

Análise multitemporal por imagem TM do uso e ocupação do solo na região nordeste da rodovia BR-319

Silvana Lima Martins¹
Tati de Almeida²
Carlos Eduardo Toniazzi Pinto²
Eluzai Rodrigues Alves²
Rodolfo José de Campos Curvo³

¹ Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco J, Cep 70610-200, Brasília – DF, Brasil
silvana.martins@incra.gov.br

² Universidade de Brasília
Caixa Postal 04465, Cep 70919-970, Brasília – DF, Brasil
tati_almeida@unb.br; carlos.toniazzi@gmail.com; eluzai@unb.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT
Rua Zulmira Canavarros, 95. Centro. Cuiabá/MT, Brasil
rodolfo.campos@cba.ifmt.edu.br

Abstract. Plans to repave the highway BR-319, which connects Manaus - AM to Porto Velho -RO and has been impassable since 1988, has reignited the discussion about the consequences of opening roads in the Central Amazon. In this context, Incra, which holds 82 federal public lands in the region, received the mission to carry out land consolidation in the area of the highway. In order to analyze the evolution of human action and point out which tracts had a greater change in forest areas, it was carried out analysis of multitemporal Landsat TM images of the northeast stretch of the highway, between the junction with highway AM-254 and Igapó-açu river. Two different methods were tested: subtraction of NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) images for change detection and supervised classification by maximum likelihood, using images to quantify the altered areas in the five plots incidents in the study area. The first approach, although hinted places where there was a change, showed confusion of targets and is not satisfactory. The second approach showed that the estates Manaquiri, Janauacá and Juma, respectively, are the most disturbed plots, in contrast to the estates Tupana and Castanho, best preserved, respectively. This study found that INCRA should prioritize actions of regularization in the estates Manaquiri, Janauacá and Juma.

Palavras-Chave: BR-319 highway, multitemporality, change detection, NDVI, supervised classification by maximum likelihood. Rodovia BR-319, multitemporalidade, detecção de mudanças, NDVI, classificação supervisionada por máxima verossimilhança.

1. Introdução

A rodovia BR-319 foi inaugurada em 1976, com cerca de 880 quilômetros de extensão, interligando Manaus, Amazonas, a Porto Velho, Rondônia, sendo a única rota de ligação terrestre dos estados do Amazonas e Roraima com o resto do país. Passados menos de 15 anos da sua inauguração, ficou intransitável no seu trecho central, devido à falta de manutenção e às condições edafo-climáticas da região.

Atualmente, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) incluiu em suas obras o asfaltamento desta rodovia, que influencia 16 municípios em toda a sua extensão. O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) é detentor de 82 glebas públicas na área de influência da estrada, que perfazem aproximadamente 22,6 milhões de hectares (Incra, 2009). Desse total, restam 33% de áreas ainda não destinadas, onde o Governo Federal, através do INCRA e do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), deve realizar o ordenamento territorial para mitigar os possíveis efeitos negativos da reconstrução da rodovia.

Segundo Aragão e Almeida (2009), o uso de sensoriamento remoto com base em imagens de satélite é um dos meios mais eficientes para acelerar os trabalhos e reduzir custos dos mapeamentos na detecção de mudanças ocorridas no meio ambiente. Sendo assim, visando evitar a ocupação descontrolada das terras na área de influência da BR-319, embasar os trabalhos de ordenamento fundiário ao longo da BR-319, identificar tendências de ocupação do solo e apontar as áreas mais críticas para monitoramento e ação do Governo Federal, pretende-se, neste estudo, utilizar o geoprocessamento para mapear as mudanças de uso e de cobertura da terra ocorridas entre o período em que a estrada estava praticamente intransitável e a época atual, após sua reabertura.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreende um buffer de 10 quilômetros ao longo da rodovia BR-319, entre o quilômetro 39, no cruzamento com a rodovia estadual AM-254, e o quilômetro 250, no cruzamento com o rio Igapó-açu, sentido Manaus – Porto Velho, abrangendo parte dos municípios de Careiro, Borba, Beruri e Manaquiri, no estado do Amazonas. A **Fonte de referência não encontrada**. apresenta o mapa de localização da área de estudo.

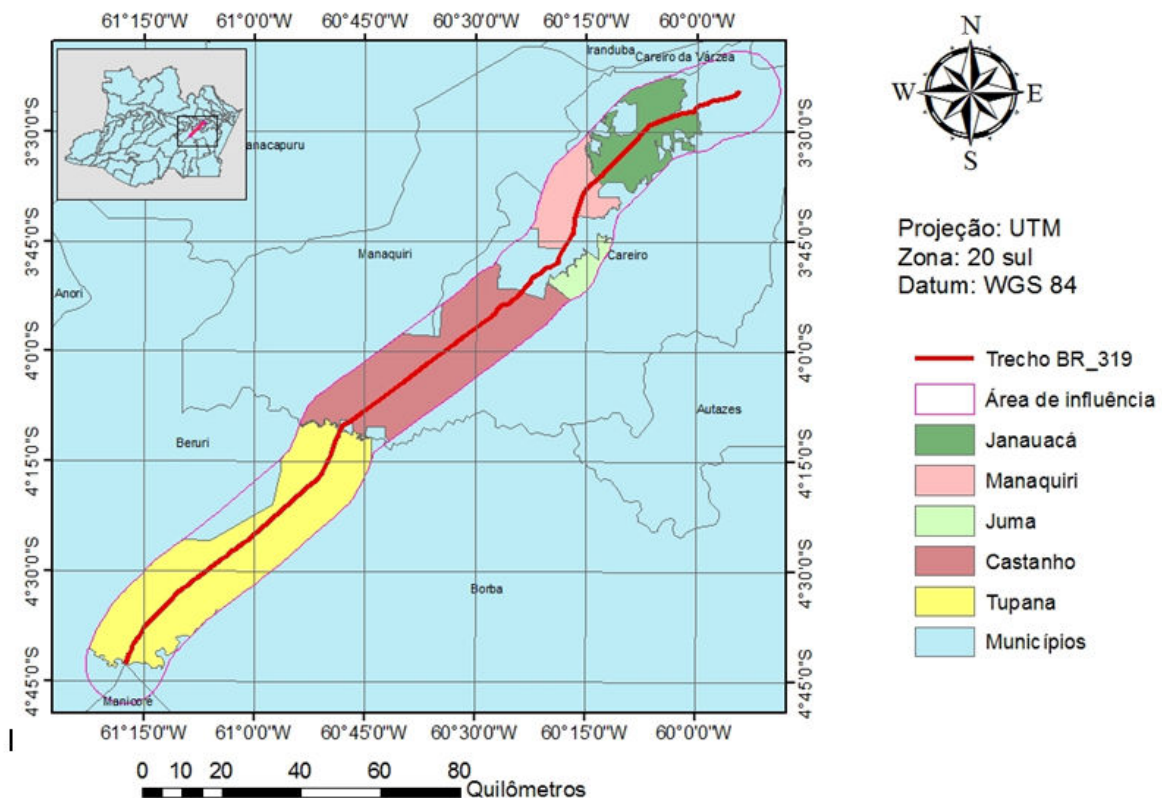


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Foram utilizadas imagens obtidas pelo sensor TM do satélite Landsat 5, referentes às órbitas/pontos 231/062 e 231/063, obtidas no endereço eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE <<http://www.inpe.br>>, além de arquivos vetoriais em formato *shapefile* de glebas públicas federais, de estradas da região amazônica, e do estado do Amazonas e seus municípios, oriundos da base de dados do INCRA, na escala de 1:100.000.

As imagens representam um espaço temporal de nove anos e são datadas de 03/08/2001, 27/06/2004, 04/08/2007 e 27/07/2010. O pré-processamento das imagens seguiu as etapas de agrupamento de bandas, composição colorida R4 G5 B3, correção geométrica, mosaicagem e recorte. Todas as imagens são do sistema de projeção UTM, Zona 20 Sul, Datum WGS-84.

Calculou-se o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) para os mosaicos das quatro datas. Este índice é definido pela diferença de reflectância entre a faixa de NIR (infravermelho próximo) e VIS (visível). Essa diferença é normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e VIS. A equação geral (Equação 1) é assim representada:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)} \quad (1)$$

A partir das imagens NDVI, foi processada uma subtração entre duas imagens temporalmente subsequentes, compreendendo os seguintes períodos:

- a) Imagem NDVI 2010 – Imagem NDVI 2007;
- b) Imagem NDVI 2007 – Imagem NDVI 2004;
- c) Imagem NDVI 2004 – Imagem NDVI 2001.

O resultado da subtração de imagens NDVI foi submetido a uma representação de cores por fatiamento dos níveis de cinza na função Color mapping - Density slice do ENVI, sendo que os pixels com valores próximos a -1 indicam desmatamento e foram representados com a cor marrom; os pixels com valores próximos a +1 indicam reflorestamento e foram representados com a cor verde; e os pixels com valores próximos a zero indicam não mudança, e foram representados com a coloração amarela.

Adicionalmente, foi realizada uma classificação supervisionada por máxima verossimilhança para as imagens dos quatro períodos, considerando as bandas espectrais 4, 5 e 3 (em RGB, respectivamente). Foram definidas cinco classes pré-estabelecidas: floresta, capoeira, solo exposto, várzea e água.

As classificações foram exportadas para o ArcGIS 9.3, onde foi realizado um clip (recorte) da imagem raster da classificação de cada série temporal pelo buffer, para a geração de polígonos das categorias da área de influência. Após a vetorização, foram realizados novos recortes através dos arquivos vetoriais das glebas públicas federais incidentes na área de estudo, provenientes da base de dados do INCRA. Foram analisadas as seguintes glebas públicas federais: Castanho, Janauacá, Juma, Manaquiri e Tupana.

Foi procedida, então, a quantificação das classes ocorridas em cada uma das cinco glebas, calculando-se as áreas, em hectares, para cada categoria das cinco glebas nas quatro datas analisadas. A seguir, foi analisada a percentagem de área alterada em relação à área de cada gleba, considerando-se como área alterada a soma das classes “capoeira” e “solo exposto”.

3. Resultados e Discussão

3.1 Detecção de mudança pela subtração de imagens NDVI

O uso da imagem diferença é um método comumente usado na detecção de padrões de mudança no uso e cobertura das terras através de imagens. Apesar de sua fácil implementação, é uma análise visual complexa, em que os níveis de cinza não tem significado espectral, apenas realçam as mudanças ocorridas dentro de um determinado período de tempo (Jesus et al., 2009). A subtração de duas imagens de épocas distintas resulta em uma terceira que tende a mostrar o que variou e o que não variou entre dois diferentes períodos em uma mesma área, conforme pode ser observado na Figura 2.

Crósta (1992) ressalta que um fator importante a ser considerado na subtração de imagens diz respeito à existência de diferenças de contraste entre as duas imagens a serem subtraídas. É comum que os histogramas dessas duas imagens não coincidam em termos de média e desvio-padrão. O autor considera que, se essas duas imagens forem subtraídas dessa forma, haverá uma maior tendenciosidade em relação à imagem com maior contraste.

As imagens diferenças entre os NDVI das quatro datas (Figura 3) revelam quais foram os alvos que se modificaram durante os intervalos de tempo em análise e quais permaneceram inalterados.

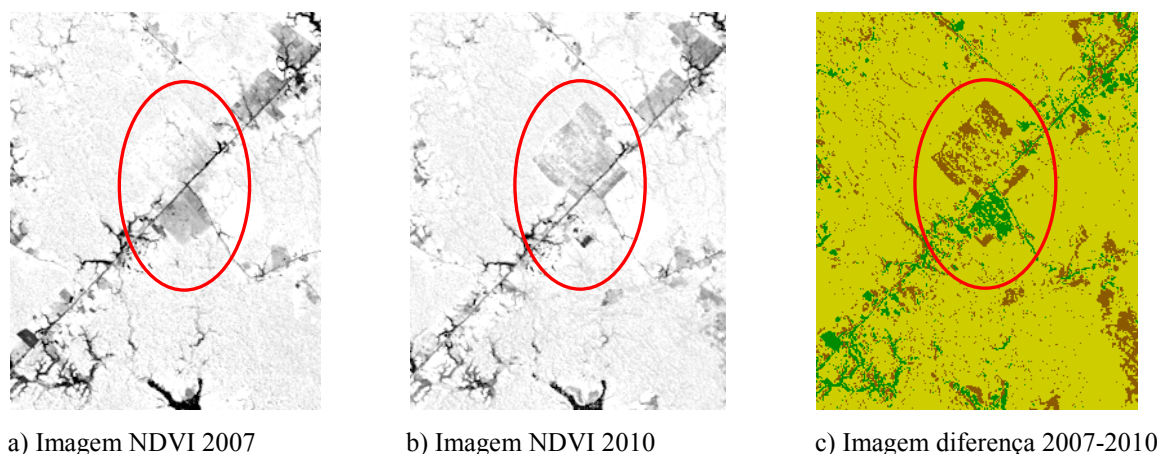


Figura 2. Imagens NDVI 2007 (a), NDVI 2010 (b) e imagem diferença (c).

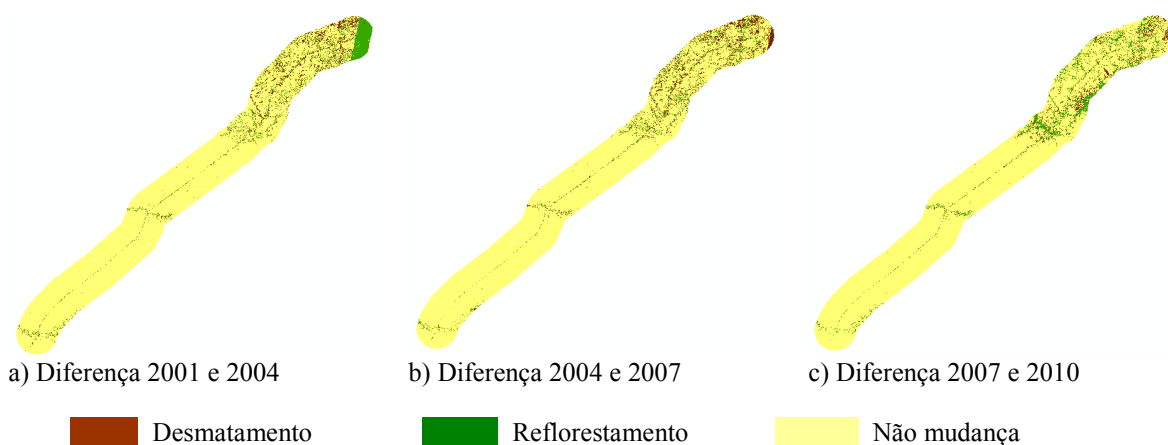


Figura 3. Resultado da subtração das imagens NDVI, entre os anos de 2004 e 2001 (a), 2007 e 2004 (b) e 2010 e 2007 (c).

Embora a alteração possa ter sido verificada em muitas áreas das três imagens diferença, através da comparação das respectivas imagens NDVI de cada data relacionada, esta metodologia não apresentou o resultado esperado, impossibilitando a análise dos resultados da subtração das imagens por gleba. Os resultados obtidos mostraram-se insatisfatórios para demonstrar a evolução das áreas alteradas.

A grande ocorrência de corpos d'água nas áreas estudadas, e de áreas sujeitas a inundações periódicas, principalmente nas glebas Janauacá, Juma e Manaquiri, aliada aos efeitos da sazonalidade, podem ter influenciado nos resultados, pela influência das enchentes no solo e na vegetação.

As mudanças na cobertura podem significar uma infinidade de fenômenos. Segundo Crósta (1992), diversos fatores podem significar mudança em uma imagem resultante de uma subtração entre duas outras, tais como desmatamento, mudanças no uso do solo, diferenças sazonais na vegetação, expansão de áreas urbanas, diferenças no sombreamento topográfico devido a mudanças sazonais no ângulo de iluminação solar, dentre muitos outros fatores.

Dentre os fatores acima citados, o desmatamento e as mudanças no uso do solo, bem como o reflorestamento, puderam ser confirmados através da comparação da imagem diferença e as imagens NDVI. A confusão de alvos pode ter sido causada por diferenças sazonais na vegetação e no ângulo de iluminação solar, além de sedimentos em suspensão na água devido à vazante dos rios. Alguns fatores intrínsecos aos solos, tais como rugosidade superficial, textura e umidade influenciam no estudo da vegetação por sensoriamento remoto. Em uma área sujeita a inundações anuais, essa a interferência nos resultados é potencializada.

Outra provável causa dos resultados não satisfatórios pode estar relacionada ao registro das imagens. Devido às imagens terem sido registradas com um erro quadrático médio (RMS) inferior a 1.1, pode-se observar a ocorrência paralela de desmatamento e reflorestamento na imagem diferença, sugerindo que o registro não foi realizado com a precisão necessária. A análise comparativa de imagens multitemporais requer que os pixels das imagens a serem trabalhadas sejam referentes às mesmas áreas no terreno. Segundo Crósta (1992), mesmo considerando um mesmo sensor, a bordo de um mesmo satélite, dificilmente essa coincidência nos pixels ocorrerá, devido às distorções não sistemáticas causadas pelos movimentos dos satélites. Assim, para comparar duas imagens de uma mesma área, é fundamental que ambas estejam perfeitamente registradas entre si. Devido a estes problemas, tentou-se, adicionalmente, alcançar o objetivo através da classificação supervisionada por máxima verossimilhança.

Uma das vantagens da imagem diferença em relação à classificação consiste em que aquela aponta as mudanças ocorridas entre dois períodos. Já na classificação, embora o somatório de área alterada seja parecido, isso pode não refletir necessariamente em mudança. Por exemplo, o pixel X.Y. era floresta na imagem do ano 1 e apareceu desmatado na imagem do ano 2, enquanto o pixel Y.X. estava desmatado na imagem do ano 1 mas regenerou na imagem do ano 2. O somatório, nesse caso, é zero, mas de fato houve uma alteração.

Na detecção de mudanças através de classificação supervisionada, o resultado é restrito à quantificação das classes, não sendo possível apontar exatamente onde houve a mudança. Porém, como esse método analisa cada imagem separadamente, o registro das imagens não necessita ser extremamente preciso, pois elas não serão sobrepostas.

3.2 Quantificação temporal da alteração da paisagem pela classificação supervisionada por máxima verossimilhança

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos através da classificação supervisionada por máxima verossimilhança na série temporal analisada.

A classificação supervisionada é um método que faz uso da capacidade interpretativa do técnico e, sendo assim, a imagem é classificada com base em determinados parâmetros definidos pelo técnico que, necessariamente, deve ter conhecimento das características da área em estudo. A escolha de áreas ou polígonos representativos de um determinado alvo na imagem, que contenham uma quantidade suficiente de pixels cuja reflectância representa uma determinada feição, serve como base para a sua padronização.

Na classificação supervisionada por máxima verossimilhança são utilizadas a média e a covariância dos pixels amostrados, sendo calculada a probabilidade de um pixel externo a essas amostras pertencer a elas (Fitz, 2008).

A área de estudo é muito rica em corpos d'água, o que torna a ocorrência das várzeas de influência suficiente para constituir uma classe. O regime de enchente e vazante dos rios influencia significativamente na ocupação e uso do solo na Amazônia. Durante seis meses, a água sobe, alagando as terras baixas. Nos outros seis meses, ela desce e deixa à mostra um solo rico, fertilizado pelos nutrientes trazidos pelo rio e, por esse motivo, as várzeas são áreas disputadas para manejo e uso do solo na vazante, para o plantio de culturas temporárias e aproveitamento das pastagens naturais.

As imagens analisadas são do período de seca, quando o solo exposto da várzea pela vazante dos rios, de ocorrência natural, chega a se confundir com o solo exposto das áreas antropizadas. Ocorre, porém, que as várzeas são áreas manejadas para agricultura temporária e, sendo assim, se comportam, ao mesmo tempo, como solo exposto natural e solo exposto fruto de antropização.

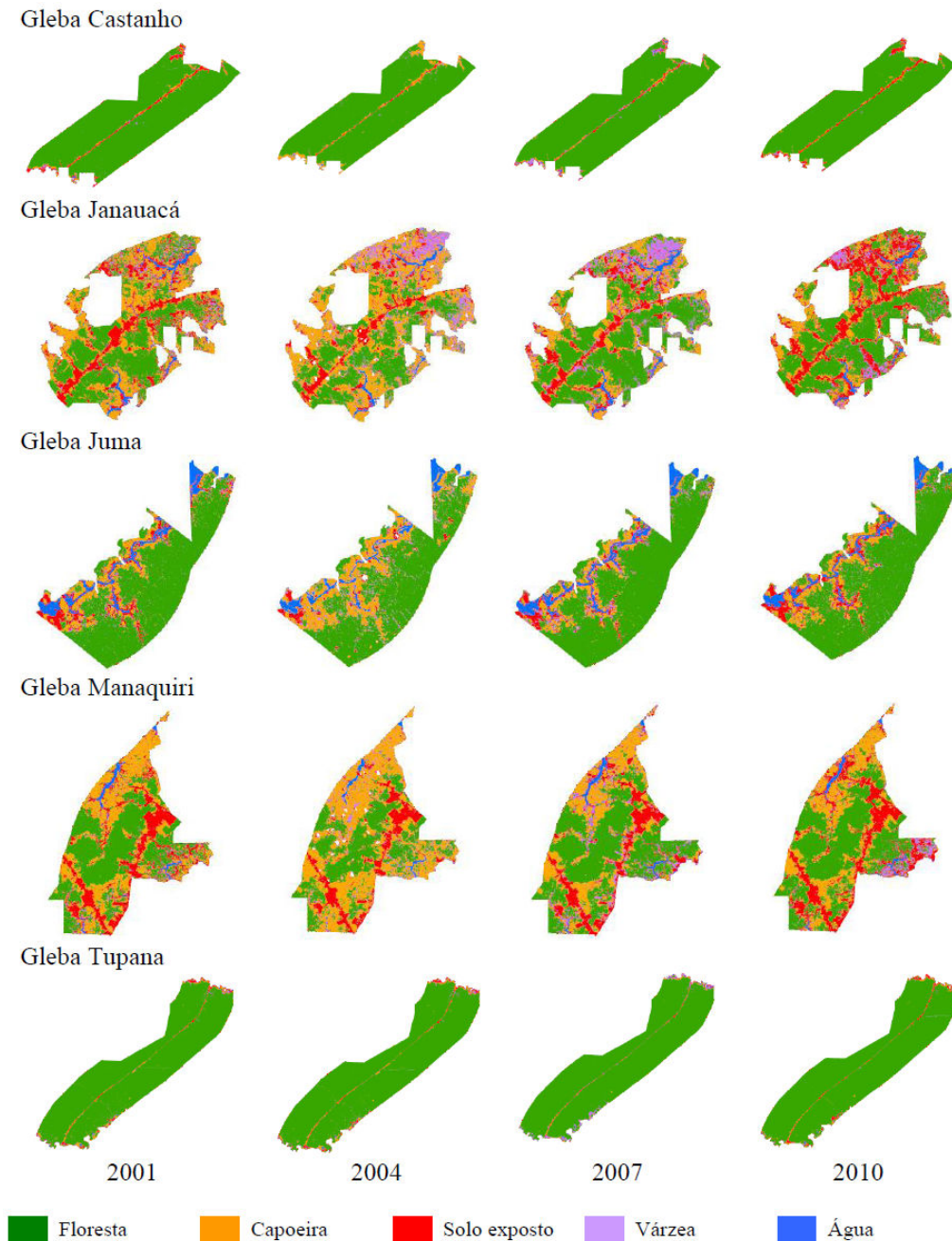


Figura 4. Classificação supervisionada das glebas na série temporal analisada.

Ou seja, se o sensor do satélite registra uma imagem de uma área de várzea na época da vazante, os pixels desta área terão os mesmos valores que os pixels de um solo exposto por antropização, mesmo que na área imageada não haja ocupação humana. Por este motivo, as áreas da classe “várzea” não foram computadas no cálculo de áreas alteradas. Ainda assim, por se tratar de um ambiente com características intrínsecas de solo de áreas inundáveis, é possível certa diferenciação entre esses dois alvos.

A Figura 5 demonstra o comportamento da evolução das áreas alteradas nas glebas públicas federais que incidem na área de influência do trecho da BR-319, que vai do cruzamento da rodovia AM-254 até o rio Igapó-açu, durante o período estudado.

As glebas Castanho e Tupana são as glebas que menos sofreram alteração de suas áreas. Essas glebas estão localizadas na parte da estrada que permaneceu praticamente intrafegável até 2008, quando a estrada foi recuperada.

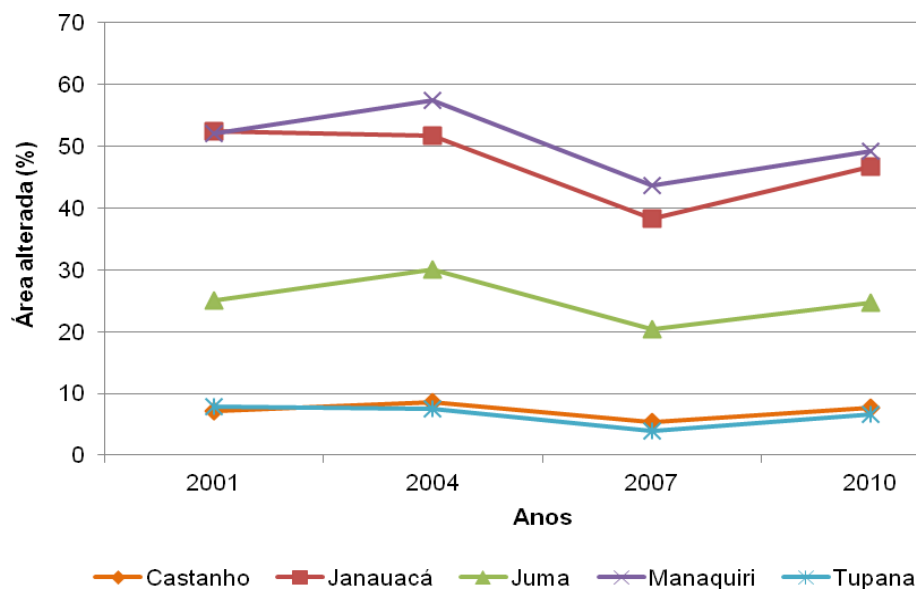


Figura 5. Evolução temporal das áreas alteradas em cinco glebas do Incra incidentes na área de influência de um trecho da rodovia BR-319.

As glebas Manaquiri e Janauacá apresentaram as maiores taxas de área alterada. Esse comportamento pode ser explicado devido à localização dessas glebas, que se encontram próximas aos centros urbanos dos municípios de Careiro e Manaquiri, além da ocorrência de várzeas em suas áreas, o que aumenta a pressão de antropização. Estas glebas também sofreram influência da recuperação das estradas dos municípios acima citados, ocorrida em 2001, principalmente a Manaquiri, que tem maior proximidade com os dois núcleos urbanos citados.

A gleba Juma não se localiza nas margens da estrada, ou seja, a estrada não incide em área desta gleba. Sua ocupação ocorre devido às áreas de várzea nela contidas. A estrada é utilizada como acesso para o rio, que corta a estrada, e a partir do rio é que ocorrem as ocupações. A estrada, no caso desta gleba, influencia nas ocupações somente por permitir o acesso às áreas de várzea.

As glebas que sofreram menor alteração em suas áreas, Tupana e Castanho, além de estarem na parte da estrada que teve seu trecho recuperado apenas recentemente, desde que foi considerada intrafegável, também apresentam em sua maior porção áreas de terra firme, que sofrem menos pressão de ocupação do que áreas de várzea naquela região.

As três glebas que apresentaram maior alteração em suas áreas (Manaquiri, Janauacá e Juma, respectivamente) são aquelas cujo trecho da estrada foi recuperado em 2001, embora rapidamente o asfalto tenha se deteriorado pela falta de manutenção. Além disso, essas glebas apresentam maior ocorrência de áreas de várzea em seu perímetro, ou cursos d'água que servem como acesso às várzeas, o que potencializa a pressão de ocupação pela recuperação da BR-319.

A evolução da alteração de áreas dentro das glebas estudadas obedeceu um padrão de comportamento. As taxas se mantiveram estáveis no primeiro período e apresentaram um declínio de desflorestamento até 2007, o que coincide com o período de má conservação da estrada. A partir de 2007, as taxas de áreas alteradas apresentaram crescimento para todas as glebas, possivelmente devido à reconstrução da rodovia.

As estradas, como vetores de desmatamento, tendem a apresentar um crescimento linear das taxas de antropização. Conforme o decorrer do tempo, a tendência é de que mais pessoas passem a ocupar as áreas, com a abertura de vicinais. Na rodovia objeto deste estudo, o comportamento de evolução de desflorestamento apresenta características peculiares, pois a

intrafegabilidade no seu trecho central por um período aproximado de vinte anos fez com que as taxas se mantivessem estáveis, apresentando até um período de reflorestamento.

4. Conclusões

A técnica de subtração de imagens de NDVI, embora apontasse os locais onde houve mudança entre os períodos analisados, apresentou confusão de alvos e não se mostrou satisfatória. Já a Classificação Supervisionada por Máxima Verossimilhança, permitiu a quantificação das áreas alteradas na série histórica analisada, bem como a identificação das glebas prioritárias para as ações de regularização fundiária.

As glebas Manaquiri e Janauacá apresentaram as maiores taxas de área alterada, respectivamente, para todas as datas analisadas.

Na gleba Juma, que apresentou a terceira maior taxa de área alterada, a pressão exercida pela rodovia BR-319 é devida à possibilidade de acesso às várzeas, onde ocorrem as ocupações humanas, já que a estrada não incide diretamente no perímetro desta gleba.

As glebas Tupana e Castanho apresentaram as menores taxas alteração em suas áreas, respectivamente, para todas as datas analisadas.

As glebas com as maiores taxas de áreas alteradas são aquelas com ocorrência de várzeas, por serem áreas disputadas para o uso do solo no período da vazante.

A evolução da alteração de áreas dentro das glebas estudadas obedeceu a um padrão de comportamento. As taxas se mantiveram estáveis no primeiro período e apresentaram um declínio de desflorestamento até 2007, o que coincide com o período de má conservação da estrada. A partir de 2007, as taxas de áreas alteradas apresentaram crescimento para todas as glebas, possivelmente devido à reconstrução da rodovia.

As ações de regularização fundiária devem ser priorizadas nas glebas Manaquiri, Janauacá e Juma, respectivamente.

Referências Bibliográficas

Aragão, R.; Almeida, J. A. P. Avaliação espaço temporal do uso do solo na área da bacia do rio Japarutuba – Sergipe, através de imagens landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1231-1238. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.53.31>>. Acesso em: 02 nov. 2010.

Crósta, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Ed. rev. Campinas: IG/UNICAMP, 1993. 170 p.

Fitz, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160p.

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Plano de desenvolvimento e regularização fundiária para terras da União não destinadas e assentamentos de reforma agrária, situados na área de influência da BR-319**. Brasília: INCRA, 2009. 15 p.

Jesus, S. C.; Silva, G. B. S.; Martins, V. A.; Miura, A. K. Análise da expansão de área agrícola do Município de Lucas do Rio Verde-GO entre os anos de 1986 e 2007. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1385-1392. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15902-PRE/10512). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.30.18>>. Acesso em: 02 nov. 2010.