O SISTEMA DETER PARA A AMAZÔNIA BRASILEIRA É AFETADO PELA COBERTURA DE NUVENS?

Luis Eduardo P. Maurano [1,2], Marcos Adami[1,2], Jeferson de Souza Arcanjo[2]

[1] Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PGSER), Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - São José dos Campos, SP.
[2] Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG), Coordenação Geral de Ciências da Terra (CGCT)
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - São José dos Campos, SP,
{luis.maurano, marcos.adami, jeferson.arcanjo}@inpe.br

RESUMO

Por se encontrar em uma região equatorial a Amazônia brasileira sofre impactos do excesso de cobertura de nuvens em uma parte do ano, o que pode prejudicar o mapeamento de desmatamentos por sensoriamento remoto óptico neste período. Desde 2015 o INPE opera o sistema DETER com uma abordagem multi satélites justamente para minimizar o efeito da cobertura de nuvens. Atualmente são empregados dados do sensor WFI a bordo dos satélites CBERS 4, 4A e Amazônia 1. Estabelecer o período que um alerta do DETER teve sua detecção prejudicada pela presença de nuvens nas imagens anteriores pode ser tarefa fundamental. Este trabalho descreve um método que criou 52 máscaras de nuvens semanais entre 01 ago 2023 a 31 jul 2024 para analisá-las juntamente com alertas do DETER. Com base nas análises realizadas foi possível identificar que a deteção de alertas de desmatamento feita pelo DETER é pouco afetada pela cobertura de nuvens mesmo nos meses críticos.

Palavras chaves — DETER, Amazônia, monitoramento do desmatamento, cobertura de nuvens.

ABSTRACT

Due to its location in an equatorial region, the Brazilian Amazon experiences impacts from excessive cloud cover during part of the year, which can hinder deforestation mapping through optical remote sensing during this period. Since 2015, INPE has operated the DETER system in the region with a multi-satellite approach specifically to minimize the effects of cloud cover. Currently, data from the WFI sensor on the CBERS 4, 4A, and Amazon 1 satellites are used. Establishing the period during which a DETER alert's detection was affected by cloud presence in previous images can be a crucial task. This work describes a method that created 52 weekly cloud masks from August 1, 2023, to July 31, 2024, to analyze them alongside DETER alerts. Based on the analyses conducted, it was possible to identify that DETER's performance is minimally affected by cloud cover even during critical months.

Key words — *DETER, Amazon, deforestation monitoring, cloud cover.*

1. INTRODUÇÃO

O bioma Amazônia, que ocupa parte do centro-norte do Brasil, é uma região de aproximadamente 4,2 milhões de km^2 equivalendo em torno de 49% do território brasileiro. Possui grande variação tanto em latitude como em longitude, indo de Sul 16 a Norte 5 e Oeste 73 a Oeste 44 respectivamente, estendendo-se por nove unidades da federação. Ele está inserido na maior floresta tropical contígua do planeta [1].

Por estar situada em região equatorial com abundante disponibilidade de energia apresenta pouca variação de temperatura. Assim, com clima quente e úmido, a maior parte da região convive com duas estações climáticas bem definidas em se tratando de quantidade precipitação. O período de chuvas na região Amazônica é compreendido entre novembro e março, em contraponto, o período de seca se dá entre os meses de maio e setembro, ficando os meses de abril e outubro como meses de transição [2].

Desde 1960 com a implantação de projetos suprindo a necessidade de infraestrutura, disponibilização de terras e adoção de práticas agrícolas fizeram com que o processo de ocupação empregado na região majoritariamente utilize a remoção da cobertura florestal para dar lugar às atividades agropecuárias, mineração e madeireira [3], [4].

Desenvolver e operar um sistema de monitoramento sistemático de desmatamento baseado em sensoriamento remoto ótico nessa região é um desafio, já que em boa parte do ano o bioma apresenta altas taxas de cobertura de nuvens. O Sistema de Deteção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), criado pelo INPE em 2004, também enfrenta esse desafio. O DETER é um sistema que emite diariamente alertas na alteração da cobertura florestal para dar suporte às atividades de fiscalização do desmatamento [6].

De 2004 a 2015 o DETER operou com base nas imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) (250 metros resolução espacial) e por isso só era possível mapear alertas de desmatamentos maiores que 25 ha [6]. Desde 2015 o DETER opera com imagens do sensor *Wide Field Camera* (WFI) (64 metros de resolução espacial e 850 km de faixa imageamento) a bordo dos satélites CBERS 4, CBERS 4A e

Amazônia 1 [7]. Com estes instrumentos é possível revisitar uma mesma área a cada 5 dias e detectar alertas de desmatamento maiores que 3 ha. Contando com 3 satélites operacionais e com alta taxa de revisita aumenta-se a chance de mapear a região com imagens total ou parcialmente livre de nuvens.

A metodologia do DETER é baseada em interpretação visual e consiste em comparar determinada área em uma imagem recente com imagens anteriores de data próxima. Uma vez identificado um polígono com sinais de alteração da cobertura florestal sendo que nas imagens anteriores, livre de nuvens, estes sinais não estavam presentes, assume-se que esta área como desmatamento recente [8]. Porém, essa agilidade é afetada pela ocorrência de nuvens, que costuma ser alta entre os meses de novembro e março [2].

Assim, determinar o tempo entre a deteção do alerta de desmatamento e a última oportunidade de se observar essa mesma área sem nuvens passa a ser relevante. Órgãos de combate ao desmatamento buscam com essa informação separar desmatamentos recentes – onde seria possível efetuar o flagrante do crime ambiental, de desmatamentos já realizados no passado, mas cuja detecção foi prejudica pela dificuldade de observação.

É neste contexto que este estudo se insere, pois tem como finalidade descrever uma metodologia de geração de máscaras de nuvens semanais a partir de imagens do CBERS 4, CBERS 4A e Amazônia 1 e avaliar se o período que um alerta de desmatamento do DETER teve sua detecção prejudicada pela presença de nuvens.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Para desenvolver estudo foram selecionados todos os alertas do DETER para o período de 01 de agosto de 2023 a 31 de julho de 2024 do bioma Amazônia, totalizando 72.861 polígonos sem distinção entre classes de desmatamento e degradação florestal. A Figura 1 mostra a distribuição espacial dos dados selecionados.

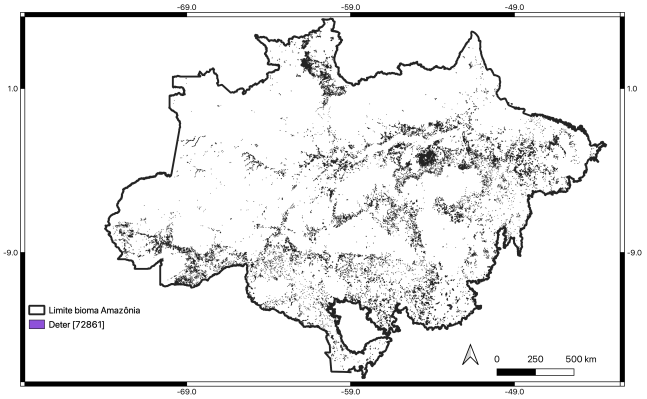


Figura 1: Localização da área de estudo e distribuição espacial dos alertas do DETER.

2.2. Metodologia

2.2.1. Máscara de nuvens/área observada

Os satélites CBERS 4/4A tem características técnicas semelhantes, possuem sensores multiespectrais com bandas na região do visível e infravermelho próximo com resolução espacial que variam de 5/10 m (PAN), 20 m (MUX) e 64 m (WFI). Já o satélite Amazônia 1 possui um único sensor (WFI) multiespectral com bandas na região do visível e infravermelho próximo de 56 m de resolução espacial. O Segmento Solo do INPE apoia as atividades necessárias ao controle dos satélites CBERS 4/4A e Amazônia 1. O que inclui rastreio, comando, controle, recepção, armazenamento, processamento e distribuição de imagens [9].

Além de prover as imagens em vários formatos e níveis de processamento, aplicando correções geométricas e atmosféricas, o Segmento Solo produz uma máscara de nuvens e suas sombras para cada cena dos sensores WFI. Essa máscara é formada por um arquivo CMASK (geotiff) com dois valores distintos, 127 para a área sem nuvens e 255 para área coberta por nuvens/sombra de nuvens (Figura 2), conforme descrito por [10]. Para os 12 meses objeto deste estudo, foram analisadas 901 cenas com máscaras de nuvens sendo, 559 do satélite Amazônia 1, 262 do CBERS 4 e 81 do CBERS 4A.

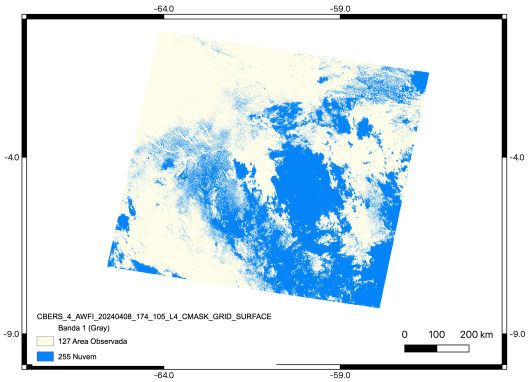


Figura 2: Máscara de nuvem de uma cena CBERS 4 de 08 agosto de 2024.

2.2.2. Dados semanais da área observada

De posse das cenas CMASK individuais obtidas no catálogo de imagens do INPE, com auxílio da *Geospatial Data Abstraction Library* (GDAL) [11], foram gerados 52 mosaicos semanais, onde cada arquivo contém a máscara da área observada na semana para todo bioma. Um exemplo desse produto é apresentado na Figura 3.

2.2.3 Obtenção do tempo anterior de cobertura de nuvens

Os alertas de desmatamento do período de estudo foram inseridos em um sistema gerenciador de banco de dados objeto relacional (SGBD) PostgreSQL [12], contendo também a extensão espacial PostGIS [13]. Um programa

escrito em linguagem de programação Python [14] foi desenvolvido para realizar as consultas espaciais e demais cálculos necessários.

A primeira etapa consiste em recuperar as coordenadas centrais dos polígonos do DETER. Com base na coordenada central, o programa então empilha as últimas 52 mascaras semanais da área observada anteriores a data selecionada em ordem descrente de data, ou seja, da mais recente para a mais antiga.

Caso os polígonos façam intersecção com nuvem na máscara da primeira semana anterior ao mapeamento do DETER, soma-se 7 dias a um contador e passa-se a analisar a máscara da semana imediatamente anterior, caso encontre nuvem também nesta máscara mais 7 dias são somados no contador. Este processo é repetido até que uma área sem nuvem seja interceptada pelo polígono, neste momento a contagem dos dias é interrompida e o valor do contador é armazenado na tabela de atributos do polígono. Ao final do processo, o valor indicado neste contador é a quantidade de dias em que a região do alerta ficou sob influência de cobertura de nuvens, impossibilitando a detecção deste desmatamento de forma antecipada. Caso na primeira mascara analisada já seja identificado a não presença de nuvens o contador de dias será armazenado com o valor 0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 exemplifica um dos 52 mosaicos gerados e corresponde a primeira semana de janeiro de 2024 (dia 01 a 07). A região em amarelo equivale a área observada no período e em azul a área coberta por nuvens. A eventual falta de imagens para recobrir a área de estudo na semana é considerado como área coberta por nuvens.

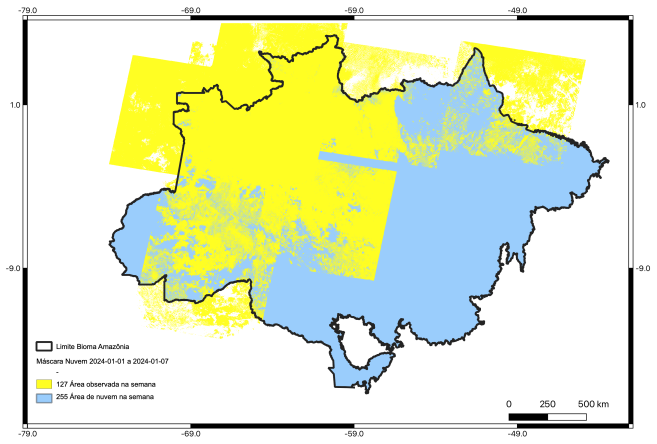


Figura 3: Mosaico de máscaras de nuvem para 1ª. semana de janeiro de 2024.

A Tabela 1 e a Figura 4 apresentam os resultados do processamento de aproximadamente 72 mil alertas do DETER produzidos entre 01 agosto 2023 a 31 julho 2024. Os dados foram estratificados por mês e classificados por faixa de dias em que a área do alerta ficou sob nuvens.

Do total de polígonos mapeados pelo DETER, mais de ¾ deles foram observados sem enfrentar o problema de nuvens. Se incluído os polígonos com apenas uma semana de cobertura de nuvens (7) esse total sobe para praticamente 90% (Tabela 1). Ao analisarmos o período chuvoso (Tabela 1, Figura 4), observa-se que aproximadamente 60% dos polígonos não tiveram problemas de cobertura de nuvem e que menos de 10% deles ficaram tempo maior do que 14 dias sem serem observados. Resultados similares foram apresentados Diniz et al. [7] ao apresentar os resultados do DETER.

Ano-mes	# Alertas	0 (%)	7 (%)	14 (%)	21 (%)	>28 (%)
2023-08[1]	6.744	99,8	0,0	0,2	0,0	0,0
2023-09[1]	9.772	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2023-10[2]	9.614	43,2	44,6	9,3	0,1	2,8
2023-11[3]	5.693	29,5	36,8	24,6	8,6	0,5
2023-12[3]	3.470	60,4	1,3	27,1	5,8	5,4
2024-01[3]	1.987	66,3	3,4	5,8	18,7	5,7
2024-02[3]	5.320	78,2	11,8	2,6	0,6	6,8
2024-03[3]	3.159	94,1	2,3	1,6	0,3	1,8
2024-04[2]	3.258	53,0	43,1	0,5	0,0	3,3
2024-05[1]	5.151	93,1	3,8	0,3	1,7	1,1
2024-06[1]	5.616	95,1	2,9	0,4	0,8	0,8
2024-07[1]	11.795	91,7	8,2	0,0	0,0	0,1
Total	**75.579**	**77,6**	**13,87**	**5,04**	**1,74**	**1,73**

Tabela 1: Resultados DETER x nuvens. [1] meses período seco, [2] meses transição e [3] meses período chuvoso.

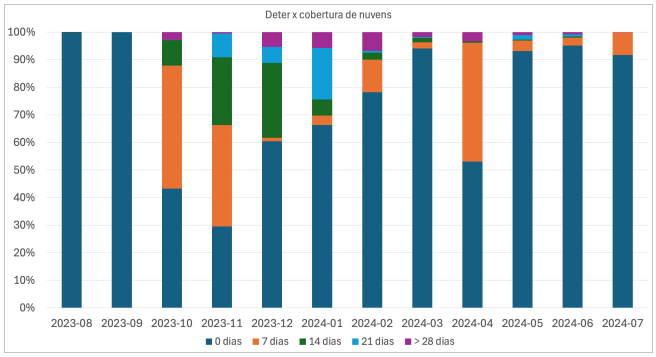


Figura 4: Resultados DETER x nuvens.

Observa-se também que no período seco no bioma - maio a setembro, a detecção de mais de 90% dos alertas não foi prejudicada pela presença de nuvens em períodos anteriores, sendo que já na primeira semana anterior ao alerta a área não apresentava cobertura de nuvens. Esses

dados de cobertura de nuvem para a Amazônia corroboram os resultados de Prudente et al. [15] a respeito da relação entre área coberta com nuvens para a região em função da estação.

O uso de multi satélites com características semelhantes, como os empregados no DETER, minimizam o efeito da cobertura de nuvens na detecção dos alertas de desmatamento. Mesmo em meses críticos em relação ao excesso de nuvens no bioma quase a totalidade dos alertas foram detectados em prazo aceitável (<= 21 dias), fornecendo indícios para os órgãos de fiscalização que se trata de desmatamentos recentes, contrariando o indicado por [5] com relação ao prejuízo ocasionado pelo uso de imagens de sensor óptico que limitaria a capacidade do DETER de detectar mudanças nos padrões de cobertura da terra.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho procurou verificar se a cobertura de nuvens no bioma Amazônia é fator que prejudica a detecção dos alertas de desmatamentos do DETER. Para isso foram geradas 52 mascaras de nuvens semanais com base nos dados dos satélites CBERS 4/4A e Amazônia 1. Após cruzamentos dessas máscaras com dados do DETER de agosto 2023 a julho 2024 observou-se que a grande maioria dos alertas não tiveram sua observação prejudicada pela cobertura de nuvens nas imagens pretéritas mesmo nos períodos mais críticos do ano.

Destaca-se que o método descrito neste trabalho está operacional e os dados do DETER são submetidos diariamente a este processamento antes do envio ao IBAMA e demais órgãos de fiscalização.

5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a *Climate and Land Use Alliance* (CLUA) pelo apoio a participação no SBSR 2025.

6. REFERÊNCIAS

[1] J. A. Foley *et al.*, ‘Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin’, *Front Ecol Environ*, vol. 5, no. 1, pp. 25–32, 2007, doi: 10.1890/1540-9295(2007)5[25:arfdal]2.0.co;2.

[2] G. FISCH, J. A. MARENGO, and C. A. NOBRE, ‘Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia’, *Acta Amazon*, vol. 28, no. 2, pp. 101–101, Jun. 1998, doi: 10.1590/1809-43921998282126.

[3] D. F. Amaral, J. B. de Souza Ferreira Filho, A. L. S. Chagas, and M. Adami, ‘Expansion of soybean farming into deforested areas in the amazon biome: the role and impact of the soy moratorium’, *Sustain Sci*, vol. 16, no. 4, pp. 1295–1312, Jul. 2021, doi: 10.1007/s11625-021-00942-x.

[4] B. K. Becker, *Geopolítica da Amazônia: a nova fronteira de recursos*. Zahar Editores, 1982. [Online]. Available: http://books.google.com.br/books?id=AaFDAAAAYAAJ

[5] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, ‘DETER-ing Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement’, *Am Econ J Appl Econ*, vol. 15, no. 2, pp. 125–156, Apr. 2023, doi: 10.1257/app.20200196.

[6] L. O. Anderson, Y. E. Shimabukuro, R. S. DeFries, and D. Morton, ‘Assessment of deforestation in near real time over the Brazilian Amazon using multitemporal fraction images derived from Terra MODIS’, *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, vol. 2, no. 3, pp. 315–318, 2005, doi: 10.1109/lgrs.2005.850364.

[7] C. G. Diniz *et al.*, ‘DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System’, *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens*, vol. 8, no. 7, pp. 3619–3628, Jul. 2015, doi: 10.1109/JSTARS.2015.2437075.

[8] C. A. de Almeida *et al.*, *Metodologia utilizada nos sistemas PRODES e DETER - 2ª edição (atualizada)*, 2nd ed. SJC: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2022. [Online]. Available: http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/47GAF6S

[9] INPE, ‘Portal CBERS’, 2024, *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*. [Online]. Available: http://www.cbers.inpe.br/

[10] M. A. O. da Silva and F. dos S. Liporace, ‘DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE NUVEM E SOMBRA DE NUVEM EM IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO’, *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol. 22, no. 2, pp. 369–388, Jun. 2016, doi: 10.1590/S1982-21702016000200021.

[11] GDAL/OGR contributors, ‘GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction software Library’, 2024. doi: 10.5281/zenodo.5884351.

[12] M. Stonebraker and L. A. Rowe, ‘The design of POSTGRES’, *ACM SIGMOD Record*, vol. 15, no. 2, pp. 340–355, Sep. 1986, doi: 10.1145/16856.16888.

[13] PostGIS, ‘PostGIS 3.4.4DeV Manual’, 2024. [Online]. Available: https://postgis.net/docs/manual-3.4/

[14] G. Van Rossum and F. L. Drake, *Python 3 Reference Manual*. Scotts Valley, CA: CreateSpace, 2009.

[15] V. H. R. Prudente, V. S. Martins, D. C. Vieira, N. R. de F. e. Silva, M. Adami, and I. D. A. Sanches, ‘Limitations of cloud cover for optical remote sensing of agricultural areas across South America’, *Remote Sens Appl*, vol. 20, p. 100414, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.rsase.2020.100414.