

Análise comparativa entre imagens dos sensores CCD/CBERS2 e ETM+ na classificação da cobertura vegetal no semi-árido brasileiro

Dênis de Moura Soares¹
Marcos Wellausen Dias de Freitas¹
Eduardo Moraes Arraut¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{denis, freitas, arraut}@ltid.inpe.br

Abstract. This paper presents a comparative study between the CCD-CBERS 2 and ETM+-Landsat sensors for land cover and land use classification of an area in the Northeastern Brazilian semi-arid. The classification algorithms utilized were the maximum likelihood (MAXVER) and the MAXVER Fuzzy. Results were similar for both sensors, with a little advantage of CCD-CBERS2, probably because of its finer spatial resolution.

Palavras-chave: remote sensing, CCD-CBERS2, digital classification, sensoriamento remoto, CCD-CBERS2, classificação digital.

1. Introdução

A comunidade científica brasileira envolvida com o estudo e aplicações de sensoriamento remoto conta com uma nova ferramenta de pesquisa, as imagens de nível orbital do satélite sino-brasileiro CBERS 2 (China-Brazil Earth Resources Satellite 2), sendo uma das principais tarefas atuais de tal comunidade a avaliação de tais produtos. Este trabalho teve como objetivo principal a realização de uma análise comparativa entre as imagens do CBERS 2-CCD com o Landsat 7-ETM+ em relação à classificação da cobertura vegetal em uma área do semi-árido brasileiro, que ainda apresenta deficiência de estudos envolvendo o sensoriamento remoto. O mapeamento da cobertura vegetal é um das principais aplicações dos produtos de sensoriamento remoto, sendo utilizada nos mais variados estudos de cunho ambiental preocupados na caracterização dos ecossistemas terrestres.

A escolha do Landsat 7-ETM+ foi devida à sua popularidade em estudos ambientais, caracterizando um bom parâmetro para comparações com o CBERS 2-CCD. As principais diferenças entre tais satélites se referem ao sistema de imageamento (mecânico no Landsat 7 e eletrônico no CBERS 2-CCD), à resolução espacial (30 metros – 15 metros na pancromática - no Landsat 7 e 20 metros no CBERS 2-CCD) e à resolução espectral (Landsat 7 com oito bandas nas regiões do visível e infravermelhos próximo, médio e termal; CBERS 2-CCD com cinco bandas nas regiões do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético).

Para a análise comparativa foram realizadas classificações supervisionadas (algoritmo MAXVER e MAXVER *Fuzzy*), analisadas através de medidas quantitativas de exatidão das classificações (índice kappa e matriz de confusão) e da análise visual das mesmas. Tais análises permitiram avaliar a capacidade de mapeamento da cobertura vegetal do semi-árido brasileiro pelos sensores CCD-CBERS e e ETM+. Esta forma de análise já foi utilizada em outros estudos comparativos do mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo, como por exemplo, entre o Landsat-TM e o SPOT-HRV (Kawakubo et al., 2003; Miguel-Ayanz e Biging, 1997).

2. Área de estudo

A área de estudo corresponde a um quadrado com cerca de 200 km², entre as coordenadas geográficas 8°00'S 39°52'W e 8°07'S 39°45'W, inserida na bacia hidrográfica do rio Brígida e que tem por referência o povoado de Quixabá ligado ao município de Ouricuri-PE. Tal área foi escolhida por representar uma área nuclear do domínio morfoclimático das caatingas (Ab'Sáber, 2003) e por já apresentar estudos detalhados da cobertura vegetal e de detecção de mudanças do uso da terra (Carvalho, 1986; Maldonado, 1999). Em relação a tais estudos detalhados foram identificadas nas imagens de satélite quatro formas principais de cobertura vegetal na área:

- 1) Caatinga arbórea: representa a fisionomia florestal da caatinga que representou, no passado, a forma peculiar das caatingas e hoje se apresenta bastante degradada no nordeste brasileiro. Apresenta dois tipos estruturais principais: caatinga arbórea descontínua e contínua.
- 2) Caatinga arbóreo-arbustiva: apresenta em sua maioria o padrão aclareirado com uma cobertura vegetal descontínua e de baixa cobertura do solo, além da estrutura representada por árvores e arbustos como a jurema preta (*Mimosa hostilis*), a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*) e o pereiro preto (*Aspidosperma pyrifolium*). Apresenta o agrupamento de tais tipos estruturais da vegetação: caatingas aclareiradas arbóreo-arbustiva, arbórea e arbórea clara.
- 3) Galeria: representada pelo Complexo Arbóreo semi-decíduo, localizado geralmente em várzeas e planícies fluviais adequadas para os vegetais perenes. Formado principalmente por árvores de grande porte e folhagem perene como o juazeiro (*Zizyphus juazeiro*) e quixabeira (*Bumelia sartorum*).
- 4) Cultura: espaços desprovidos de cobertura vegetal, com formas geométricas irregulares a retangulares, contornos retilíneos, limites abruptos. Também podem estar ocupados por um Complexo Arbustivo-Herbáceo ou Arbustivo denso, conservando em geral as formas geométricas e os limites abruptos, típicos de áreas de reconquista vegetal ou áreas de ocupação humana abandonadas. Encontram-se, em geral, culturas sem práticas de cobertura com restos vegetais e com disposição para irrigação por dispersão da enxurrada para infiltração no solo. Pode se encontrar três tipos de lavouras: a roçada, a mecanizada e em covetas.

3. Materiais e Método

3.1 Classificador por Máxima Verossimilhança

O classificador por Máxima Verossimilhança (MAXVER) é um classificador paramétrico - pois assume distribuição normal para cada uma das classes em cada uma das bandas, através da qual calcula os parâmetros média e matriz de covariância (Jensen, 1986) - que computa as probabilidades de um determinado *pixel* pertencer a cada uma das classes determinadas na fase de treinamento, associando-o em seguida à classe a qual ele apresenta a maior probabilidade. A distribuição de cada uma das classes no espaço de atributos é determinada pelas amostras obtidas pelo usuário na fase de treinamento. O classificador MAXVER assume que todas as classes ocorrem em proporções semelhantes na amostra; ou seja, que em uma classificação hipotética na qual cada *pixel* fosse associado a uma classe

por um processo aleatório, a probabilidade de este ser associado a uma ou outra classe seria a mesma.

3.2 Classificador Nebuloso (*Fuzzy*)

O classificador nebuloso parte do pressuposto que podem haver *pixels*-mistos na imagem; ou seja, nos quais há informação sobre mais de um tipo de alvo. Diferentemente dos classificadores rígidos, nos quais um *pixel* é atribuído a apenas uma determinada classe, o classificador nebuloso usa uma função de pertinência (*membership function*) através da qual associa um grau de pertinência de cada *pixel* a cada classe. No processo de classificação no ERDAS (ERDAS, 1999), usado neste trabalho, o grau de pertinência é determinado por um algoritmo de classificação MAXVER; porém, diferentemente do MAXVER tradicional, utiliza vetores de média nebulosa e matriz de covariância nebulosa (Wang, 1990). Os valores deste grau de pertinência vão de 0 a 1, sendo 1 equivalente à certeza do *pixel* pertencer apenas a uma determinada classe (neste caso igual a um classificador rígido). O número de classes para as quais é calculado o grau de pertinência é pré-determinado pelo usuário, sendo no mínimo duas, pois apenas uma classe implicaria em nenhuma decisão nebulosa. O resultado serão várias camadas de classificação nebulosa, a primeira com as classes para as quais os *pixels* tiverem apresentado o maior grau de pertinência, a segunda para as que apresentarem o segundo maior grau de pertinência, e assim por diante – o número de camadas depende do número de classes determinados anteriormente. Por exemplo, um *pixel* pode ser classificado como 0.8 ‘Campo Cerrado’ e 0.2 ‘Solo exposto’, se a decisão envolver apenas duas classes.

3.2.1 Convolução Nebulosa

A operação de convolução nebulosa atua no espaço da imagem, sobre todas as camadas geradas na classificação nebulosa. Para cada classe *k* ele calcula a média ponderada dos graus de pertinência dos *pixels* classificados em *k*, presentes na janela, e soma os resultados desta operação em todas as camadas. Seu resultado é, portanto, uma única camada de classificação final (ERDAS, 1999). Visualmente observa-se uma suavização da superfície, na qual são eliminados, por exemplo, *pixels* de uma determinada classe que se encontram isolados em uma vizinhança de *pixels* de uma outra classe; também chamado de redução de ruído gerado durante o processo de classificação.

3.3 Etapas para classificação das imagens CBERS 2-CCD e Landsat 7-ETM+

As imagens escolhidas foram a CBERS 2-CCD de 31/08/2004 e a Landsat 7-ETM+ (WRS 217/66 de 10/09/2001), sendo preferidas devido à data das imagens (período seco) que é fator fundamental para o sucesso da classificação da caatinga (Carvalho, 1986; Maldonado, 1999). Tais imagens foram submetidas aos processos de correção geométrica, calibração atmosférica (pelo método de subtração do pixel-escuro) e em seguida à classificação. Como pode ser observado, o processo de classificação da imagem Landsat 7-ETM+ foi feito com dois grupos de bandas.

As etapas deste trabalho encontram-se listadas na **Tabela 1**, na qual são discriminadas as operações realizadas em cada imagem, incluindo as combinações de bandas utilizadas.

Tabela 1 – Etapas do trabalho cujo resultado final foi a classificação das imagens CBERS-CCD e Landsat-TM.

| | CBERS 2- CCD | Landsat 7-ETM+ (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) | Landsat 7-ETM+ (bandas 1,2,3,4) |
|----------------------|-----------------|--|------------------------------------|
| Correção Geométrica | √ | √ | √ |
| Correção Atmosférica | √ | √ | √ |
| MAXVER | √ | √ | √ |
| MAXVER Nebuloso | √ | - | √ |
| Convolução Nebulosa | √ | - | √ |
| Índice Kappa | √ | √ | √ |
| Matriz de Confusão | √ | √ | √ |
| Tabulação Cruzada | √ | √ | √ |

3. Resultados e Discussão

Tendo procedido o processamento das imagens ETM+ e CCD/CBERS, foram obtidos resultados distintos que serão discutidos nesta seção. As tabelas apresentadas contêm as amostras testes em linha e as classificações nas colunas.

A **Tabela 2-A** mostra a estatística da classificação supervisionada MAXVER realizada sobre as seis bandas reflexivas (pois não foi incluída a banda termal, emissiva) da imagem ETM+. Foi obtida uma exatidão total superior a 96% e um índice kappa de 0,9050. A classe de caatinga arbórea-arbustiva foi a que apresentou maior confusão, com 20,31% de omissão, pois tem resposta espectral semelhante à da classe de cultura.

Pode-se notar, ainda, na **Tabela 2-B** que a exatidão total da classificação supervisionada MAXVER sem utilização das bandas 5 e 7 (infravermelho médio) atingiu a mesma percentagem da classificação com 6 bandas, enquanto o coeficiente kappa também foi praticamente o mesmo. A semelhança entre os resultados obtidos com as bandas do SWIR indica que esta região espectral provavelmente contribui com pouca informação para a classificação de regiões de caatinga no período seco (**Figura 2-A**).

Tabela 2 – Estatística das classificação MAXVER realizada sobre a imagem ETM+ 6 bandas (A), 4 bandas (B) e CCD/CBERS2 (C).

| | | | | |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Exatidão Total | | 0.9643 | | |
| Índice Kappa | | 0.9050 | | |
| Classes | Arbórea | Galeria | Cultura | Arbustiva |
| Arbórea | 96.97 | 0 | 0 | 2.86 |
| Galeria | 0 | 100 | 0 | 0 |
| Cultura | 0 | 0 | 96.77 | 4.44 |
| Arbustiva | 3.03 | 0 | 3.23 | 92.70 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

(A)

| | | | | |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Exatidão Total | | 0.9643 | | |
| Índice Kappa | | 0.9051 | | |
| Classes | Arbórea | Galeria | Cultura | Arbustiva |
| Arbórea | 96.97 | 0 | 0 | 2.86 |
| Galeria | 0 | 100 | 0 | 0 |
| Cultura | 0 | 0 | 96.77 | 4.44 |
| Arbustiva | 2.92 | 0 | 3.23 | 92.70 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

(B)

| | | | | |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Exatidão Total | | 0.9738 | | |
| Índice Kappa | | 0.9598 | | |
| Classes | Arbórea | Galeria | Cultura | Arbustiva |
| Arbórea | 100 | 0 | 0 | 0 |
| Galeria | 0 | 100 | 0 | 0 |
| Cultura | 0 | 0 | 95.97 | 7.71 |
| Arbustiva | 0 | 0 | 4.03 | 92.29 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

(C)

Baseando-se nas 4 bandas multiespectrais do sensor CCD/CBERS, a **Tabela 2-C** apresenta que a exatidão total da classificação supervisionada MAXVER foi 97,38% e o índice kappa 0,9598 (ver resultado final da classificação na **Figura 2-B**). Conforme já abordado, as bandas na região SWIR contribuem com pouca informação, o que favorece a utilização das imagens gratuitas fornecidas pelo INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>) em regiões semelhantes. A superioridade estatística de tal classificação em relação às do ETM+ reflete provavelmente a resolução espacial mais fina do sensor CCD-CBERS2.

Como alternativa à classificação MAXVER tradicional (*hard*) foi realizada uma que utiliza operador nebuloso (lógica nebulosa - *soft*). Após a operação de convolução nebulosa, e conseqüente obtenção de um produto temático, foi feita uma análise estatística, para avaliação dos resultados. A **Tabela 3-A** traz os resultados obtidos para a imagem ETM+. Foi obtida uma exatidão global superior a 98% e índice kappa de 0,9693, podendo ser notada novamente a confusão ocorrida entre as classes cultura e caatinga arbustiva. A **Figura 2-C** apresenta o resultado final obtido no processo. Os resultados para a classificação da imagem CCD/CBERS 2 são apresentados na **Tabela 3-B**, sendo semelhantes aos obtidos através das imagens ETM+ (exatidão global acima de 96% e índice kappa de 0,9509). Na **Figura 2-D** pode ser vista a classificação final resultante.

Tabela 3 – Estatística da classificação MAXVER fuzzy realizada sobre as imagens ETM+ 4 bandas (A) e CCD/CBERS2 (B).

| | | | | |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Exatidão Total | | 0.9889 | | |
| Índice Kappa | | 0.9693 | | |
| Classes | Arbórea | Galeria | Cultura | Arbustiva |
| Arbórea | 99.84 | 0 | 0 | 3.17 |
| Galeria | 0 | 100 | 0 | 0 |
| Cultura | 0 | 0 | 91.61 | 0 |
| Arbustiva | 0.16 | 0 | 8.39 | 96.83 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

(A)

| | | | | |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Exatidão Total | | 0.9681 | | |
| Índice Kappa | | 0.9509 | | |
| Classes | Arbórea | Galeria | Cultura | Arbustiva |
| Arboréa | 100 | 0 | 0 | 0 |
| Galeria | 0 | 100 | 0 | 0 |
| Cultura | 0 | 0 | 96.15 | 11.02 |
| Arbustiva | 0 | 0 | 3.85 | 88.98 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

(B)

A análise visual das classificações permite a observação da capacidade da imagem CCD/CBERS2 em delimitar as áreas de transição arbustiva entre as culturas e a caatinga arbórea. A imagem ETM+, no entanto, apresentou menos versatilidade na delimitação (**Figura 2**), provavelmente por sua resolução espacial mais grosseira. Pode-se notar, ainda, a maior habilidade da imagem CCD/CBERS2 na identificação da mata galeria.

4. Conclusões

Este estudo mostrou a potencialidade das imagens do sensor CCD/CBERS2 no mapeamento da cobertura vegetal no semi-árido brasileiro. Na comparação com resultados das imagens do sensor ETM+, o sensor sino-brasileiro apresentou resultados superiores na detecção de áreas de transição e mata galeria, provavelmente devido a sua resolução espacial mais fina. A análise estatística comparativa das classificações mostrou resultados semelhantes para ambos sensores, com ligeira superioridade do CCD-CBERS2.

Agradecimentos

Ao Dr. Guaracy J. Erthal pelos valiosos comentários e revisão final do trabalho.

Referências

- Ab'Sáber, A. Os domínios de natureza no Brasil - potencialidades paisagísticas. São Paulo, Ateliê Editorial, 2003, 159 p.
- Carvalho, V.C. **Structure et dynamique de la vegetation en milieu tropical semi-aride. La Caatinga de Quixabá (Pernambouc, Brésil) du terrain a l'analyse des données MSS/Landsat.** São José dos Campos. 332p. (INPE-4049-RPE/524). Tesis (Doctorat) - Université de Toulouse-Le Mirail. INPE, 1986.
- Jensen, J. R. **Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective.** Prentice-Hall, New Jersey, 1986, 379 p.
- Kawakubo, F. S.; Morato, R. G.; Luchiari, A. Análise comparativa das imagens TM/Landsat 5 e HRV-SPOT no mapeamento da cobertura vegetal no Litoral Sul do Estado de São Paulo. **Geografia**, Rio Claro, v.28, n.2, 2003, p.279-289.
- Maldonado, F. D. **Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE.** (INPE-7180-TDI/680). Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999, 134p.

Wang, F. 1990. Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** 28(2): 194-201.

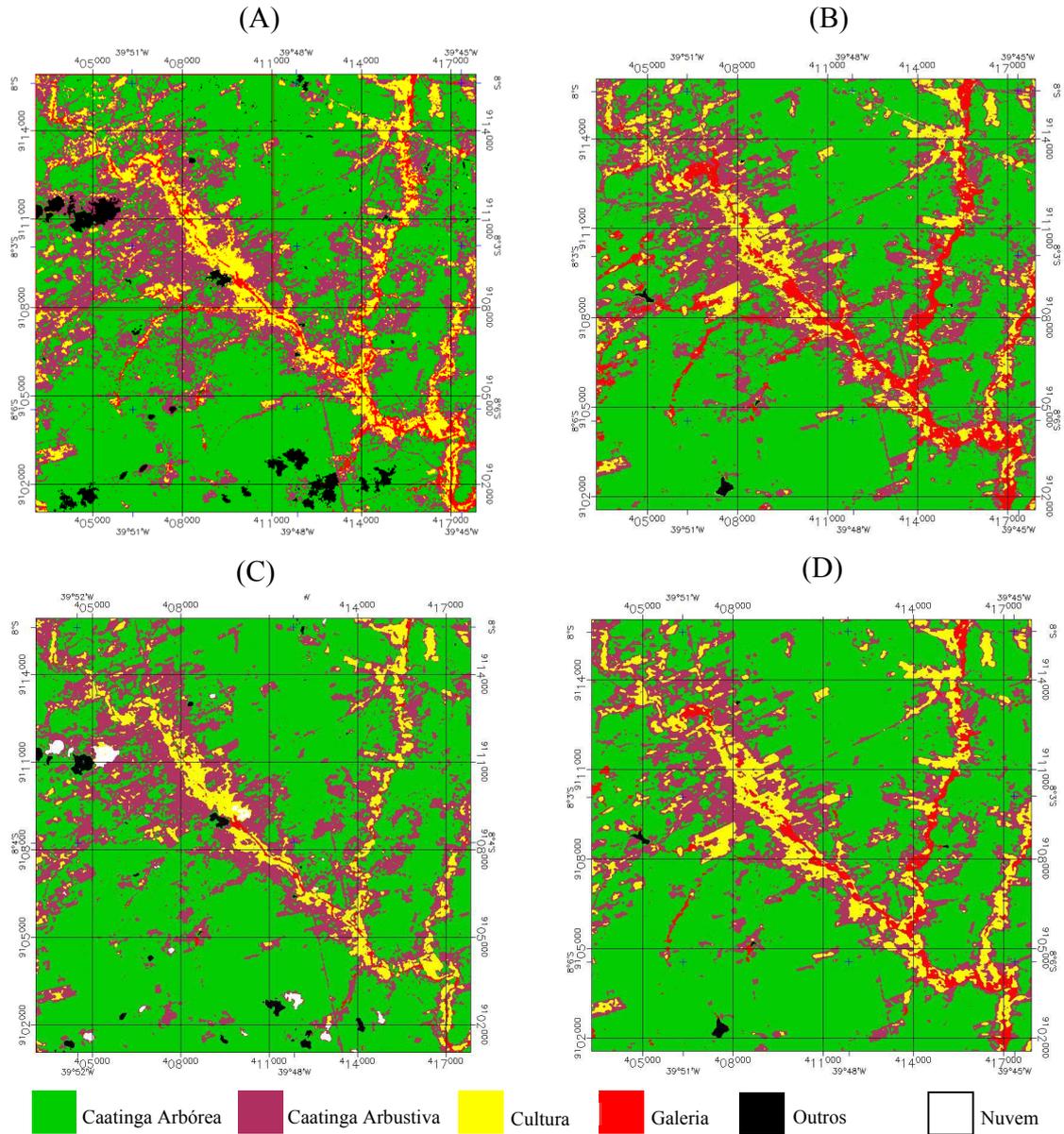


Figura 1 – Resultados das classificações. (A) MAXVER ETM+; (B) MAXVER CCD/CBERS2; (C) MAXVER Nebulosa ETM+; (D) MAXVER Nebulosa CCD/CBERS2.

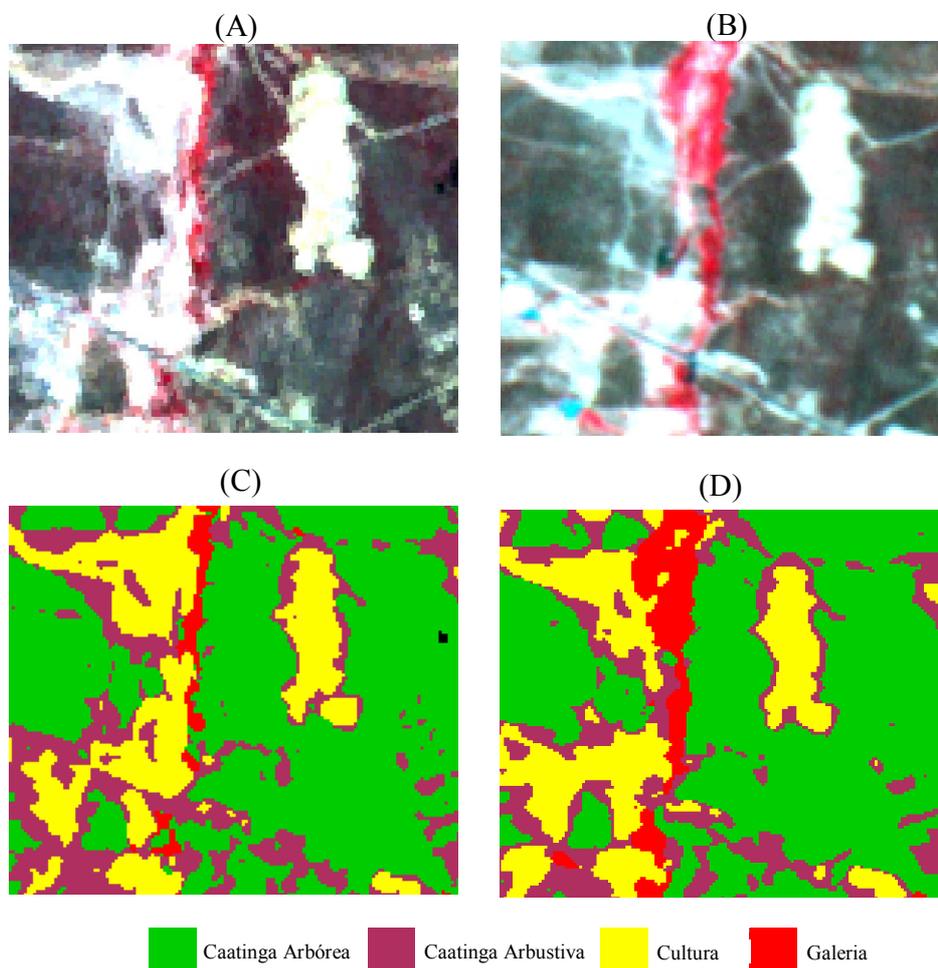


Figura 2 –Região de transição entre caatinga arborea e cultura. Composições R(4)G(3)B(2): (A) ETM+; (B) CCD/CBERS2. Classificações MAXVER nebulosa: (C) ETM+; (D) CCD/CBERS2.