

Análise da dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra no sudeste de Roraima – Amazônia Setentrional, através da subtração de imagens-fração

Maristela Ramalho Xaud^{1,2}
José Carlos Neves Epiphanyo²
Haron Abraham Magalhães Xaud^{1,2}

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Roraima
BR- 174, km 8, Distrito Industrial, 69.301-970 – Boa Vista – RR, Brasil
{maristela.xaud, haron.xaud}@embrapa.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{mramalho, epiphanyo, haron}@dsr.inpe.br

Abstract. This study approached land use and land cover change dynamics in altered areas, through the study of conversions presented in agricultural colonization areas in the southeastern region of Roraima, Brazil. We used TM/Landsat optical images, processed by linear spectral mixing modeling, generating fraction images (soil, vegetation and shade) and applied as change detection technique, subtraction of fraction images. The difference-images were classified by *Bhattacharyya* algorithm, mapping existing conversions, according to field survey. The clustering of conversions according to the characteristics of gain and loss of biomass provided better classification performance, observed by the significant increase of *Kappa*. Conversions were analyzed in relation of colonization projects and distance to roads (BR-210 and vicinal roads). The results showed a predominance of opening conversions in newer colonization project areas (Entre Rios and São Luizão). São João da Baliza and Caroebe presented similar behavior in relation to the existing conversions, being the majority of them indicative of land use changes, which may explain the tendency of these regions to the livestock activity, as observed in the field survey. Entre Rios colonization project presented the highest total conversion area, with total of 28,408 ha in the studied period (2004-2010). Regarding the distance to roads, Entre Rios, Baliza and Caroebe presented new openings in more distant areas than São Luizão, featuring further advance in the forest area. Regarding the distance to BR-210, Baliza and Caroebe showed the concentration of opening conversions farther than Entre Rios, meaning greater penetration of vicinal roads in these two regions.

Palavras-chave: detecção de mudanças, conversão, modelo linear de mistura espectral, *Bhattacharyya*, change detection, conversion, linear spectral mixing modeling

1. Introdução

Diante do questionamento mundial acerca dos processos de mudanças globais e da quantificação das emissões de CO₂ na região amazônica, há uma demanda por estudos sobre a dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra em áreas alteradas. A proposta de “desmatamento zero” como meta brasileira nos acordos internacionais vem se consolidando e o conhecimento do uso histórico das áreas já desflorestadas, assim como das conversões sofridas, tornam-se importantes ferramentas para a construção de políticas estratégicas para a região.

A característica sinóptica dos dados orbitais tem sido valiosa na possibilidade de observação e compreensão dos fenômenos dinâmicos, como as mudanças de uso e cobertura da terra. Como parte integrante da análise, o processamento digital de imagens apresenta diversas ferramentas que melhoram a extração da informação desejada. Entre elas, destaca-se o modelo linear de mistura espectral (MLME) e as técnicas de classificação de imagens. O MLME, além de permitir a extração repetitiva e quantitativa de informação ao nível do *subpixel* (Smith et al., 1990; Roberts et al., 1998), origina imagens-fração, com significado

físico dos alvos e da cobertura terrestre, uma vez que representa a proporção de cada elemento considerado puro no interior de um *pixel*. A subtração das imagens-fração é uma técnica de detecção de mudanças, com elevado potencial exploratório na qualificação dos fenômenos dinâmicos.

O objetivo do presente trabalho é avaliar a dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra que ocorrem na região sudeste de Roraima, através da análise de produtos oriundos de técnicas de detecção de mudanças aplicadas às imagens-fração do MLME, tendo como base as imagens ópticas TM/Landsat.

2. Metodologia de trabalho

2.1 Área de estudo

A área de estudo está situada na porção sudeste do Estado de Roraima, correspondendo a quatro glebas de colonização (Colônias de São João da Baliza, São Luizão, Caroebe e Entre Rios), localizadas nos municípios de São João da Baliza e Caroebe, com extensão total de 2653 km² (Figura 1).

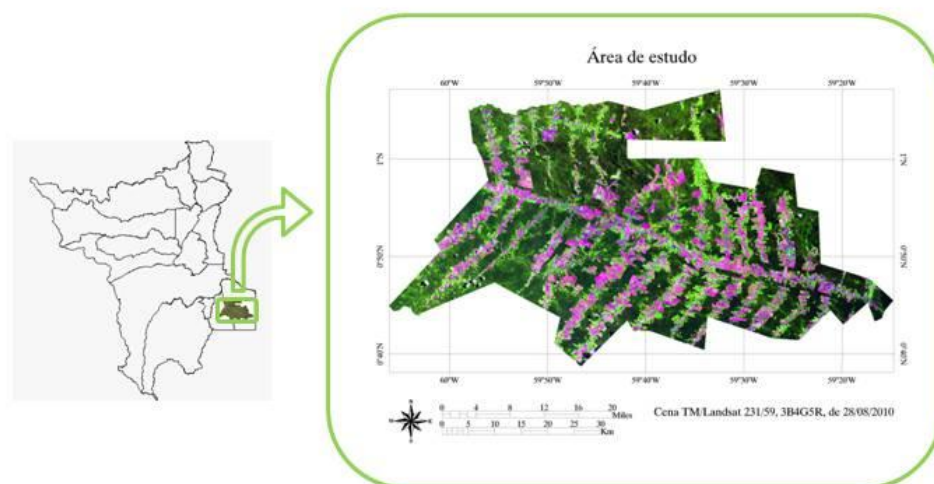


Figura 1. Localização da área de estudo.

O processo de ocupação na região sudeste do Estado de Roraima teve início nos anos 1980, ficando concentrado ao longo da rodovia BR-210 e suas vicinais, que serviram de base para delimitação das glebas de colonização, essas posteriormente originaram os municípios da região (Barbosa, 1990). A atração para a ocupação dessa região teve, no início, a extração madeireira como atividade principal (polos em São Luiz do Anauá e São João da Baliza), sendo seguida posteriormente de atividades agropecuárias (pecuária extensiva, culturas anuais, perenes e semi-perenes). Atualmente, a região destaca-se no Estado com a cultura da banana, produzida em pequenas propriedades, e com a pecuária, que se desenvolve em pequenas e médias propriedades.

2.2 Material

No presente estudo, foram utilizadas imagens digitais do sensor TM/Landsat-5, cena 231/59, dos anos de 2004 (14/10/2004) e 2010 (28/08/2010) com resolução de 30 metros e seis bandas (1, 2, 3, 4, 5 e 7), do acervo de cenas do *United States Geological Survey* (USGS), disponível de modo ortorretificado na plataforma GLOVIS (www.glovis.usgs.gov). A base cartográfica foi composta por dados oficiais do IBGE (base cartográfica do Estado de Roraima) e dados complementares do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de

Roraima. No processamento das imagens, foram utilizados os softwares ENVI/IDL e SPRING (Sistemas de Processamento de Informações Georreferenciadas).

2.3 Métodos

Processamento digital das imagens

Foram realizadas as etapas de calibração, correção atmosférica e normalização radiométrica, com o intuito de minimizar características que não pertencem aos alvos das cenas imageadas (ruídos do sensor, atmosfera, nuvens etc.) e tornar as imagens multitemporais radiometricamente comparáveis entre si (Ponzoni et al., 2007).

As imagens corrigidas e calibradas foram decompostas em seus componentes puros usando um modelo linear de mistura espectral (MLME), que considera que a reflectância de cada pixel da imagem é uma combinação linear da reflectância de cada componente puro presente no interior do *pixel* (Shimabukuro e Smith, 1991). Foram considerados três componentes na aplicação do modelo: solo, sombra e vegetação. Os *pixels* puros candidatos foram obtidos na imagem referência (2004) utilizando o algoritmo de Índice de Pureza de Pixel – PPI (Boardman et al., 1995), implementado no ENVI. Esses pixels foram inspecionados quanto à curva espectral e comparados aos espectros de amostras de solo exposto, água e vegetação verde, identificados na imagem, gerando o MLME a ser aplicado às imagens de 2004 e 2010. A geração das imagens-fração foi realizada utilizando as seis bandas ópticas das imagens da série, formando um sistema de equações lineares, resolvido pelo método dos Mínimos Quadrados, com restrição (0-1). O valor do erro médio quadrático (RMS) e a sua distribuição foram utilizados para verificar o ajuste do modelo.

A subtração das imagens-fração foi aplicada como técnica de detecção de mudança visando analisar as conversões presentes na área de estudo. A álgebra de imagens envolve operações aritméticas aplicadas aos pixels em cada imagem co-registrada, cujo resultado é a imagem diferença (no caso da subtração). Essa técnica é a mais amplamente utilizada entre os algoritmos de detecção de mudanças, podendo ser aplicada tanto nas bandas originais como nas bandas transformadas. Ela envolve a subtração da imagem de uma data pela imagem de uma segunda data, que deve estar precisamente registrada com a primeira, cujo resultado será uma imagem onde os valores positivos e negativos representam as áreas de mudança e os valores mais próximos de zero representam áreas de não-mudança (Coppin et al., 2004).

Para determinação das regiões homogêneas e seleção das amostras, foi utilizada uma segmentação por regiões com limiares 15 e 30 (similaridade e área), realizada sobre as seis bandas originais da imagem de 2010. Os dados levantados em campo e a interpretação visual da imagem de 2004 foram utilizados para identificar o uso e cobertura anterior.

As imagens-diferença solo, sombra e vegetação foram classificadas pelo algoritmo *Bhattacharyya*, baseado na classificação de regiões, que permite associar cada região com uma das classes, utilizando-se o critério de distância mínima. Cada região e cada classe são descritas estatisticamente através dos vetores de médias e das matrizes de covariância calculados no espaço de atributos, onde é possível calcular a distância entre duas massas de dados (a região e a classe) através da distância de *Bhattacharyya* (Mather, 1999; Richards e Jia, 2006). A validação do desempenho da classificação foi realizada através do grau de exatidão total e da exatidão por classes, decorrendo no índice de concordância *Kappa* (Landis e Koch, 1977). Visando melhorar o desempenho da classificação, foram realizados agrupamentos das classes de conversões, tendo em vista as características de cada conversão quanto ao ganho e à perda de biomassa aérea (Tabela 1).

Levantamento de dados em campo

O trabalho de campo contou com duas etapas: a primeira, exploratória (janeiro de 2010), teve o objetivo de fazer uma caracterização das classes de uso e cobertura da terra; e a segunda, mais detalhada (novembro de 2010), procurou juntar à identificação de classes novas informações provenientes de questionários aplicados junto aos atores locais, visando ao resgate histórico das características das mudanças ocorridas na região. Assim, foram selecionadas e identificadas quatro principais classes e nove tipos de conversões na área de estudo, bem como quatro tipos de áreas de não-mudança, onde não houve alteração de classe entre uma data e outra (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de uso e cobertura da terra, conversões, áreas de não-mudança encontradas na área de estudo e agrupamentos utilizados.

CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA	CONVERSÕES IDENTIFICADAS	AGRUPAMENTOS DE CONVERSÕES
F: floresta (primária)	FP: floresta-pasto	TAPB - conversão de alta perda de biomassa
C: capoeira (sucessão secundária)	FC: floresta-capoeira	TMPB – conversões de média perda de biomassa
A: agricultura	FA: floresta-agricultura	
P: pasto	CP: capoeira-pasto	TBPB – conversões de baixa perda de biomassa
ÁREAS DE NÃO-MUDANÇA	CA: capoeira-agricultura	
FF: floresta-floresta	AP: agricultura-pasto	TBGB – conversões de baixo ganho de biomassa
CC: capoeira-capoeira	PA: pasto-agricultura*	
AA: agricultura-agricultura	PC: pasto-capoeira	
PP: pasto-pasto	AC: agricultura-capoeira	

* Conversão sem representação amostral

Análise dos produtos e avaliação da dinâmica das conversões

Tendo em vista o produto com o melhor desempenho classificatório, foram realizadas análises das conversões em função do projeto de colonização e da distância da rede viária. A informação da rede viária foi atualizada a partir da interpretação visual da imagem-solo mais recente (2010). Foram criados mapas de distância, levando em conta a distância para todas as estradas (BR-210 e vicinais) e a distância para a estrada principal (BR-210), com intervalos que variaram de 500 e 2500 metros e distância máxima de 2500 e 30000 metros, respectivamente. As informações das conversões foram analisadas nas diferentes faixas de distância, assim como nos diferentes projetos de colonização.

3. Resultados e discussão

Os resultados da etapa de pré-processamento visando à correção atmosférica e ao ajuste radiométrico entre as imagens (2004 e 2010) foram considerados satisfatórios. Os componentes puros selecionados para a geração das imagens fração sombra, solo e vegetação, derivadas do MLME, foram obtidos na imagem ajustada de 2004 e utilizados também na obtenção das imagens-fração da imagem 2010. Os erros médios quadráticos do modelo (RMS – *Root Mean Squared “error”*) foram considerados adequados.

As imagens-diferença resultantes da subtração entre as duas datas forneceram informação sobre a variação de cada conversão nos componentes selecionados para o modelo

- no caso solo, sombra e vegetação. Valores positivos indicaram aumento da influência do componente da primeira data em relação à segunda data. De forma análoga, valores negativos indicaram diminuição do componente e os valores próximos a zero indicaram pouca variação do componente no período estudado. As conversões FP, CP e AP apresentaram valores positivos, enquanto que a conversão PC apresentou valor negativo. As demais permaneceram próximas a zero. Esse resultado evidencia a influência da classe pasto nesse componente. Na subtração das imagens-fração de sombra, as conversões FC, FP e FA apresentaram valores negativos, enquanto que as demais ficaram próximas a zero. A fração sombra, muito presente na classe floresta, e a sucessiva conversão para outra classe foi determinante para esse resultado. Valores positivos foram observados nas conversões CP e AP, que podem ser explicados por alguma presença de umidade ou restos culturais ou vegetativos na classe pasto. Na subtração das imagens-fração de vegetação, as conversões FC, FA e PC apresentaram valores positivos, ao passo que FP, CP e AP apresentaram valores negativos. Esse comportamento indica que o componente vegetação tem forte presença principalmente nas classes capoeira e agricultura, determinando diminuição nas conversões em direção à classe pasto e aumento nas conversões direcionadas à capoeira e à agricultura.

Os resultados das classificações supervisionadas realizadas indicaram o melhor desempenho para aquela que utilizou o agrupamento de conversões baseado no ganho e na perda de biomassa, com valores de *Kappa* e exatidão global de 0,78 e 82,76%, respectivamente, diferentes estatisticamente (a 5% de significância) dos valores obtidos da classificação com todas as conversões identificadas (0,67 e 71,65%). A Figura 2 apresenta a distribuição espacial das classes temáticas na área de estudo na presente classificação.

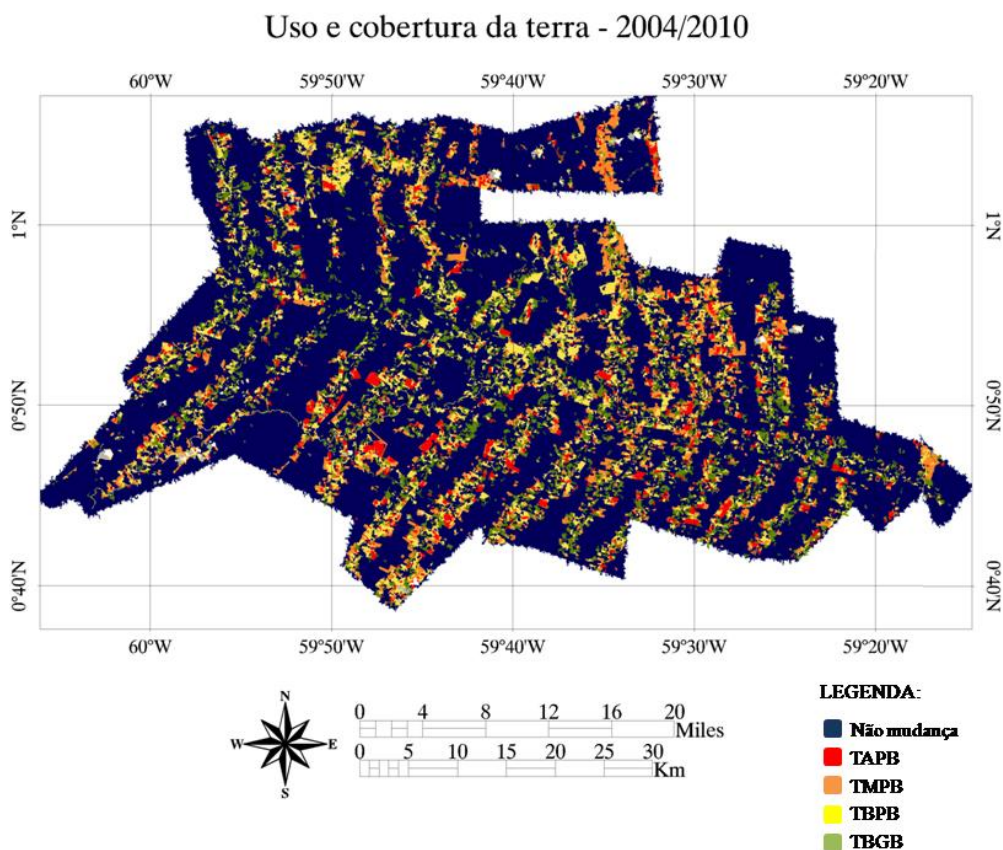


Figura 2. Classificação temática das conversões pelo método *Bhattacharyya* com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010.

De acordo com as análises realizadas para o período de 2004-2010 (Figura 3), observou-se que os projetos de colonização apresentaram características distintas em relação aos tipos de conversões predominantes. Enquanto que em São Luizão quase 50% das conversões têm origem na classe floresta caracterizando novas aberturas, em São João da Baliza e em Caroebe essas conversões representam em torno de 30%, predominando as conversões entre classes de uso da terra (capoeira, agricultura e pasto). Observa-se o predomínio do agrupamento TMPB em São Luizão e em Entre Rios em relação ao TAPB, o que caracteriza as conversões mais comuns às aberturas de áreas para atividade agrícola. Em Baliza e Caroebe observa-se o predomínio dos agrupamentos TBGB e TBPB, característicos nessas áreas da dinâmica ligada à atividade pecuária. Em Entre Rios, pode-se observar uma característica intermediária, que pode significar a migração da região para a atividade pecuária ou a utilização das capoeiras na atividade produtiva agrícola (sistema de pousio), conforme observado nas entrevistas de campo.

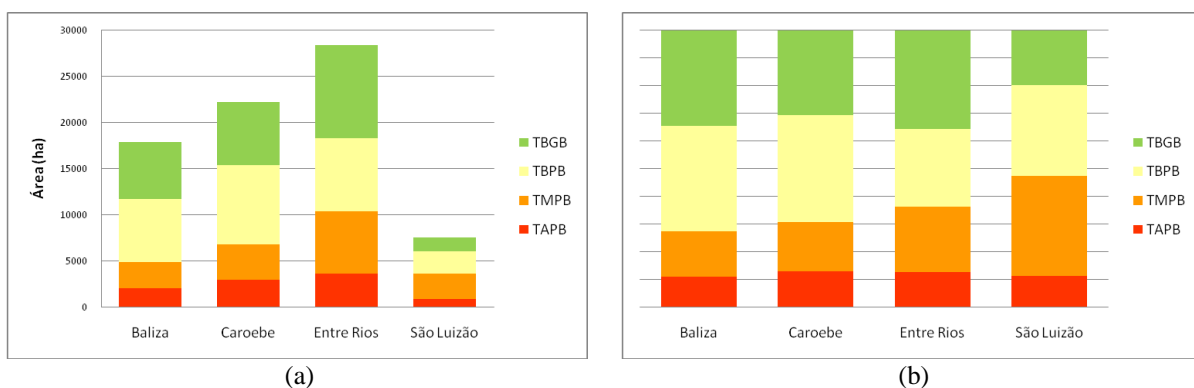
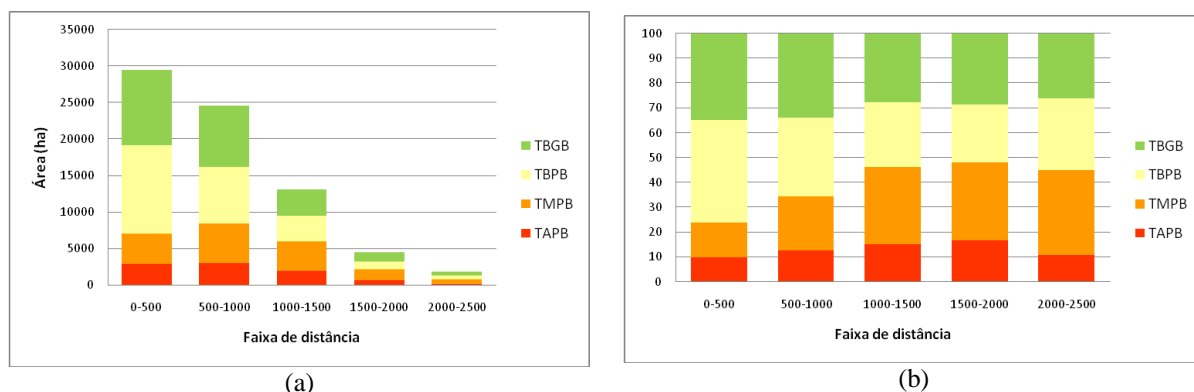
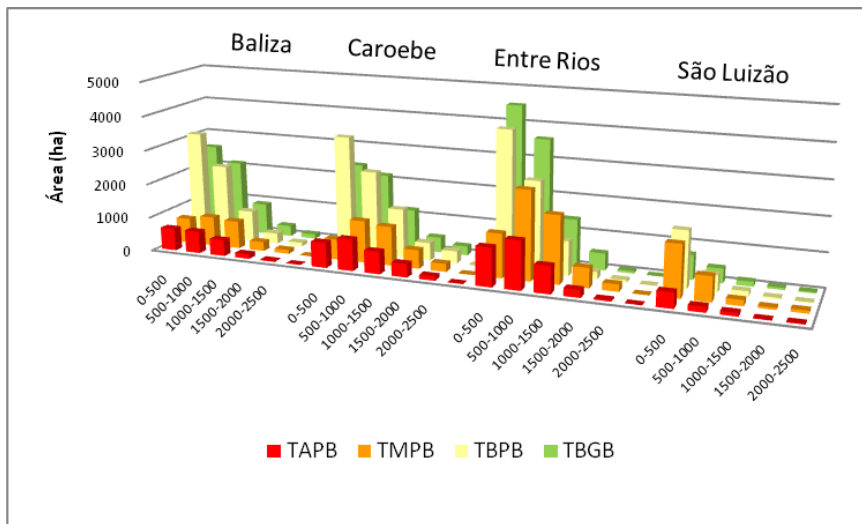


Figura 3: Presença dos tipos de conversões nos projetos de colonização: (a) valores absolutos; (b) valores relativos.

Os resultados do cruzamento da classificação selecionada com os mapas de distância às estradas para toda a área de estudo mostram a presença das conversões em todas as faixas de distância, sendo bastante significativa até a distância de 1500 metros da estrada (Figura 4a). Observa-se que nas faixas mais distantes das estradas (acima de 1000 m) há aumento relativo das conversões de abertura de áreas, TMPB e TAPB (Figura 4b). Na análise comparativa entre os projetos de colonização (Figura 4c), observa-se que as conversões em Baliza e em Caroebe apresentaram áreas e comportamentos semelhantes, ao passo que Entre Rios e São Luizão possuem características bem diferentes. Entre Rios apresentou as maiores áreas de conversões em praticamente todas as distâncias e São Luizão apresentou conversões concentradas até 1000 metros das estradas.

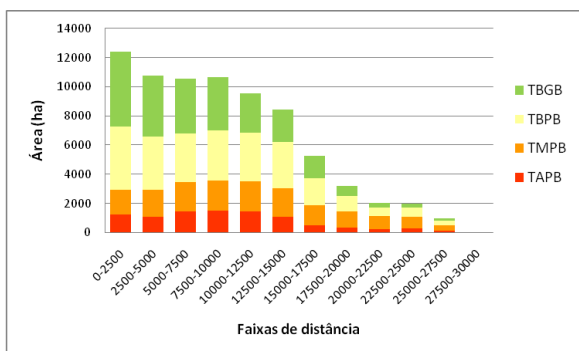




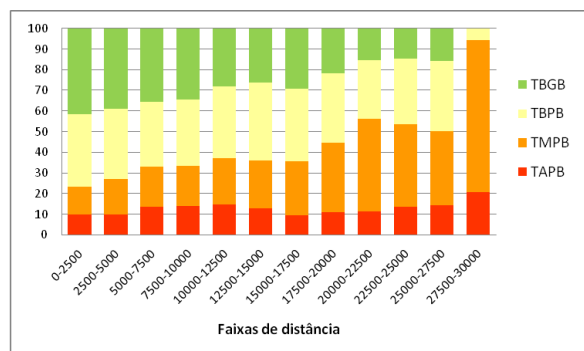
(c)

Figura 4. Presença das conversões em faixas de distância a partir de todas as estradas presentes na área de estudo (BR-210 e vicinais): (a) valores absolutos; (b) valores relativos; (c) valores absolutos por projeto de colonização.

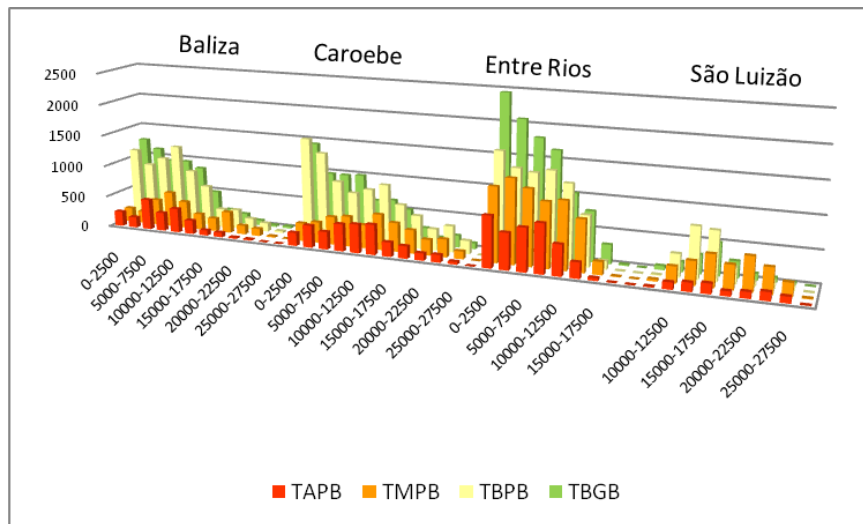
Em relação à distância da BR-210, observa-se que as conversões apresentam diminuição em área com o aumento da distância, sendo bem suave nos primeiros 15 km e mais abrupta a partir dessa faixa (Figura 5a). De acordo com a observação dos valores relativos, nota-se que conforme aumenta a distância da estrada principal, há um aumento gradativo da classe TMPB (conversões floresta-capoeira e floresta-agricultura) e uma diminuição também gradativa da classe TBGB (conversões pasto-capoeira e agricultura-capoeira), indicando o aumento da abertura de novas áreas (Figura 5b). Na análise comparativa entre os projetos de colonização (Figura 5c), observa-se que Entre Rios apresenta maiores áreas de conversões nas faixas de distância até 10 km, enquanto que em Baliza e Caroebe as conversões são mais distribuídas ao longo dos 20 km de distância para a BR-210.



(a)



(b)



(c)

Figura 5. Presença das conversões em faixas de distância a partir da BR-210: (a) valores absolutos; (b) valores relativos; (c) valores absolutos por projeto de colonização.

4. Conclusões

O trabalho utilizou técnicas de processamento de imagens consideradas adequadas na análise de dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra. A subtração das imagens-fração no período abordado conseguiu discriminar tipos de conversões, através do agrupamento baseado no ganho e na perda de biomassa, tendo a classificação *Bhattacharyya* apresentado índice *Kappa* considerado muito bom (Landis e Koch, 1977).

As análises da dinâmica das conversões nos diferentes projetos de colonização em função da distância às estradas principais e secundárias, para o período analisado (2004-2010) mostraram que:

- São João da Baliza e Caroebe apresentaram comportamentos semelhantes em relação às conversões existentes, sendo a grande maioria delas indicadoras de mudanças de uso da terra (TBPB e TBGB), o que pode justificar a tendência dessas regiões à atividade pecuária, conforme observado em campo. Em relação à distância das estradas, as duas regiões apresentaram conversões de aberturas de novas áreas mais concentradas até 1500 metros das vias de acesso (principal e vicinais) e entre 5000 e 15000 metros da BR-210;
- Entre Rios apresentou maior área de conversão para quase todos os tipos de conversões, indicando intensa dinâmica nas mudanças de uso e cobertura da terra, com conversões de aberturas de áreas (principalmente TMPB) na mesma proporção que as conversões de uso (TBPB e TBGB). Em relação às estradas, as conversões de abertura estiveram concentradas também até 1500 metros das estradas e até 10000 metros da BR-210;
- São Luizão apresentou grande quantidade de conversões de aberturas de áreas (TAPB e TMPB) a uma distância de 1000 metros das estradas, indicando ocupação recente da região no período estudado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa e ao INPE pelo apoio disponibilizado para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências bibliográficas

- Barbosa, R.I. Análise do setor madeireiro do Estado de Roraima. **Acta Amazonica**, 20: 193-209, 1990.
- Boardman, J. W.; Kruse, F. A.; Green, R. O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. **Summaries, Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop**, JPL Publication 95-1, 1: 23-26, 1995.
- Coppin, P.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 9: 1565-1596, 2004.
- Landis, J. R.; Koch, G. C. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, 1:159-174, 1977.
- Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2.ed. Chinchester: John Wiley, 292p., 1999.
- Ponzoni, F.J.; Zullo Junior, J.; Lamparelli, R.A.C. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicação**. São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 65p., 2007.
- Richards, J.A. Jia, X. **Remote sensing digital image analysis: An introduction**. 4 ed. Springer, Berlin, 2006, 476p., 2006.
- Roberts, D. A.; Batista, G. T.; Pereira, J. L. G.; Waller, E. K.; Nelson, B. W. Change identification using multitemporal spectral mixture analysis: applications in eastern Amazonia. In: Lunetta, R.S; Elvidge, C.D. (ed.) **Remote sensing change detection: environmental monitoring methods and applications**. Ann Arbor: Ann Arbor Press, p.137-161, 1998.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 29: 16-20, 1991.
- Smith, M. O.; Ustin, S. L.; Adams, J. B.; Gillespie, A. R. Vegetation in deserts: a regional measure of abundance from multispectral images. **Remote Sensing of Environment**, v. 31, 1: 1-26, 1990.