

## Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da Mata Atlântica

Marcos Reis Rosa <sup>1</sup>

**Resumo:** O monitoramento da cobertura vegetal em escala regional é essencial para subsidiar estimativas de gases do efeito estufa, estudos de biodiversidade e planejamento. O mapeamento regional envolve desafios relacionados à diversidade das paisagens, disponibilidade de imagens, técnicas de classificação, custo, prazo e capacidade de processamento. O Atlas produzido pela SOS Mata Atlântica/INPE é uma iniciativa mais consolidada, com um conceito de floresta restrito à vegetação bem conservada, produzido por interpretação visual de imagens Landsat na escala 1:50.000. O MapBiomias é uma iniciativa recente, com um conceito de floresta mais inclusivo, produzido através de uma chave de classificação empírica baseada em frações de solo, vegetação verde, vegetação não-fotossintética e sombra geradas através do Modelo Espectral de Mistura de imagens Landsat. As diferenças encontradas nos produtos apontam para usos distintos e complementares, com a base do Atlas mais indicada para identificação de desmatamentos e análise da conservação da biodiversidade e do MapBiomias para análises de fragmentação, restauração e proteção da água. A opção pelo produto que será utilizado varia de acordo com o objetivo do trabalho proposto..

**Palavras-chave:** mapeamento regional, Mata Atlântica, Sensoriamento Remoto, classificação de imagem Landsat.

### **Comparison and analysis of different mapping and monitoring methodologies of the Atlantic Forest Vegetation**

**Abstract:** Vegetation monitoring on a regional scale is essential to support greenhouse gases estimative, biodiversity studies and planning. The regional mapping involves challenges related to landscape's diversity, image's availability, classification techniques, cost, time and processing capacity. Atlas produced by the SOS Mata Atlântica/INPE is a consolidated initiative, with a concept of forest restricted to the well-preserved vegetation, produced by visual interpretation of Landsat images at 1: 50,000 scale. The MapBiomias is a recent initiative with more inclusive forest concept, produced based an empirical decision tree based on fractions of soil, green vegetation, non-photosynthetic vegetation and shade from Spectral Mixture Model using Landsat images. The differences in the products indicates to distinct and complementary use as the Atlas product is more appropriate to identify deforestation and biodiversity analysis and MapBiomias to fragmentation, restoration and water protection analysis. The choice to use each product should be based on the on the objective of the proposed work.

**Keywords:** regional mapping, Atlantic forest, Remote Sensing, Landsat classification.

---

<sup>1</sup> Doutorando em Geografia Física, Universidade de São Paulo, marcosrosa@usp.br

## **Introdução**

As mudanças de uso e cobertura da terra ocorrem de forma acelerada e geram forte impacto nos recursos naturais, na biodiversidade e nas populações humanas. As alterações da vegetação de Florestas, em especial, têm importância ainda maior considerando seu potencial para fixação de carbono, para proteção do solo, da água e da biodiversidade. Nesse contexto, várias organizações internacionais, incluindo a International Geosphere-Biosphere Programme (IGPB) e a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) estão particularmente interessadas em metodologias para automatizar a classificação do uso da terra e estimar a mudança de uso baseado em dados de sensoriamento remoto (COLDITZ et al., 2011).

A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto integradas a Sistemas de Informações Geográficas permite o mapeamento, o monitoramento e a análise das mudanças de uso e cobertura da terra com maior frequência, maior detalhamento e melhor precisão, o que é essencial para o entendimento do processo de ocupação e do planejamento de ações para conservação e uso sustentável do solo. A diferença de objetivos, conceitos e técnicas adotadas em cada iniciativa impactam diretamente o resultado.

O artigo analisa as duas principais iniciativas atuais de monitoramento do Bioma Mata Atlântica através da comparação das metodologias e do mapeamento de 2014, identificando a indicação de uso mais apropriada com base nas características de cada iniciativa.

## **Objetivo**

Como os objetivos e metodologias adotadas para produção dos mapeamentos e monitoramentos possuem grande impacto sobre o produto final o artigo visa comparar as premissas, metodologias e produtos do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica produzido pela SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – (Atlas da SOS/INPE) e do MapBiomas, produzido por uma rede de instituições ligadas ao SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima)(<http://mapbiomas.org/>) – (MapBiomas).

Por essa comparação é possível entender as diferenças nos resultados de cada iniciativa e subsidiar uma decisão informada sobre qual produto deve ser utilizado de acordo com os objetivos de cada estudo.

## Material

O **Atlas da SOS/INPE** registra o monitoramento anual da Floresta e do Desflorestamento através de interpretação visual em tela de computador, em escala de visualização de 1:50.000, das imagens do sensor TM/Landsat 5, com 30m de resolução espacial. O mapeamento da cobertura florestal atual foi realizado com base nas imagens do ano 2000 e consolidado até o ano de 2010, com visitas em campo e revisão por especialistas de cada região da Mata Atlântica. Essa base temática de florestas é sobreposta a imagens de satélite recentes para identificação visual das áreas alteradas (desmatadas em corte raso) (Figura I). Cada polígono de desmatamento é observado novamente em imagens de alta resolução disponíveis no aplicativo Google Earth e validado por outro intérprete. É gerada, então, uma base contínua de toda área de aplicação da Lei da Mata Atlântica.



Figura I: Mapeamento do Atlas da SOS/INPE. Comparação de imagens de diferentes anos: Landsat 2014, Landsat 2015 Google 2014 e mosaico contínuo da área da Lei da Mata Atlântica (amarelo claro) com Mata (verde) e decrementos (vermelho).

O **MapBiomias** executou o mapeamento do uso da terra e da cobertura florestal através de mapeamentos anuais de 2008 a 2015. A metodologia consiste, resumidamente, na divisão da área mapeada por cartas 1:250.000 e na identificação do melhor período de aquisição de imagens e de parâmetros de classificação para cada carta. Uma vez selecionado um conjunto de imagens e com base nos parâmetros especificados pelo intérprete, é gerado um mosaico sem nuvens, levando em consideração a mediana de cada pixel. Sobre a imagem resultante é aplicado um Modelagem Espectral de Mistura (MEM) linear que identifica as frações de solo (SOIL), vegetação verde (GV), vegetação não-fotossintética (NPV) e sombra (SHADE) que compõe cada pixel (SMALL, 2004) e calculado um índice “Normalized Difference Fraction Index” (NDFI) (SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005) com base na seguinte fórmula:

$$\text{NDFI} = \frac{\text{GV}_{\text{Shade}} - (\text{NPV} + \text{Soil})}{\text{GV}_{\text{Shade}} + \text{NPV} + \text{Soil}}$$

Sendo que  $\text{GV}_{\text{Shade}}$  é a fração de GV normalizada pelo Shade:

$$\text{GV}_{\text{Shade}} = \frac{\text{GV}}{100 - \text{Shade}}$$

As frações e o NDFI são utilizados em uma chave de decisão empírica, permitindo estabelecer padrões para cada região do Bioma, que posteriormente pode ser adaptado para cada carta 1:250.000 e cada ano para refletir características regionais ou sazonais.

(Figura II)

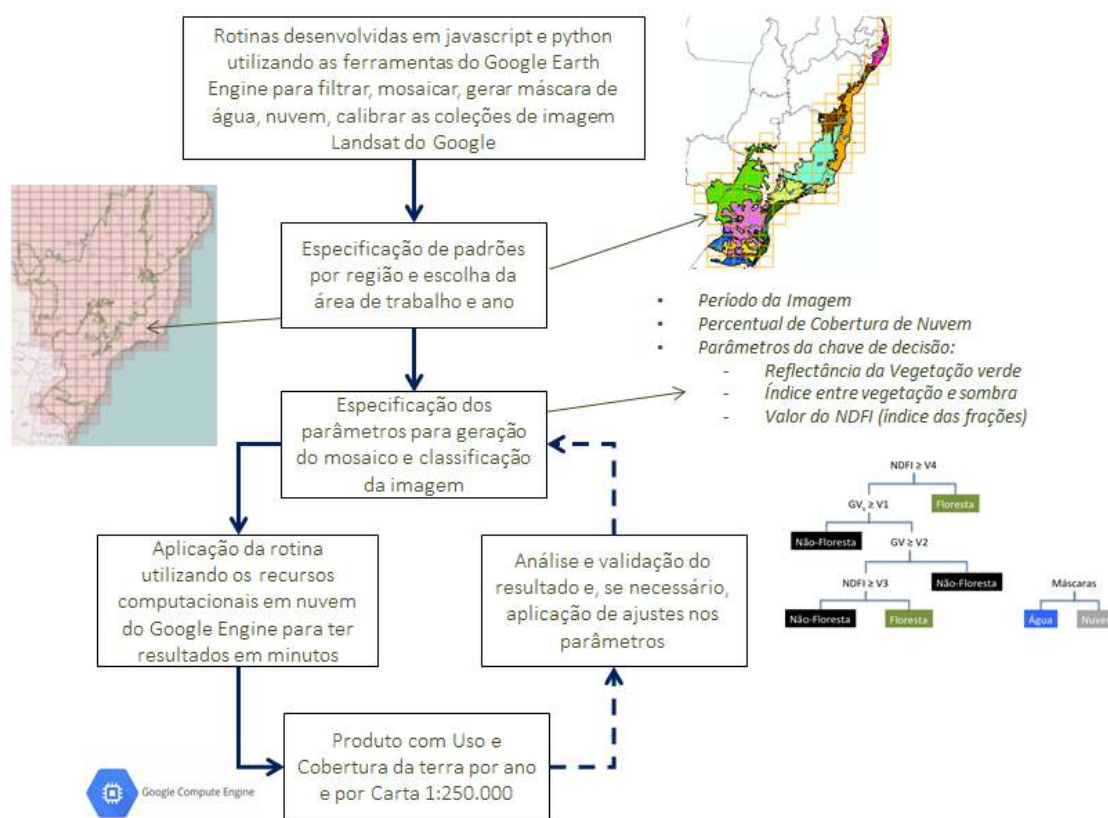


Figura II: Metodologia do MapBiomas

A utilização de chave de classificação empírica substitui o processo de coleta de amostras de treinamento de cada classe utilizada em classificadores semiautomáticos (SVM, MaxVer, Mínima Distância, etc.). É muito difícil conseguir padronizar e garantir a qualidade das amostras de classificação para vários anos em uma área tão extensa e tão diversa quanto o Bioma da Mata Atlântica.

## Metodologia

Comparação das principais características dos mapeamentos

Através da revisão da metodologia publicada foram comparadas as principais características de cada iniciativa. (Tabela I).

Tabela I – Principais características das iniciativas

	Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica	MapBiomias
Executor	SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	Rede Colaborativa montada por iniciativa do Observatório do Clima e SEEG
Site	<a href="http://mapas.sosma.org.br/">http://mapas.sosma.org.br/</a>	<a href="http://mapbiomas.org/map">http://mapbiomas.org/map</a>
Imagem de satélite utilizada	Landsat (com 30m de resolução)	Landsat (com 30m de resolução)
Metodologia	Interpretação visual na tela do computador, em escala de visualização 1:50.000	Chave de classificação empírica baseada em Modelagem Espectral de Mistura
Disponibilidade dos Dados	Arquivos shapefile da última versão do mapa por unidade da federação ou município	Arquivo TIF do mapa classificado por carta 1:250.000
Legenda	Mata, Mangue, Restinga, Áreas Naturais não Florestais	Floresta, Agricultura, Floresta da Zona Costeira, Pastagem
Data e Frequência	De 5 em 5 anos de 1985 a 2010 e anual após 2010	Anual de 2008 a 2015
Área Mínima Mapeada	3 ha	1 ha
Abrangência Espacial	Limite da Lei da Mata Atlântica	Bioma da Mata Atlântica
Definição de "Floresta" utilizada pelo mapeamento	Fisionomias Florestais da Mata Atlântica em estágio primário e secundário em estágio médio/avançado de regeneração (sem sinais de alteração antrópica)	Área com mais de 1ha com vegetação arbórea com altura superior a 5m e cobertura de copa superior a 30%

## Comparação da área de floresta

Para realização da análise foram utilizadas as classes de Mata e Mangue do Atlas da SOS/INPE e as classes de Floresta e Floresta da Zona Costeira do MapBiomias, calculando a área em km<sup>2</sup>. Utilizou-se o limite do Bioma da Mata Atlântica (IBGE, 2004) e o limite das Unidades da Federação (IBGE, 2013). As estatísticas foram calculadas pela intersecção de todos os dados na projeção Policônica de Albers com Datum SIRGAS 2000.

Pelo produto do MapBiomias, 27,3% da área do Bioma está coberto por florestas, enquanto para o Atlas da SOS/INPE esse valor é de 12,3%. Essa diferença proporcional, onde o MapBiomias identifica quase o dobro de florestas que o Atlas, é mais ou menos padronizada nos diversos estados da federação, com exceções de alguns estados do Nordeste, a Bahia e Paraná, onde essa diferença é mais acentuada (Tabela II).

Tabela II – Comparação da Área (km<sup>2</sup>) de Floresta de cada mapeamento

UF	Bioma Mata Atlântica (km <sup>2</sup> )	Atlas SOS/INPE 2014 (km <sup>2</sup> )	% do Bioma com Floresta pelo Atlas	MapBiomias 2014 (km <sup>2</sup> )	% do Bioma com Floresta pelo MapBiomias
AL	14.781	1.460	9,9%	1.814	12,3%
BA	112.513	12.479	11,1%	38.822	34,5%
ES	46.085	4.904	10,6%	10.010	21,7%
GO	10.495	233	2,2%	802	7,6%
MG	241.703	24.992	10,3%	48.238	20,0%
MS	50.536	2.953	5,8%	4.659	9,2%
PB	5.101	465	9,1%	671	13,2%
PE	17.122	1.664	9,7%	2.695	15,7%
PR	195.567	23.282	11,9%	62.191	31,8%
RJ	43.780	8.247	18,8%	9.896	22,6%
RN	3.114	221	7,1%	391	12,5%
RS	102.976	9.542	9,3%	37.171	36,1%
SC	95.703	22.256	23,3%	45.777	47,8%
SE	11.893	949	8,0%	3.214	27,0%
SP	167.087	23.491	14,1%	39.534	23,7%
<b>TOTAL</b>	<b>1.118.456</b>	<b>137.137</b>	<b>12,3%</b>	<b>305.883</b>	<b>27,3%</b>

Análise visual demonstra que o padrão geral da distribuição das florestas é semelhante, com a maior concentração na serra do mar na região sudeste. As Unidades de Conservação também aparecem bem destacadas em ambos os mapeamentos, como PN do Iguaçu no PR, PE do Morro do Diabo em SP, Região Serrana do RJ. É possível notar que o MapBiomias é mais inclusivo, o que dá um aspecto mais esverdeado por todo Bioma, especialmente no interior do PR, SC e RS. O litoral da BA e o interior de MG (na transição com o Bioma Cerrado) possuem uma diferença na densidade do mapeamento muito marcante. (Figura III)

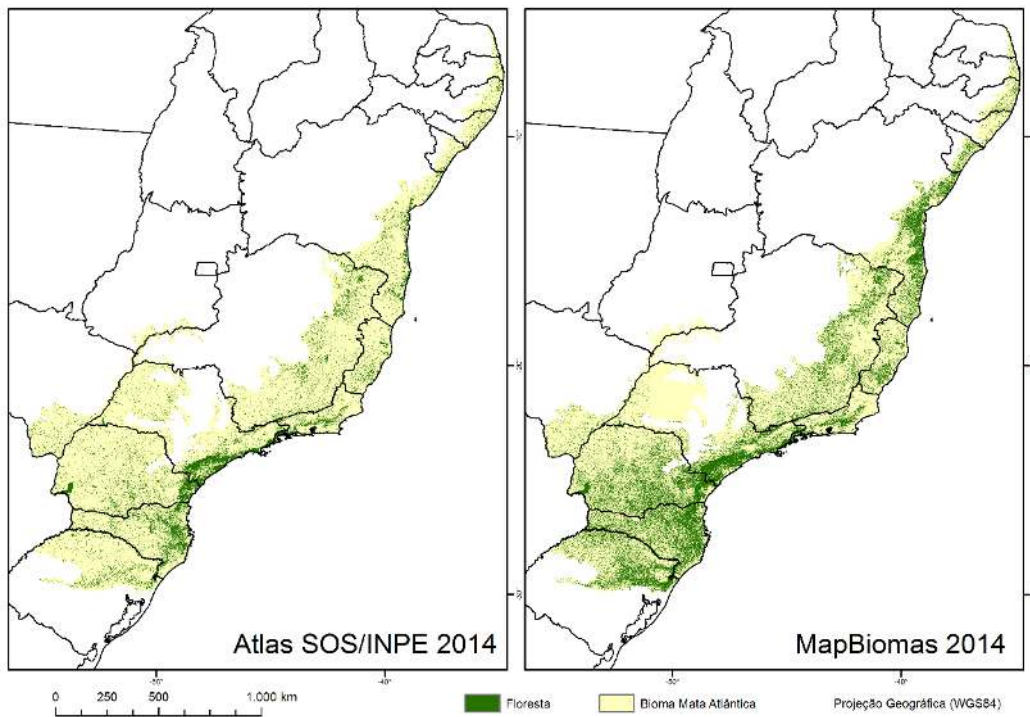


Figura III – Comparação entre os mapeamentos de floresta para o Bioma Mata Atlântica

Visualizando a região do sul de MG e centro do RJ com maior detalhe é possível observar que existe grande consistência na localização das principais manchas de floresta, mas o MapBiomas possui um padrão mais inclusivo. (Figura IV)

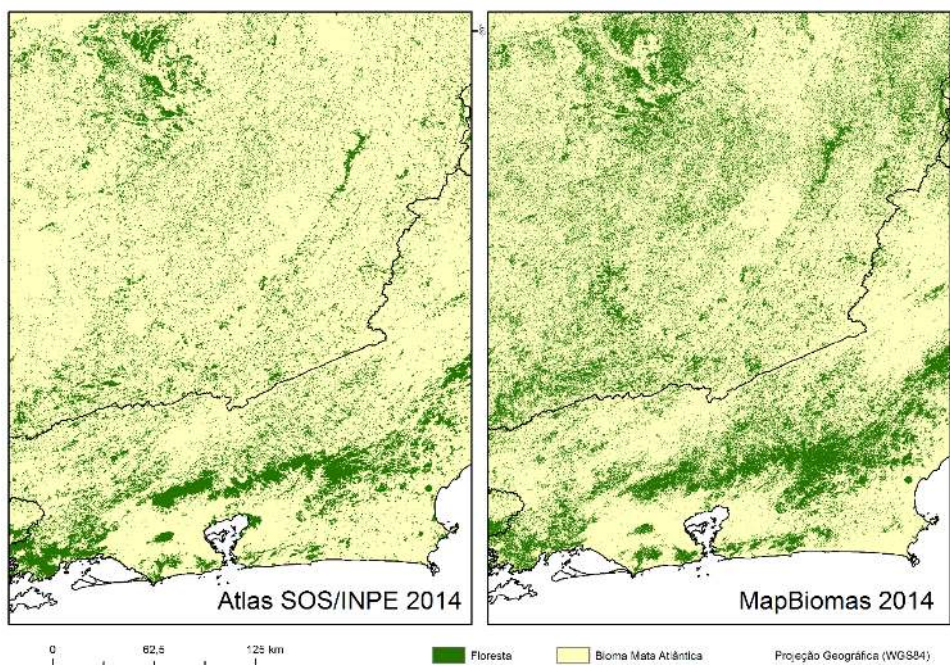


Figura IV – Comparação entre os mapeamentos de floresta para o sul de Minas Gerais e área central do Rio de Janeiro

### Análise de correlação espacial entre a classe de floresta

Uma análise de concordância espacial, realizada através de sobreposição espacial, para o ano de 2014, revelou que o mapeamento do MapBiomias incluiu uma média de 79% das florestas mapeadas pelo Atlas da SOS/INPE (Tabela III). A menor correlação aparece principalmente nos estados do Nordeste e em MG. RS, SC e PR possuem uma correlação acima de 85%.

Tabela III – Análise de concordância do mapeamento de floresta

UF	Bioma Mata Atlântica (km <sup>2</sup> )	Floresta nos dois Mapeamentos	% do Atlas 2014 concordante com MapBiomias
AL	14.781	700	48%
BA	112.513	9.396	75%
ES	46.085	3.687	75%
GO	10.495	172	74%
MG	241.703	16.066	64%
MS	50.536	2.118	72%
PB	5.101	246	53%
PE	17.122	1.021	61%
PR	195.567	20.271	87%
RJ	43.780	6.233	76%
RN	3.114	119	54%
RS	102.976	8.241	86%
SC	95.703	19.203	86%
SE	11.893	558	59%
SP	167.087	19.830	84%
<b>TOTAL</b>	<b>1.118.456</b>	<b>107.861</b>	<b>79%</b>

### Discussão

A comparação das metodologias dos produtos indica o tipo de diferença que pode ser encontrada em cada mapeamento, principalmente por conta da técnica de classificação e do conceito de floresta interpretada.

O resultado do MapBiomias é mais inclusivo ao mapear as florestas, identificando o equivalente à 27,3% do bioma, enquanto o mapeamento do Atlas SOS/INPE identifica o equivalente à 12,3%. As maiores diferenças são encontradas nos estados do PR e BA, onde o MapBiomias identifica quase 3 vezes mais floresta. Essas diferenças do PR podem ser explicadas, em parte, pois o MapBiomias inclui florestas plantadas e pequenos fragmentos de floresta no entorno dos rios, que não estão incluídas no mapeamento do Atlas SOS/INPE. No caso da BA, parte da diferença ocorre na área de plantio de cacau, que é realizado em

sistema agroflorestal e foi retirado do mapeamento do Atlas da SOS/INPE, aparecendo como floresta no MapBiomias e também pelas áreas de silviculturas, não incluídas no Atlas da SOS/INPE. As menores diferenças estão nos estados do Nordeste (PB, PE, RN e AL), principalmente porque esses estados possuem pouca disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens. Como o Atlas da SOS/INPE realiza o mapeamento dessa região desde o ano 2000, o mapeamento das florestas está mais consolidado.

A comparação da concordância espacial mostrou que o mapeamento do MapBiomias incluiu 79% das florestas mapeadas pelo Atlas da SOS/INPE. Esse valor indica uma boa consistência entre os mapeamentos, mas é essencial compreender quais florestas do Atlas da SOS/INPE não foram incluídas nos critérios do MapBiomias. As maiores diferenças estão nos estados do Nordeste, também causados pela cobertura de nuvens que impossibilitou o MapBiomias de identificar parte das florestas desde o início do mapeamento em 2008, e no estado de MG, onde a diferença ocorre principalmente no critério de inclusão da floresta estacional decidual, em transição com o cerrado. Outras florestas incluídas no Atlas da SOS/INPE, que não estão bem mapeadas pelo MapBiomias, são as vertentes iluminadas em áreas de alta declividade. O critério de classificação do MapBiomias não incluiu, na coleção 1, muitas dessas vertentes florestadas (é importante ressaltar que a coleção 1 do MapBiomias é fruto do primeiro ano de trabalho do projeto e foi destinado a testar a viabilidade e a eficiência da metodologia. O mapeamento ainda possui uma série de imperfeições e não é adequada para análises locais).

### **Conclusão**

A definição de floresta utilizada pelo Atlas da SOS/INPE tem forte impacto sobre o produto final, produzindo um mapeamento que inclui apenas os remanescentes florestais bem conservados. Essa base tem como principal aplicação análises relacionadas ao monitoramento do desmatamento de áreas bem conservadas, análises regionais, criação de novas unidades de conservação, identificação de áreas importantes para proteção de áreas de recarga de aquíferos e análises para criação de mosaicos de Unidades de Conservação e Corredores Ecológicos visando à conservação da biodiversidade em longo prazo.

O MapBiomias possui um conceito de floresta mais amplo e tem como resultado um mapeamento mais inclusivo, que pode ser utilizado para identificação de áreas plantio e recomposição da floresta nativa para criação de corredores locais, análises de fragmentação

dos remanescentes florestais e análises da situação ambiental de bacias hidrográficas e proteção de corpos d'água.

O mapeamento do Atlas dos Remanescentes da Mata Atlântica é um produto consolidado, utilizado como referência para políticas públicas e ações de conscientização da importância da conservação da Mata Atlântica. O MapBiomias é uma iniciativa recente que pode ter um papel complementar, oferecendo um mapa de floresta mais inclusivo dentro de uma metodologia padronizada para todo território brasileiro.

A coleção 3 do MapBiomias, prevista para ser lançada no início de 2018, terá o monitoramento de 1985 a 2017. Quando as duas iniciativas tiverem o monitoramento do mesmo período será essencial realizar uma análise mais aprofundada, utilizando pontos amostrais espalhados pelo Bioma que possam avaliar a qualidade de cada mapeamento de forma independente. Assim será possível decidir se as iniciativas devem continuar como monitoramentos paralelos ou se é possível integrá-las para que sejam complementares.

### Referências bibliográficas

Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, 2016: Relatório Técnico do Período de 2013 e 2014. Disponível em: <[http://mapas.sosma.org.br/site\\_media/download/atlas\\_2013-2014\\_relatorio\\_tecnico\\_2015.pdf](http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_2013-2014_relatorio_tecnico_2015.pdf)>. Acesso em 01 de agosto de 2016

COLDITZ, R. R. et al. Land cover classification with coarse spatial resolution data to derive continuous and discrete maps for complex regions. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 12, p. 3264–3275, 2011.

IBGE, 2004. Arquivo digital do limite do Bioma da Mata Atlântica. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm/>>. Acessado em 01 de agosto de 2016

IBGE, 2013. Arquivo digital da malha de municípios brasileiros de 2013. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_municipais/municipio\\_2013/](ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2013/)>. Acessado em 01 de agosto de 2016

MapBiomias, 2016. Relatório final da coleção 1 do Bioma Mata Atlântica. Disponível em: <[https://s3.amazonaws.com/mapbiomas-ecostage/Base+de+dados/Metodologia/RelatorioColecao1\\_mata\\_atlantica\\_abril2016\\_v4.pdf](https://s3.amazonaws.com/mapbiomas-ecostage/Base+de+dados/Metodologia/RelatorioColecao1_mata_atlantica_abril2016_v4.pdf)>. Acesso em 01 de agosto de 2016

SMALL, C. The Landsat ETM+ spectral mixing space. *Remote Sensing of Environment*, v. 93, n. 1–2, p. 1–17, 2004.

SOUZA, C. M.; ROBERTS, D. A.; COCHRANE, M. A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing of Environment*, v. 98, n. 2–3, p. 329–343, 2005.