

## MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO DO CERRADO BRASILEIRO POR SATÉLITE PRODES CERRADO

Luis Eduardo P. Maurano<sup>1</sup>, Cláudio Aparecido de Almeida<sup>2</sup>, Maurício Braga Meira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515, 12227-010, São José dos Campos, SP, luis.maurano@inpe.br; <sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515, 12227-010, São José dos Campos, SP, claudio.almeida@inpe.br; <sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515, 12227-010, São José dos Campos, SP, mauricio.meira\_fipcerrado@inpe.br

### RESUMO

O Cerrado é a mais rica vegetação savânica do planeta e possui importância nas discussões das questões climáticas pela relevância dos seus serviços ecossistêmicos. Ao longo dos anos o Cerrado tem passado por uma significativa conversão de habitat devido ao avanço da fronteira agrícola. Assim é imperioso dotar a região de um sistema operacional de monitoramento do desmatamento por satélite. É neste contexto que este artigo está inserido e apresenta resultados do projeto PRODES Cerrado criado e operado pelo INPE para monitorar e quantificar anualmente a remoção da cobertura vegetal natural do bioma com uso de dados do satélite *Landsat* ou similares. Os dados gerados criaram uma série histórica de 2000 a 2017 contemplando desmatamento maiores que um hectare e são essenciais para entender a dinâmica de ocupação da região e embasar a confecção de políticas públicas.

**Palavras-chave** — Cerrado, monitoramento do desmatamento, PRODES Cerrado.

### ABSTRACT

*The Brazilian Cerrado is the richest savannah vegetation of the planet and has importance in the discussions of climatic issues due to its ecosystem services. However over the years the Cerrado has verified a significant conversion of habitat due to the increase of the agricultural frontier. It is therefore necessary to provide the region with an operational monitoring system for satellite deforestation. It is in this context that this article is inserted and presents results from the PRODES Cerrado project created and operated by INPE to quantify annually the removal of the natural vegetation cover of the biome using Landsat satellite data or similar. The data represent a historical series from 2000 to 2017 of deforestation greater than one hectare and are essential to understand the Cerrado dynamics occupation and to base the making of public policies.*

**Key words** — savannah vegetation, deforestation monitoring, PRODES Cerrado.

### 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é a segunda maior região biogeográfica da América do Sul e é considerada a formação savânica mais biodiversa do mundo. Com aproximadamente dois milhões de km<sup>2</sup> ocupa cerca de 25% do território brasileiro, a sua área contínua incide sobre os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal [1].

A partir da década de 1970 o Cerrado se transformou em uma nova e importante fronteira agrícola brasileira. Essa transformação modificou os aspectos socioeconômicos regionais e impulsionou a produtividade agropecuária, tornando o Brasil um dos principais produtores mundiais de *commodities* agrícolas [5] [6]. Com a crescente pressão para a abertura de novas áreas, visando incrementar a produção de carne e grãos tanto para o mercado interno como para exportação, tem havido um progressivo esgotamento dos recursos naturais da região. Nas três últimas décadas, o Cerrado vem sendo degradado pela expansão da fronteira agrícola brasileira. Além disso, o bioma Cerrado é palco de uma exploração extremamente predatória de seu material lenhoso para produção de carvão [7].

Esta situação elevou a necessidade de implementação de sistemas governamentais que pudessem monitorar as mudanças na cobertura do solo. No início dos anos 2000 uma ação do Ministério do Meio Ambiente (MMA) através do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) deu início ao Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS) que tinha como objetivo quantificar desmatamentos em áreas de vegetação nativa e embasar ações de fiscalização e combate a desmatamentos ilegais nos biomas Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal [2]. Porém esta iniciativa, após alguns mapeamentos realizados, foi descontinuada. Assim, em 2016 o Brasil se viu encorajado a reestruturar um sistema oficial de monitoramento sistemático do desmatamento para o Cerrado com uso de imagens de satélites de sensoriamento remoto orbital e, neste contexto, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu e está operando o projeto PRODES Cerrado que consiste no mapeamento do desmatamento para toda extensão do Cerrado de 2000 a

2017. Por meio do projeto foi construída uma série histórica bienal da remoção antrópica da vegetação natural para o período de 2000 a 2012 e anual para os anos de 2013 a 2017. Estes mapeamentos embasam a submissão brasileira do Nível de Referência de Emissões por Mudanças na Cobertura Florestal (*Forest Reference Emission Level – FREL*) no Cerrado e também a submissão de solicitação de pagamentos por emissão reduzida que o Brasil deverá encaminhar à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (UNFCCC).

A confecção desta base de dados recebeu apoio financeiro do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Banco Mundial, além das instituições alemãs KfW e GIZ. Em particular os dados produzidos para os anos de 2016 e 2017 são resultados do projeto FIP FM Cerrado, que tem apoio do Programa de Investimento Florestal (FIP) [9] e do Banco Mundial que proverá recursos para a continuidade da iniciativa até 2020.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Á área de estudo do projeto PRODES Cerrado corresponde a toda extensão geográfica do Cerrado, com aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup>, sendo necessárias 118 cenas do satélite *Landsat 5*, sensor TM ou *Landsat 8* sensor OLI para seu total recobrimento (Figura 1).

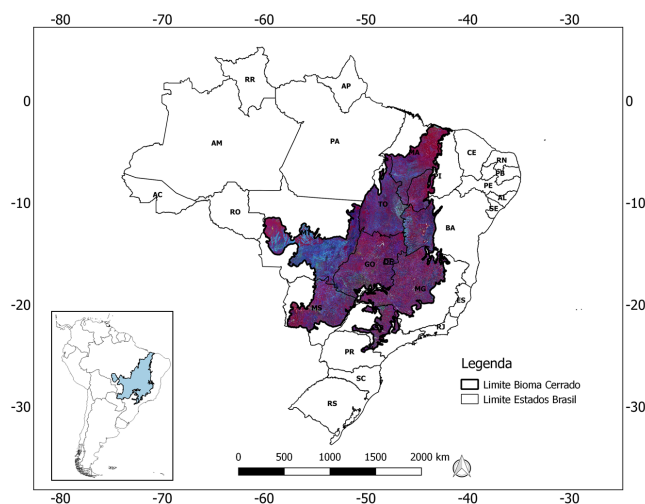


Figura 1. Limite geográfico do Cerrado brasileiro.

O PRODES Cerrado considera como desmatamento a remoção completa da cobertura vegetal natural do bioma, independentemente da utilização subsequente destas áreas. São cartografadas e quantificadas as áreas desmatadas maiores que um hectare, usando 118 imagens de satélites da classe *Landsat* a cada ano do período analisado, garantindo ao produto compatibilidade com a escala cartográfica de 1:250.000. O processo de identificação dos desmatamentos é feito por interpretação visual das imagens diretamente na

tela do computador, com uso do sistema de informações geográficas TerraAmazon, desenvolvido pelo INPE [3].

As principais classes do mapeamento são: a) Antrópico: corresponde a remoção total ou parcial da cobertura nativa. O processo do desmatamento pode ocorrer por corte raso (remoção total), quando a cobertura florestal é abruptamente removida em uma única intervenção, ou pode ser o resultado de eventos de degradação recorrentes (remoção parcial), que levam ao colapso completo da estrutura florestal da vegetação primária; b) Água: corresponde a regiões de rios, lagos, represas de regime natural ou artificial - permanentes ou temporárias e c) Não Observado: corresponde as áreas cobertas por nuvem ou por sombra de nuvem, casos nos quais há impossibilidade de inferir o alvo coberto [4].

As quatro principais fases da metodologia desenvolvida para operacionalizar o PRODES Cerrado são:

### 2.1. Seleção das imagens

A metodologia de mapeamento do desmatamento pressupõe a utilização de uma única imagem por ano para cada uma das 118 cenas empregadas em cada levantamento. As imagens *Landsat* selecionadas foram obtidas nos principais catálogos de disseminação disponíveis na internet, como o do INPE e/ou do *U.S. Geological Survey* (USGS), sendo priorizadas imagens livre de nuvens e de datas de aquisição próximas entre elas, compreendidas preferencialmente entre os meses de junho a setembro, por se tratar da estação seca no Cerrado.

### 2.2. Interpretação das imagens

Cada imagem *Landsat* adquirida foi ingestada no sistema TerraAmazon em composição colorida associando a banda espectral do infravermelho médio (1,560 – 1,660  $\mu\text{m}$ ), onde a vegetação densa tem resposta acentuada, à cor vermelha, e as bandas espectrais do infravermelho próximo (0,845 – 0,885  $\mu\text{m}$ ) e do vermelho (0,630 – 0,680  $\mu\text{m}$ ) associadas as cores verde e azul respectivamente. Adicionalmente foi realizado o realce das imagens por manipulação do histograma. Com a falta das imagens do *Landsat 5* para o mapeamento de 2012, foram utilizadas 207 cenas do satélite *Resourcesat 2* sensor LISS3.

Todo processo de identificação dos desmatamentos é feito por fotointerpretação diretamente na tela do sistema TerraAmazon por uma equipe especializada, para isso foi configurada uma escala de interpretação mínima de 1:125.000 e máxima de 1:75.000, sendo estabelecido em um hectare a área mínima do mapeamento. A identificação visual dos alvos considera os principais elementos da fotointerpretação, como: cor, tonalidade, textura, forma e contexto [4]. Ao todo foram interpretadas mais de 1.500 cenas para realizar os mapeamentos de todos os anos.

O ano base do mapeamento foi 2000, ou seja, todos os desmatamentos que já existentes e que estavam visíveis nas imagens daquele ano foram incorporados em uma máscara

única e classificados como área antropizada até o ano 2000. Para os mapeamentos seguintes os incrementos anuais foram mapeados e acrescentados a esta máscara.

Este conceito de máscara acumulativa é utilizada para eliminar a possibilidade de que desmatamentos antigos já detectados sejam identificados e mapeados novamente em anos subsequentes. A Figura 2 é de uma região na divisa entre os estados do Tocantins e Maranhão e mostra a máscara de desmatamento acumulado até 2000 e os incrementos anuais sobreposto a imagem do satélite *Landsat 8/OLI*.

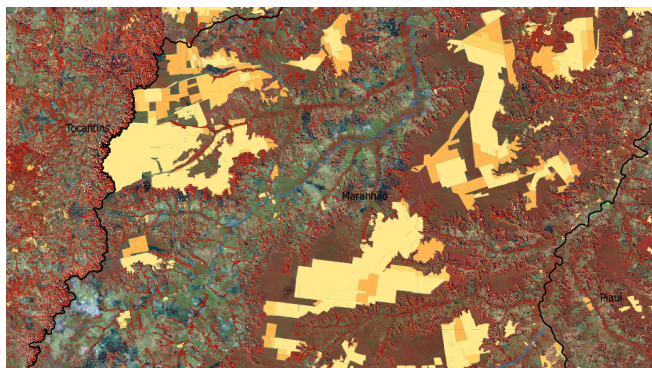


Figura 2. Máscara de desmatamento ano 2000 e incrementos anuais sobre imagem Landsat 8.

### 2.3. Auditoria

Após o processo de mapeamento e identificação das áreas desmatadas pela equipe de produção dos dados, os mapas resultantes foram submetidos a uma etapa de auditoria, feita por equipe de especialistas seniores com experiência na vegetação do Cerrado, que conferem a correta identificação e os limites dos polígonos mapeados, promovendo os ajustes necessários. Imagens de alta resolução disponíveis nos aplicativos *Google Earth* e *Google Earth Engine Time Lapse* são utilizadas nesta fase, bem como, na fase de interpretação.

### 2.4. Disseminação dos dados

Para a disseminação dos dados gerados pelo projeto foi criado um portal dedicado chamado TerraBrasilis. Trata-se de uma plataforma *webgis* desenvolvida para acesso, consulta, análise e disseminação de dados geográficos onde qualquer pessoa pode acessar os mapas e realizar análises sobre os dados diretamente do portal, sem necessitar de ferramentas específicas. Essa plataforma é toda baseada em serviços *web*, seguindo padrões internacionais de disseminação de dados geográficos e as especificações da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

O TerraBrasilis fornece um painel interativo para que os usuários possam interagir com diversos tipos de gráficos que sumarizam as informações geradas visando facilitar a sua compreensão.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O gráfico da Figura 3 apresenta os dados do PRODES Cerrado referentes à extensão anual da área desmatada para todo bioma de 2001 a 2017 e apontam um total de 272.200 km<sup>2</sup> no período, já a Tabela 1 mostra o resultado para cada estado. Para os biênios 2001-2002, 2003-2004, 2005-2006, 2007-2008, 2009-2010 e 2011-2012, o mapeamento foi realizado de dois em dois anos e atribuiu-se a cada um dos anos a metade do incremento do respectivo biênio. Destaca-se que as taxas de desmatamento nos primeiros anos da década passada apresentam valores expressivos que chegam a superar os valores verificados na Amazônia Legal [8], porém os resultados do biênio 2016-2017 já mostram uma redução de 38% na extensão da área desmatada em relação ao desmatamento medido no biênio 2014-2015 e pode indicar uma tendência de queda do desmatamento no Cerrado, a ser comprovada nos próximos levantamentos.

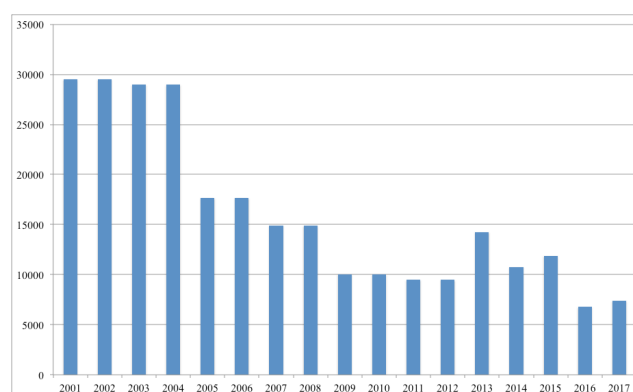


Figura 3: Resultados do PRODES Cerrado em km<sup>2</sup>/ano.

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste artigo mostram o quanto importante foi o restabelecimento de um sistema operacional para monitoramento do desmatamento como o PRODES Cerrado. Com ele foi possível conhecer os números precisos da remoção da cobertura vegetal natural do bioma e verificar que esta remoção, embora expressiva no início dos anos 2000, dá sinais de redução.

O monitoramento sistemático do Cerrado amplia de forma significativa o conjunto de dados produzidos pelo INPE sobre mudanças na cobertura da terra, que desde 1988 opera na Amazônia Legal com o projeto PRODES. A soma destas duas iniciativas garante uma base de informações sobre o desmatamento em áreas de vegetação natural de 73% do território brasileiro, dados indispensáveis para formulação de políticas públicas nestas duas regiões.

Tabela 1: Desmatamento medido pelo PRODES Cerrado de 2001 a 2017 por estado em km<sup>2</sup>.

Ano	BA	DF	GO	MA	MG	MS	MT	PI	PR	RO	SP	TO	CERRADO
2001	2.288	12	6.612	2.302	6.466	2.827	5.346	483	29	38	184	2.909	29.495
2002	2.288	12	6.612	2.302	6.466	2.827	5.346	483	29	38	184	2.909	29.495
2003	2.713	82	6.217	2.406	4.777	2.367	5.975	1.123	16	43	213	3.059	28.992
2004	2.713	82	6.217	2.406	4.777	2.367	5.975	1.123	16	43	213	3.059	28.992
2005	1.806	27	2.465	2.315	2.807	1.593	2.769	977	28	0	219	2.638	17.644
2006	1.806	27	2.465	2.315	2.807	1.593	2.769	977	28	0	219	2.638	17.644
2007	2.019	10	1.498	3.813	2.159	790	2.135	640	3	0	56	1.762	14.885
2008	2.019	10	1.498	3.813	2.159	790	2.135	640	3	0	56	1.762	14.885
2009	1.211	12	1.451	1.756	1.358	517	1.002	832	21	0	79	1.817	10.055
2010	1.211	12	1.451	1.756	1.358	517	1.002	832	21	0	79	1.817	10.055
2011	1.519	6	957	1.427	1.465	392	1.028	938	2	1	24	1.734	9.491
2012	1.519	6	957	1.427	1.465	392	1.028	938	2	1	24	1.734	9.491
2013	1.649	24	1.923	1.648	2.232	610	1.891	1.202	6	1	86	2.978	14.250
2014	1.071	20	1.185	1.840	1.966	281	1.007	1.087	8	0	52	2.243	10.761
2015	1.343	5	1.240	1.750	1.240	632	1.745	805	7	0	28	3.086	11.881
2016	781	3	647	1.209	329	337	1.176	704	3	1	3	1.584	6.777
2017	776	6	838	1.454	513	286	1.252	591	2	0	4	1.686	7.408
<b>Total</b>	<b>28.734</b>	<b>356</b>	<b>44.230</b>	<b>35.938</b>	<b>44.344</b>	<b>19.118</b>	<b>43.580</b>	<b>14.375</b>	<b>222</b>	<b>169</b>	<b>1.721</b>	<b>39.412</b>	<b>272.199</b>

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L. S.; Ferreira, L. G. Land Cover Mapping of the Tropical Savanna Region in Brazil. *Environmental Monitoring & Assessment*, v. 166, p. 113–124, 2010. DOI: 10.1007/s10661-009-0988-4.
- [2] IBAMA, Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite - PMDBBS. 2018. Disponível em: <[http://siscom.ibama.gov.br/monitora\\_biomais/index.htm](http://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomais/index.htm)>. Acesso em: 15 set. 2018.
- [3] TerraAmazon, Uma ferramenta GIS para dados vetoriais usando imagens de satélite multi-temporais. Disponível em: <<http://terraamazon.org/>>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- [4] INPE, Projeto de Desenvolvimento de Sistemas de Prevenção de Incêndios Florestais e Monitoramento da Cobertura Vegetal no Cerrado Brasileiro. 2018. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/fipcerrado/report\\_funcate\\_metodologia\\_mapeamento\\_bioma\\_cerrado.pdf](http://www.dpi.inpe.br/fipcerrado/report_funcate_metodologia_mapeamento_bioma_cerrado.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2018.
- [5] IBGE, Censo Agropecuário. Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. 777p.
- [6] Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013/MMA/sbf.Brasília:MMA.2015. 67p, ISBN 978-85-7738-255-2.
- [7] MMA, O Bioma Cerrado. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomais/cerrado/>>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- [8] INPE, Projeto PRODES - Projeto de Estimativa de Desflorestamento da Amazônia. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>> Acesso em: 02 set. 2018.
- [9] MCTIC, Forest Investment Program – FIP – Brasil, Disponível em: <[http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/Biomais/PROJETOS-CGIBI/FIP\\_Cerrado/](http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/Biomais/PROJETOS-CGIBI/FIP_Cerrado/)> Acesso em: 02 set. 2018.