / Tratamento da Informação Espacial – PPGG/TIE –, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-Minas. Também agradecemos à FINEP, CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo financiamento dos projetos de pesquisa que possibilitaram a realização deste estudo.