

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/5: 979-990  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA NA AMAZÔNIA LEGAL MATOGROSSENSE: O ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE CLÁUDIA (MT)**

*Land Use Land Cover Change Detection in the Legal Amazon: A Case Study of  
Cláudia (Mato Grosso State, Brazil)*

**Thais Michele Rosan<sup>1</sup> & Enner Alcântara<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR**

Avenida dos Astronautas, 1758, 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
tmrgeo@gmail.com

**<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Departamento de Cartografia**

Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 - Presidente Prudente - SP, Brasil  
enner@fct.unesp.br

*Recebido em 1 de Março, 2015/ Aceito em 4 de Fevereiro, 2016  
Received on March 1, 2015/ Accepted on February 4, 2016*

### **RESUMO**

As mudanças de uso e cobertura da terra estão ocorrendo em passos acelerados, principalmente em áreas que compõem a fronteira do arco de desmatamento. O levantamento de informações e o monitoramento das alterações de uso e cobertura da terra são imprescindíveis para a compreensão dos processos de mudança, além da modelagem de seus impactos no meio ambiente. Portanto, este estudo tem como objetivo detectar as mudanças no uso e cobertura da terra no município de Cláudia – MT, localizado no eixo da BR-163. Para tanto, foram classificadas imagens de satélite de quatro décadas e geradas tabelas de estatística de detecção de mudanças, possibilitando traçar um panorama geral das mudanças que ocorreram no município. Os resultados demonstraram que entre 1985 e 2013 houve a conversão de 1214.3 km<sup>2</sup> da cobertura vegetal nativa. Essas áreas desmatadas foram destinadas, principalmente, para a agropecuária.

**Palavras chave:** Uso e Cobertura da Terra, Detecção de Mudanças, Sensoriamento Remoto.

### **ABSTRACT**

Land use and land cover (LULC) changes are occurring rapidly, above all in areas that compose the boundary arc of deforestation. The survey information and monitoring of LULC changes are indispensable to understand the changes processes, besides modeling the impact of changes on the environment. Therefore, this study aims to detect the land use and land cover changes in the county of Cláudia – MT, located on the axis of BR-163. For it we classified satellite data of four decades and generated change detection tables, to give an overview of land use and land cover changes. The results demonstrated that between 1985 and 2013 1214.3 km<sup>2</sup> of vegetation cover were converted. These disforested areas were converted, mainly, to soy bean production and cattle rising.

**Keywords:** Land Use Land Cover, Change Detection, Remote Sensing.

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira tem sido palco de intensas atividades da sociedade, transformando suas áreas florestadas em áreas destinadas à exploração madeireira, agricultura e pastagem. Esse processo se deu mais intensamente a partir da década de 1970, sob o ordenamento do Estado brasileiro por meio de estratégias de ocupação do território, como a implantação de redes de integração (rodovias, rede hidroeétrica, rede urbana, telecomunicações, dentre outros), superposição de territórios federais sobre os estaduais e subsídio ao fluxo de capital e fluxo migratório para a região (BECKER, 1990).

Segundo Becker (1990), no Estado do Mato Grosso a colonização foi dirigida por companhias privadas, tais como a Indeco e Sinop, com áreas localizadas principalmente no eixo da rodovia BR-163. Essas companhias além de controlarem a venda dos lotes, praticavam o beneficiamento da produção local, exerciam o poder político e executavam obras de infraestrutura, criando núcleos urbanos.

A dinâmica da ocupação da região amazônica se deu de forma relativamente rápida e recente, uma vez que a criação de infraestrutura para ocupação, como no caso do Mato Grosso, além de diversos incentivos do governo, desencadeou um grande fluxo migratório para a região acarretando em intensas mudanças.

O mapeamento e detecção de mudanças do uso e cobertura da terra ganhou grande destaque nos últimos anos, em decorrência da crescente preocupação com as dinâmicas das mudanças globais e a preservação do meio ambiente. O avanço tecnológico da observação da Terra por meio de sensores remotos permitiu a aquisição de dados sobre grandes extensões geográficas, além de possibilitar melhor acurácia no mapeamento do uso e cobertura da terra por meio de sensores com resoluções espaciais médias e altas (ANDERSON, 2004).

Os estudos de mudanças de uso e cobertura da terra retratam as formas e dinâmicas de ocupação da terra, tornando-se importante instrumento para o planejamento e orientação da tomada de decisão quanto às análises e avaliação de impactos ambientais decorrente das mudanças na cobertura vegetal. Esses estudos têm em vista

o monitoramento da cobertura vegetal e a relação com as forças de mudança no uso e cobertura da terra (ANDERSON, 2004), a influência da cobertura da terra na configuração de áreas queimadas (LIMA, 2013), além da modelagem e simulação das mudanças da paisagem (SOARES FILHO, 2001), processos que são delineados a partir da produção do espaço pela sociedade e sua relação com a natureza.

Os conceitos de uso e cobertura da terra geralmente são tomados como de mesmo significado, porém existe uma diferença conceitual entre eles. Segundo a FAO (2005) o uso da terra é “caracterizado pelos arranjos, atividades e insumos que as pessoas realizam em um determinado tipo de cobertura da terra para produzir, alterar ou manter”. Esse conceito está relacionado às ações da sociedade na paisagem. Já a cobertura da terra é definida pela “cobertura (bio)física observada na superfície da Terra” (FAO, op cit), ou seja, o tipo de cobertura física da superfície terrestre, como as fisionomias florestais, água, dentre outros.

O termo detecção de mudanças refere-se ao reconhecimento de alterações, por meio de técnicas do sensoriamento remoto, nos padrões característicos de determinado local num certo período de tempo, levando em consideração alguns aspectos, como a identificação da natureza da mudança, a mensuração da extensão da mudança e a avaliação do padrão espacial da mudança (LANG & BLASCHKE, 2009).

A partir dos dados de sensoriamento remoto é possível monitorar essas mudanças, visto que seus instrumentos possibilitam a aquisição repetitiva de imagens de determinada área de acordo com a resolução temporal do satélite. Os dados da série de satélites Landsat, são amplamente utilizados para este tipo de estudo, uma vez que possuem resolução espacial e temporal que permitem as análises das mudanças de uso e cobertura da terra em escalas cartográficas médias.

Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar as causas e os padrões de mudanças de uso e cobertura da terra que ocorreram no município de Cláudia (MT) ao longo de quatro décadas, utilizando técnicas de sensoriamento remoto para o mapeamento e a detecção das mudanças.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

O município de Cláudia está localizado no norte do Estado do Mato Grosso, situado entre as coordenadas 55° 28' 10" e 54° 40' 30" Oeste a 11° 48' 50" e 11° 8' 43" Sul (Figura 1). Possui uma área aproximada de 3.849,991 km<sup>2</sup>, com uma população de 11.028 habitantes, segundo

o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013).

O município foi inserido em 2011 pelo Ministério do Meio Ambiente, por meio do Art. 2º do Decreto nº 6.321/07, como área prioritária para prevenir, monitorar e controlar o desmatamento ilegal no bioma Amazônia.

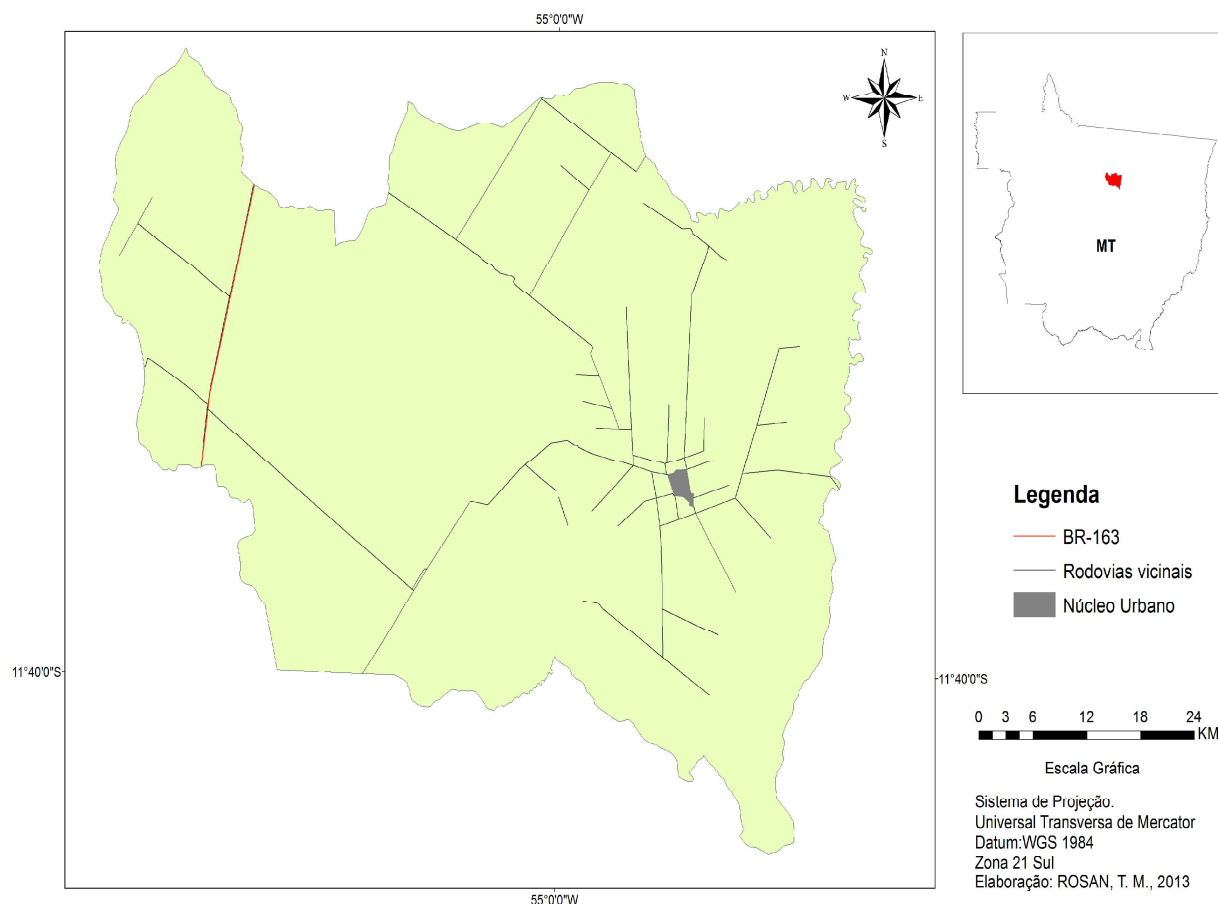


Fig. 1 - Localização do município de Cláudia – MT.

No município de Cláudia – MT, as principais causas do desmatamento são a extração madeireira, o fogo e, mais recentemente, a plantação de soja. A intensificação dessas atividades se deu após a construção de eixos rodoviários, que ligaram a Amazônia ao restante do Brasil a partir da década de 1970, como a BR-163 (Cuiabá-Santarém).

Segundo Lentini *et al.* (2003), o município de Cláudia em 1998 abrigava 35 madeireiras que consumiam em média 730.000 m<sup>3</sup> de madeira em tora, gerando uma renda de 52,8 milhões de dólares, se constituindo como um dos principais

polos madeireiros do Mato Grosso. Já em 2009, o consumo de toras foi de 217.000 m<sup>3</sup>, abrigando 36 madeireiras cadastradas. Esses dados demonstram que houve uma diminuição da extração madeireira, causados tanto pela intensa exploração da área, quanto pelo aumento da fiscalização e das políticas de preservação da floresta amazônica.

Essas florestas intensamente exploradas pela extração madeireira são mais susceptíveis a incêndios, uma vez que há o acúmulo de resíduos vegetais, aumentando a biomassa seca, além de abertura de clareiras, que contribuem para a

maior incidência de radiação solar (MONTEIRO *et al.*, 2004). A intensificação desses incêndios pelas práticas inadequadas de extração vegetal aumenta a queima de biomassa, afetando diretamente o ciclo do carbono e impactando as trocas radiativas na superfície (ANDERSON, 2004).

A Figura 2 representa os focos de calor detectados pelo satélite NOAA-12, em 1995 e pelo satélite Terra-Aqua, em 2005 e 2013 para

o município de Cláudia – MT. Em 1995 foram detectados 311 focos de calor, em 2005 foram detectados 380 focos e em 2013 foram 99 focos de calor. Esses dados demonstram que houve uma diminuição nos focos de calor detectados pelo sensor, isso pode ser explicado pelo aumento da fiscalização das queimadas no município, uma vez que em 2011 entrou para a lista de municípios prioritários para o controle e prevenção do desmatamento do Ministério do Meio Ambiente.

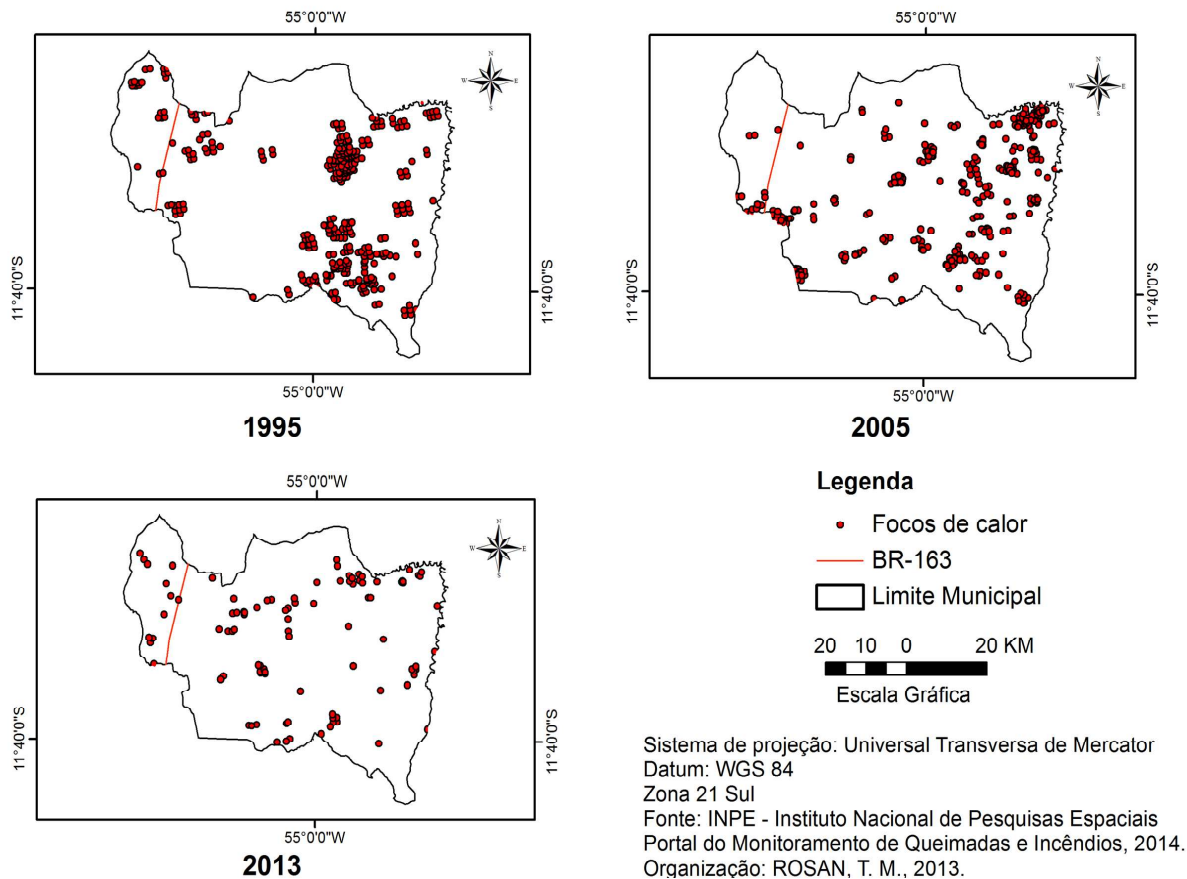


Fig. 2 - Distribuição dos focos de calor para o município de Cláudia – MT em 1995, 2005 e 2013.

A presença de áreas destinadas à plantação de soja no município é recente. Na Tabela 1 é possível observar que em 1990 a área plantada era de apenas 100 hectares, em 1995 não houve dados disponíveis da área de soja e em 2000 houve apenas 300 hectares plantados. O maior crescimento se deu após o ano de 2000, pois em 2005 a área plantada de soja foi de 38046 hectares e, em 2012 de 48808 hectares, apresentando uma alta taxa de crescimento.

Schwenk (2009) afirma que a produção de soja no município de Cláudia está em expansão,

pois em 2008 cerca de 10% da área total do município estava sendo utilizada pela produção de soja. Os dados da área plantada de soja demonstram uma nova dinâmica na utilização da terra. Nas primeiras décadas de análise (1980 e 1990) havia uma intensa exploração das áreas de vegetação natural pelas madeireiras. A partir do momento que essas áreas foram desmatadas e há o aumento da demanda por novas áreas, consolida-se o avanço da produção de soja no município.

Tabela 1: Área plantada de soja no município de Cláudia – MT

Ano	1990	1995	2000	2005	2012
Área (hectares)	100	-	300	38046	48808

Fonte: SIDRA/IBGE, 2013.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram utilizadas imagens do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do Landsat-5 para os anos de 1985, 1995 e 2005 entre julho a setembro e uma cena do sensor OLI (Operational Land Imager) a bordo do Landsat-8 para setembro de 2013, disponíveis no website <<http://glovis.usgs.gov/>>. Para o registro das imagens foi utilizada uma cena do Landsat-5 ortorectificada disponível no link <[ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf/Landsat/WRS2/p226/r068/p226r68\\_5t19880727.TM-EarthSat-Orthorectified](ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf/Landsat/WRS2/p226/r068/p226r68_5t19880727.TM-EarthSat-Orthorectified)>.

A primeira etapa do trabalho consistiu no pré-processamento das imagens: correção radiométrica, correção atmosférica e registro. A correção radiométrica foi realizada segundo a proposta de Chander e Markham (2009) para as bandas 1,2,3,4,5 e 7 do Landsat 5 e bandas 2,3,4,5,6 e 7 do Landsat 8, utilizando o aplicativo IDL/ENVI®. A equação 1 mostra a transformação do número digital em radiância registrada no sensor:

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \right) \times (Q_{cal} - Q_{cal\ min}) + L_{MIN\lambda} \quad (1)$$

onde:  $L_{\lambda}$  é a radiância espectral registrada no sensor ( $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ );  $Q_{cal}$  é o valor do pixel calibrado (adimensional);  $Q_{cal\ min}$  é o valor mínimo para o pixel calibrado (adimensional) correspondente ao  $L_{MIN\lambda}$ ;  $Q_{cal\ max}$  é o valor máximo para o pixel calibrado (adimensional) correspondente ao  $L_{MAX\lambda}$ ;  $L_{MIN\lambda}$  e  $L_{MAX\lambda}$  são as radiâncias registradas no sensor ( $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ ) que são escalonadas para  $Q_{cal\ min}$  e  $Q_{cal\ max}$ , respectivamente.

A correção dos efeitos atmosféricos foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Bernstein *et al.* (2012), utilizando o algoritmo QUAC (Quick Atmospheric Correction). Esse método foi aplicado nas imagens correspondentes

de 1985, 1995, 2005 e 2013. Este algoritmo utiliza apenas os parâmetros das imagens e uma biblioteca espectral, quando disponível, para a correção atmosférica. Como parâmetros foram utilizados as imagens em valores de radiância, inseridos os valores de comprimento de onda para cada banda no cabeçalho da imagem e tipo de sensor. O resultado desse processamento é a imagem com os valores de reflectância de superfície.






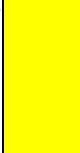
Com a finalidade de ajustar geometricamente as imagens referentes às datas de análise, foi realizado o registro utilizando uma cena já ortorectificada como base. Foram selecionados 9 pontos e as imagens registradas por meio do modelo polinomial de 1ª ordem, com amostragem dos níveis de cinza da imagem corrigida pelo interpolador do vizinho mais próximo, para preservar os valores radiométricos das imagens.

A avaliação do registro foi feita pela análise dos erros médio quadráticos, obtidos por meio dos pontos de controle distribuídos pela imagem. Todos os erros médios quadráticos ficaram abaixo de 0,2 pixel. Testou-se a sobreposição das diferentes cenas e não foi encontrada incongruência de posicionamento entre estas.

#### 3.1 Classificação

Após as correções e o recorte da área de estudo, foram definidas as classes de cobertura da terra para a classificação, descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Descrição das classes de uso e cobertura da terra

Classe	Cor	Descrição
Áreas de vegetação natural		Áreas de florestas;
Áreas em regeneração		Áreas abandonadas que estão em regeneração, em estágio de sucessão inicial ou intermediária;
Desmatamento		Áreas desmatadas;
Áreas expostas		Áreas que foram expostas pelo desmatamento ou após colheita;
Água		Áreas de corpos d'água e áreas alagadas;
Áreas antrópicas agrícolas		Áreas utilizadas para a agricultura e pecuária, em geral apresentaram formas bem definidas, como áreas retangulares e de irrigação por pivô central.

A definição dessas classes foi decorrente da pré-interpretação visual das imagens e adaptação das classes de uso e cobertura da terra do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE – Instituto brasileiro de Geografia e Estatística (2006).

Posteriormente foram adquiridas as amostras de cada classe e a imagem foi classificada utilizando o algoritmo SVM (Support Vector Machine) embasado na teoria de aprendizado estatístico desenvolvido por Vapnik (1995), como classificador no aplicativo ENVI®. O SVM consiste em uma técnica computacional de aprendizado para problemas de reconhecimento de padrão. Introduzida por meio da teoria estatística de aprendizagem por Vapnik (1995), essa classificação é baseada no princípio de separação ótima entre classes, tal que se as classes são separáveis, a solução é escolhida de forma a separar o máximo as classes.

O SVM possui quatro funções, sendo elas (1) linear, (2) quadrática, (3) polinomial e (4) função de base radial. Neste estudo foi utilizada a função de base radial (FBR). Esta função foi escolhida, pois todas as outras três funções são variações da FBR e segundo Brown *et al.* (2000) e Melgani e Bruzzone (2004) o FBR apresenta os melhores resultados na separação ótima de classes.

Após a classificação realizou-se, edição matricial da imagem classificada na ferramenta de pós-classificação do IDL/ENVI®, utilizando como base imagens de alta resolução do Google Earth quando disponíveis e outras cenas da série Landsat para corrigir possíveis confusões entre as classes.

A classificação foi avaliada utilizando o índice Kappa (LANDIS & KOCH, 1977) e os mapas com correção matricial foram utilizados como verdade de campo.

### 3.2 Detecção de Mudanças

Após a correção matricial das classificações, foi aplicada a ferramenta de estatística de detecção de mudanças presente no aplicativo IDL/ENVI®, no qual o resultado gerou a tabelas com informações de área, pixel e porcentagem das mudanças.

Nesta ferramenta os mapas temáticos da classificação são submetidos a uma diferenciação entre os pixels, no qual cada pixel da imagem inicial homólogo ao pixel na imagem final é

subtraído, revelando a trajetória e mudança do pixel em relação às classes, resultando na tabela com os dados de mudanças. Foram comparados os mapas temáticos de 1985-1995, 1995-2005, 2005-2013. Uma revisão sobre as técnicas de detecção de mudanças pode ser acessada em Tewkesbury *et al.* (2015).

## 4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados nos tópicos seguintes os resultados obtidos durante a pesquisa e a discussão desses resultados.

### 4.1 Classificação do Uso e Cobertura da Terra

O resultado da classificação para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2013, pode ser observado na Figura 3. Nesta figura é possível observar a configuração espacial das classes.

De modo geral a conversão da cobertura vegetal se deu em torno do núcleo urbano e ao longo das estradas, como a BR-163, facilitando o acesso para o desmatamento de novas áreas. Este é um padrão espacial característico das áreas de influência da BR-163 e da colonização dirigida por companhias de colonização no estado do Mato Grosso. Em 1985 os padrões de ocupação se caracterizavam por ser mais difuso e linear em decorrência da recente ocupação, nos anos subsequentes com o avanço da ocupação do município houve a junção e a consolidação de grandes manchas de ocupação.

As áreas mapeadas como desmatamento apresentam o padrão característico de abertura de clareiras para a retirada seletiva de madeira, como pode ser observado na classificação de 1995. Já as áreas destinadas à agricultura e à pecuária possuem um padrão espacial geométrico mais regular, em decorrência da delimitação dos lotes.

Na Figura 4 estão descritas as áreas de ocupação de cada classe. Nesta, observa-se a gradativa diminuição das áreas de vegetação natural, visto que em 1985 eram aproximadamente 3415,24 km<sup>2</sup> de áreas de vegetação natural, já em 2013 foram contabilizados 2284,10 km<sup>2</sup> desta classe. Em contrapartida, as áreas de regeneração aumentaram: em 1985 eram 92,49 km<sup>2</sup>, e em 2013, 133,68 km<sup>2</sup>.

As áreas expostas e áreas antrópicas agrícolas foram as classes que apresentaram o

maior aumento de sua área no município, uma vez que em 1985 a produção agropecuária era incipiente e a partir do final da década de 90 começa-se expandir a produção de soja, como foi observado na Tabela 1. Na Figura 4, observa-se que em 1985 não foram mapeadas as áreas

antrópicas agrícolas e áreas expostas somavam 194,29 km<sup>2</sup>. Já em 1995 as áreas antrópicas agrícolas possuíam uma área 224,56 km<sup>2</sup> e áreas expostas 391,19 km<sup>2</sup> e em 2013 a somatória das áreas antrópicas agrícolas foi de 567,26 km<sup>2</sup> e áreas expostas 771,85 km<sup>2</sup>.

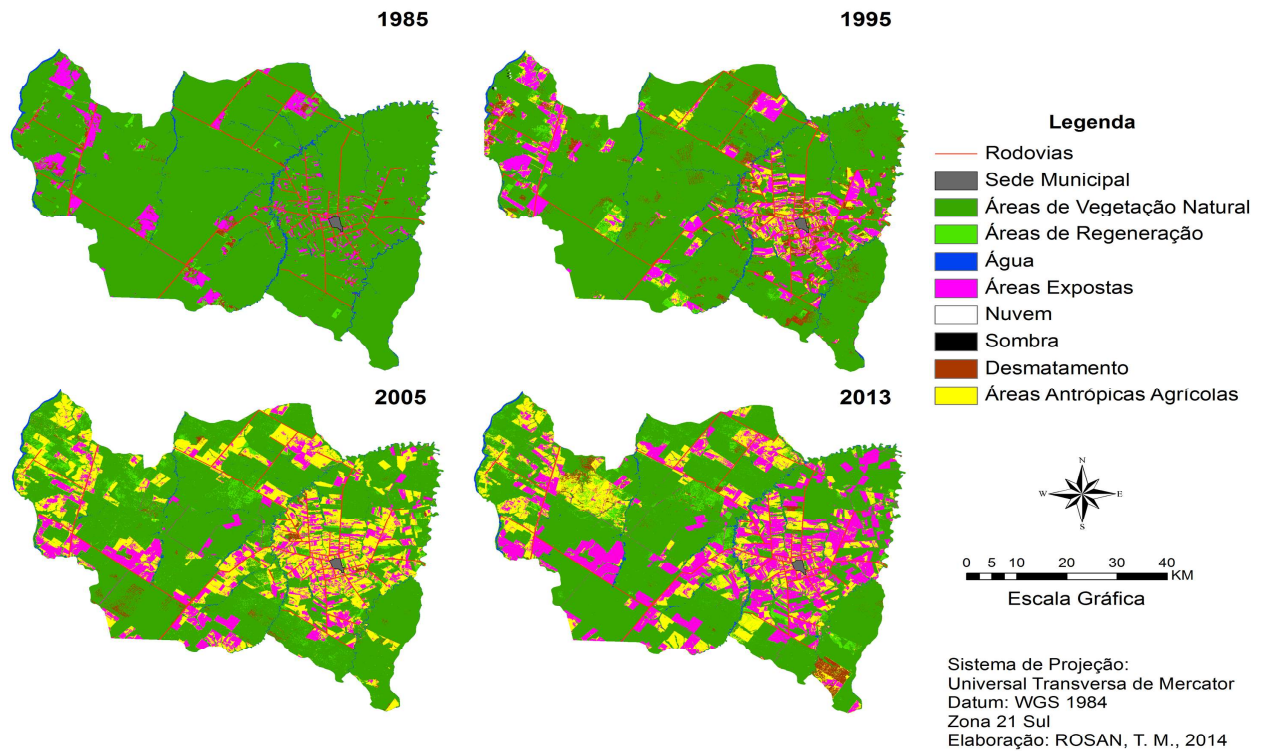


Fig. 3 - Uso e cobertura da terra do município de Cláudia – MT, em 1985, 1995, 2005 e 2013.

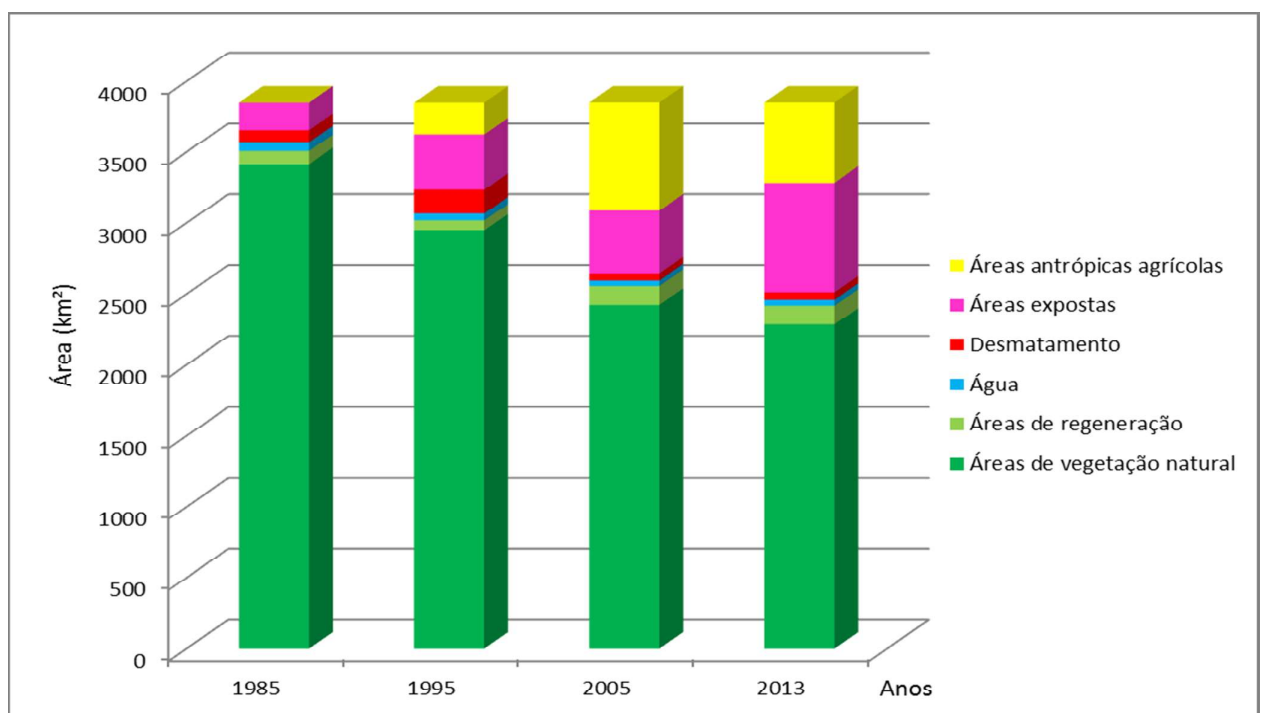


Fig. 4 - Comparação da área (km<sup>2</sup>) das classes de uso e cobertura da terra mapeadas em 1985, 1995, 2005 e 2013.

É importante destacar que essas duas classes estão relacionadas, uma vez que a época de aquisição das imagens para a classificação foi no período seco e grandes partes das áreas utilizadas pela agricultura estavam sendo preparadas para uma nova safra, por isso a grande porcentagem de áreas expostas nas classificações.

Foi possível identificar desmatamento nos mapas analisados, sendo a maior área de desmatamento observada em 1995, com 166,47 km<sup>2</sup>, já em 2005 e 2013 houve diminuição dessa classe obtendo-se 49,04 km<sup>2</sup> e 52,48 km<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 4).

Em relação à avaliação da classificação foi gerada a matriz de confusão utilizando as amostras (ROI's) como representantes verdadeiras das classes. O valor estimado pela matriz de confusão para o coeficiente Kappa foi de 0,98 em 1985, 0,98 para 1995, 0,99 para 2005 e 0,92 para 2013. Este intervalo Kappa

demonstra que o algoritmo de classificação apresentou concordância ótima em relação às amostras. De acordo com Landis e Koch (1977) valores de Kappa que estão entre 0,61 e 0,80 são considerados robustos, o que caracteriza o desempenho do algoritmo SVM como sendo muito bom.

#### 4.2 Detecção de Mudanças

Neste tópico serão discutidas as mudanças que ocorreram entre 1985-1995, 1995-2005 e 2005-2013. A escolha desses intervalos se deu em decorrência da disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens e em decorrência do tempo de processamento.

##### 4.2.1 Análise das mudanças entre 1985 e 1995

Nas tabelas 3 e 4 estão descritos os valores em porcentual e em área das mudanças ocorridas entre 1985 e 1995 no município de Cláudia – MT.

Tabela 3: Percentual de mudanças entre 1985 e 1995

		Estágio Inicial (1985)				
		Áreas de Vegetação Natural	Áreas de Regeneração	Água	Desmatamento	Áreas Expostas
Estágio Final (1995)	Áreas de Vegetação Natural	84,15	21,60	37,16	13,78	5,83
	Áreas de Regeneração	1,24	16,89	0,45	6,05	4,34
	Água	0,46	0,28	53,99	0,53	0,13
	Áreas Expostas	5,63	34,18	1,81	47,66	63,56
	Nuvem	0,02	0	0	0	0
	Sombra	0,02	0	0,18	0	0
	Desmatamento	4,63	4,45	4,71	4,87	1,46
	Áreas Antrópicas Agrícolas	3,86	22,60	1,70	27,11	24,68
<b>Mudanças</b>		<b>15,85</b>	<b>83,12</b>	<b>46,01</b>	<b>95,13</b>	<b>36,47</b>

Tabela 4: Área (km<sup>2</sup>) de mudanças entre 1985 e 1995

		Estágio Inicial (1985)				
		Áreas de Vegetação Natural	Áreas de Regeneração	Água	Desmatamento	Áreas Expostas
Estágio Final (1995)	Áreas de Vegetação Natural	2871,1	20,3	24,0	12,1	11,3
	Áreas de Regeneração	42,3	15,8	0,3	5,3	8,4
	Água	15,5	0,3	34,9	0,5	0,2
	Áreas Expostas	192,2	32,1	1,2	41,7	123,1
	Nuvem	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
	Sombra	0,6	0,0	0,1	0,0	0,0
	Desmatamento	157,9	4,2	3,0	4,3	2,8
	Áreas Antrópicas Agrícolas	131,7	21,2	1,1	23,7	47,8
<b>Mudanças</b>		<b>540,9</b>	<b>78,0</b>	<b>29,7</b>	<b>83,3</b>	<b>70,6</b>



As áreas de vegetação natural tiveram 15.85% de mudanças entre 1985-1995, contabilizando 540.9 km<sup>2</sup>, dos quais 5.63% foram para áreas expostas, 4.63% para desmatamento, 3.86% para áreas antrópicas agrícolas e 1.24% se tornaram áreas de regeneração. Em termos de extensão, essa classe apresentou as maiores mudanças, uma vez que recobre grande parte do município como destacado na discussão sobre o uso e cobertura da terra, demonstrando o avanço da supressão da vegetação natural para a destinação de outros usos.

Em contrapartida, as áreas de regeneração apresentaram 83.12% de mudanças, com aproximadamente 78 km<sup>2</sup>, na qual 34.18% foram convertidos em área exposta, 22.60% em áreas antrópicas agrícolas e 21.60% em áreas de vegetação natural. Esses dados demonstram que grande parte foi convertida para uso agropecuário, visto que as áreas expostas estavam sendo preparadas para uso agrícola no período de aquisição das imagens. Além disso, a conversão de 21.60% (cerca de 24 km<sup>2</sup>) para vegetação natural, demonstra a regeneração de parte da vegetação de áreas abandonadas após a extração madeireira, por exemplo.

A classe desmatamento apresentou 95.13% de mudança, aproximadamente 83.3 km<sup>2</sup>, onde 47.66% foram para áreas expostas, 27.11% para áreas antrópicas agrícolas, 13.78% para áreas de vegetação natural e 6,05% para áreas de regeneração em 1995. As mudanças para áreas de vegetação natural e áreas de regeneração estão associadas às áreas abandonadas, permitindo a recolonização de espécies nativas durante o intervalo de 10 anos.

A mudança mais significativa nas áreas expostas entre 1985-1995, foi para áreas antrópicas agrícolas, com cerca de 24,68% dos 36,47% de mudanças que houve nessa classe. Já para a água, o total de mudanças (46,01%), está associado à dinâmica dos rios na região, a vegetação ao seu entorno e a geomorfologia, pois em determinados períodos do ano essa vegetação é alagada, apresentando grande quantidade de água na resposta espectral, já em períodos mais secos ocorre o inverso. Por isso 37,16% do que foi classificado como água em 1985 mudou para áreas de vegetação natural em 1995.

#### 4.2.2 Análise das mudanças entre 1995 e 2005

As tabelas 5 e 6 apresentam a estatística de mudanças entre 1995 e 2005. Em geral os dados demonstram seguir a tendência da década anterior analisada. As áreas de vegetação natural apresentaram mudança de 22,96%, ou seja, 674,8 km<sup>2</sup>, de sua cobertura, destinados principalmente para áreas antrópicas agrícolas (10,6%) e áreas expostas (6,9%). Em relação às áreas de regeneração houve mudanças significativas, aproximadamente 90% da sua cobertura foi modificada entre 1995 e 2005, convertidas, principalmente, para as classes áreas expostas (32,7%) e áreas antrópicas agrícolas (29,8%). Esses dados demonstram a tendência da supressão da vegetação natural e/ou em regeneração, para a utilização com finalidade econômica, relacionado à expansão da soja para o município a partir do final da década de 90 (Tabela 1).

Tabela 5: Percentual de mudanças entre 1995 e 2005

		Estágio Inicial (1995)					
		Áreas de Vegetação Natural	Áreas de Regeneração	Água	Desmatamento	Áreas Antrópicas Agrícolas	Áreas Expostas
Estágio Final (2005)	Áreas de Vegetação Natural	77,04	27,44	49,43	41,56	9,09	2,34
	Áreas de Regeneração	3,61	10,07	0,43	10,30	3,36	0,88
	Água	0,42	0,11	47,35	0,87	0,38	0,16
	Áreas Expostas	6,87	32,73	0,35	15,19	26,27	34,18
	Desmatamento	1,48	0,90	0,98	1,49	1,23	0,60
	Áreas Antrópicas Agrícolas	10,59	28,75	1,46	30,59	59,67	61,85
	<b>Mudanças</b>	<b>22,96</b>	<b>89,93</b>	<b>52,65</b>	<b>98,51</b>	<b>40,33</b>	<b>65,82</b>

Tabela 6: Área (km<sup>2</sup>) de mudanças entre 1995 e 2005

		Estágio Inicial (1995)					
		Áreas de Vegetação Natural	Áreas de Regeneração	Água	Desmatamento	Áreas Antrópicas Agrícolas	Áreas Expostas
Estágio Final (2005)	Áreas de Vegetação Natural	2263,9	19,8	25,4	71,6	20,5	9,1
	Áreas de Regeneração	106,0	7,3	0,2	17,7	7,6	3,4
	Água	12,3	0,1	24,3	1,5	0,9	0,6
	Áreas Expostas	201,7	23,6	0,2	26,2	59,3	133,4
	Desmatamento	43,6	0,6	0,5	2,6	2,8	2,4
	Áreas Antrópicas Agrícolas	311,2	20,7	0,8	52,7	134,6	241,4
	<b>Mudanças</b>	<b>674,8</b>	<b>64,9</b>	<b>27,1</b>	<b>169,7</b>	<b>91,0</b>	<b>256,9</b>

A classe desmatamento apresentou o maior percentual de mudanças – 98,51%, somando 169,7 km<sup>2</sup>, dos quais 41,56% e 10,30% foram convertidos em áreas de vegetação natural e áreas de regeneração, respectivamente, evidenciando que mais da metade das áreas que se encontram desmatadas em 1995 foram recuperadas, principalmente áreas que eram utilizadas para extração seletiva de madeira. Em contrapartida, 30,59% foi destinada para áreas antrópicas agrícolas e 15,19% para áreas expostas.

Em relação às áreas antrópicas agrícolas, houve 40,33% de mudanças, contabilizando 91 km<sup>2</sup>, dos quais 16,2% mapeados como áreas expostas em 2005, 9% como áreas de vegetação natural e 3,3% como áreas de regeneração. A mudança para áreas de vegetação natural ou em regeneração pode ser explicada ou pelo abandono de algumas áreas durante este período, ou por alguns erros de classificação.

As áreas expostas tiveram um montante de 65,82% de mudanças, no qual o principal destino é para áreas antrópicas agrícolas (61,85%) uma vez que são áreas que estão sendo preparadas para o cultivo.

#### 4.2.3 Análise das mudanças entre 2005 e 2013

Nas tabelas 7 e 8 estão organizados os dados de porcentagem e área de mudanças no município de Cláudia entre 2005 e 2013. Durante este período as áreas de vegetação natural apresentaram diminuição na sua conversão, cerca de 13,26% mudou para outras classes, contabilizando 319,7 km<sup>2</sup> em contraste a 674,8 km<sup>2</sup> da década de análise anterior. Essa diminuição se deve à entrada do município para a lista dos prioritários da Amazônia Legal para ações de prevenção e controle do desmatamento do Ministério do Meio Ambiente (Portaria nº 175/2011). Entretanto, houve a conversão de 115,1 km<sup>2</sup>, ou seja, 4,77% da área, para áreas antrópicas agrícolas.

Tabela 7: Percentual de mudanças entre 2005 e 2013

		Estágio Inicial (2005)					
		Áreas de Vegetação Natural	Áreas de Regeneração	Áreas Expostas	Água	Desmatamento	Áreas Antrópicas Agrícolas
Estágio Final (2013)	Áreas de Vegetação Natural	86,74	51,56	1,76	42,12	62,29	6,53
	Áreas de Regeneração	3,33	22,10	0,64	0,46	7,10	2,95
	Áreas Expostas	2,46	7,79	71,31	3,83	17,53	49,07
	Água	0,76	0,17	0,10	49,61	2,06	0,35
	Desmatamento	1,94	1,18	0,17	1,66	1,10	0,48
	Áreas Antrópicas Agrícolas	4,77	17,21	26,03	2,32	9,92	40,62
	<b>Mudanças</b>	<b>13,26</b>	<b>77,90</b>	<b>28,69</b>	<b>50,39</b>	<b>98,90</b>	<b>59,38</b>

Tabela 8: Área (km<sup>2</sup>) de mudanças entre 2005 e 2013

		Estágio Inicial 2005					
		Áreas de Vegetação Natural	Áreas de Regeneração	Áreas Expostas	Água	Desmatamento	Áreas Antrópicas Agrícolas
Estágio Final (2013)	Áreas de Vegetação Natural	2091,7	73,4	7,8	16,7	32,7	49,7
	Áreas de Regeneração	80,3	31,5	2,8	0,2	3,7	22,5
	Áreas Expostas	59,4	11,1	316,9	1,5	9,2	373,6
	Água	18,3	0,2	0,4	19,7	1,1	2,7
	Desmatamento	46,7	1,7	0,7	0,7	0,6	3,7
	Áreas Antrópicas Agrícolas	115,1	24,5	115,7	0,9	5,2	309,2
	<b>Mudanças</b>	<b>319,7</b>	<b>110,9</b>	<b>127,5</b>	<b>20,0</b>	<b>51,9</b>	<b>452,1</b>

As áreas de regeneração tiveram 77,90% da sua área modificada para outras classes, aproximadamente 52% foi convertido para áreas de vegetação natural, diferentemente das décadas anteriores, na qual as principais conversões dessas áreas foram para áreas expostas e agrícolas. Entre 2005-2013, 17,21% se transformaram em áreas antrópicas agrícolas e 7,79% em áreas expostas. Esses dados demonstram o impacto da entrada do município como prioritário para a prevenção e diminuição do desmatamento.

As áreas expostas apresentaram 28,69% de mudanças, no qual cerca de 26% foram mapeados como áreas antrópicas agrícolas, relacionado à preparação do solo para o cultivo e época de aquisição. Já a classe desmatamento apresentou aproximadamente 99% de mudanças, com grande porcentagem de sua área (62,29%) convertida para áreas de vegetação natural, seguindo a tendência do impacto da portaria nº 175/2011.

A classe áreas antrópicas agrícolas contabilizaram 59,38% de mudanças, dos quais 49,07% foram classificados como área exposta em 2013, ou seja, áreas em preparação para o cultivo. Dessas mudanças cerca de 49,7 km<sup>2</sup> e 22,5 km<sup>2</sup> foram, respectivamente, para as classes áreas de vegetação natural e regeneração, evidenciando o impacto das políticas de monitoramento do desmatamento.

## 5. CONCLUSÕES

O mapeamento do uso e cobertura da terra e a detecção de mudanças para o município de Cláudia (MT) permitiu traçar um panorama geral das modificações que ocorreram ao

longo de quase 40 anos. Diante dos resultados apresentados, é possível verificar que entre 1985 e 2013 o município de Cláudia – MT passou por diversas transformações da composição do uso e cobertura da terra, somando 1214,3 km<sup>2</sup> de mudanças na cobertura vegetal, convertida para áreas de uso agrícola e pastagem. A maior taxa de conversão das áreas de vegetação natural foi entre o período de 1995-2005, contabilizando 674,8 km<sup>2</sup> de mudanças, concomitantemente à expansão da soja no município.

O algoritmo utilizado para a classificação obteve resultados satisfatórios, apresentando índice Kappa excelente, variando de 0,99 a 0,92, demonstrando ser uma ferramenta em potencial para a classificação do uso e cobertura da terra, uma vez que os bons resultados da classificação otimizaram o tempo de pós-edição das classes.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo financiamento do estudo (Processo Nº 2013/12159-4).

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, L. O. **Classificação e Monitoramento da Cobertura Vegetal do Mato Grosso Utilizando dados Multitemporais do sensor MODIS**. São José dos Campos: INPE, 2004. 247 p.
- BECKER, B. K. **Amazônia**. São Paulo: Ática, 1990. 98p.
- BERNSTEIN, L. S.; JIN, X.; GREGOR, B.; ADLER-GOLDEN, S.M. The Quick Atmospheric Correction (QUAC) Code:

- Algorithm Description and Recent Upgrades, **SPIE Optical Engineering**, Vol. 51(11), 111719, 2012, p. 1719-1731.
- BRASIL. Decreto nº 6.321, de 21 de Dezembro de 2007. **Dispõe sobre ações relativas à prevenção, monitoramento e controle de desmatamento no Bioma Amazônia**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/Decreto/D6321.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Decreto/D6321.htm)> . Acesso em: 21 de Fevereiro de 2014.
- BROWN, M.; LEWIS, H.G.; GUNN, S.R. Linear spectral mixture models and support vector machines for remote sensing. **IEEE Transactions on geoscience and remote sensing**, v. 38, n. 5, 2000, p. 2346-2360.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, ed. 113, 2009 p. 893-903.
- DI GREGÓRIO, A. **Land Cover Classification System (LCCS), version 2: Classification Concepts and User Manual**. FAO Environment and Natural Resources Service Series, No. 8 - FAO, Rome, 2005. 208p
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Dados do Município de Cláudia - MT*. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>Acessado em Maio de 2013.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2 ed. 2006, 91 p.
- LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, 1997, p. 159-174.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux. - São Paulo : Oficina de Textos, 2009. 424 p.
- LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos florestais da Amazônia**. Belém: Imazon, 2003. 110p.
- LIMA, A. **Influência da cobertura da terra na extensão e configuração espacial de áreas queimadas em anos de seca extrema na Amazônia Oriental**. São José dos Campos. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – INPE, 2013. 82 p.
- MONTEIRO, A. L. S.; SOUZA JR., C. M.; PANTOJA, F. L. S.; GERWING, J. J. Impactos da exploração madeireira e do fogo em florestas de transição da Amazônia Legal. **ScientiaFlorestalis**, n. 65, p. 11-21, jun. 2004.
- MELGANI, F.; BRUZZONE, L. Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images with Support Vector Machines. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 42, No. 8, August 2004.
- SCHWENK, L. M. A espacialização da fronteira agrícola da soja na BR-163 em Mato Grosso com uso do sensoriamento remoto. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6219-6226.
- SOARES FILHO, B.S. Fragmentação da paisagem florestal em função da estrutura e dinâmica fundiária no norte do Mato Grosso. In: **Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p. 987-995.
- TEWKESBURY, A.; COMBER, A.J.; TATE, N.J.; LAMB, A.; FISHER, P.F. A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. **Remote Sensing of Environment**, 2015, 160:1-14.
- VAPNIK, V. **The Nature of Statistical Learning Theory**. New York: Springer-Verlag, 1995, 340p.