

DSAT - APLICAÇÃO PARA VISUALIZAÇÃO INTERATIVA DOS DADOS RECEBIDOS PELA ESTAÇÃO GOES-R DO INPE

Douglas Messias Uba¹, Luiz Augusto Toledo Machado¹, Sérgio de Paula Pereira¹, Diego Rodrigo Moitinho De Souza¹, Renato Galante Negri¹ e Rogério da Silva Batista¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Cachoeira Paulista - SP, Brasil.
{douglas.uba, luiz.machado, sergio.pereira, diego.souza, renato.galante, rogerio.batista}@inpe.br

RESUMO

Em 2019 e início de 2020, o INPE realizou a compra, a instalação e a operacionalização de uma estação de recepção exclusiva para os satélites geoestacionários da série GOES-R, com potencial de produção de aproximadamente 300 GB de dados diários, incluindo informações de diferentes canais espectrais e produtos derivados. A estação está instalada no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), em Cachoeira Paulista - SP. Os dados gerados oferecem capacidade avançada de observação para atender diversas áreas, com destaque para aplicações meteorológicas e ambientais. Este trabalho apresenta o **DSAT**, uma ferramenta para visualização interativa dos dados e produtos disponíveis em tempo hábil, considerando a alta frequência temporal, a resolução espacial máxima e a projeção original de aquisição das imagens. A aplicação pode ser acessada a partir do endereço público www.cptec.inpe.br/dsat.

Palavras-chave – sensoriamento remoto, meteorologia, satélite, GOES, visualização.

ABSTRACT

*In 2019 and early 2020, INPE acquired, installed and operationalized a receive station for GOES-R Series geostationary satellites, with the potential to produce approximately 300 GB of daily data, including information from different spectral channels and derived products. The station is installed at the Weather Forecast and Climate Studies Center (CPTEC), Cachoeira Paulista - SP. The generated data offer advanced observation capabilities to aid several areas, especially meteorological and environmental applications. This work presents **DSAT**, a web-based tool for interactive visualization of available data and products in a timely manner, considering the high temporal frequency, the maximum spatial resolution and the original acquisition projection of the images. The application can be accessed from the public address www.cptec.inpe.br/dsat.*

Key words – remote sensing, meteorology, satellite, GOES, visualization.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é reconhecido internacionalmente pela sua competência e experiência nas atividades de recepção, processamento, armazenamento, disseminação e aplicação em benefício da sociedade, de dados, imagens e produtos de satélites

ambientais e meteorológicos, o que consolida sua liderança técnico-científica nestes cenários e atividades, sobretudo na região da América do Sul.

Com o objetivo estratégico de manter a estrutura de recepção e disseminação de dados espaciais com tecnologia atualizada, o INPE adquiriu em 2019 uma estação terrena em banda L, para recepção, gravação e processamento dos sinais e dados de imagem dos satélites geoestacionários da série GOES-R¹. A estação está instalada no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), em Cachoeira Paulista - SP e foi inaugurada no dia 10 de fevereiro de 2020 (Figura 1).



Figura 1: Inauguração da estação GOES-R, 10 de fevereiro de 2020. Na foto, servidores do INPE e a antena para recepção dos dados transmitidos pelos satélites. Local: CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista - SP, Brasil.

Essa geração de satélites trata-se até o momento da mais avançada série (*state-of-the-art*) de satélites geoestacionários já produzidos (em ordem cronológica: GOES-R/S/T/U), com o primeiro deles (denominado GOES-16, logo após alcançar sua órbita) lançado com sucesso no dia 19 de novembro de 2016, o segundo (GOES-17) em 01 de março de 2018 e o terceiro (GOES-18) em 01 de março de 2022. O quarto e

¹GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) é a nomenclatura utilizada para denominar um conjunto de satélites norte-americanos de órbita geoestacionária, construídos e colocados em órbita pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e operados posteriormente pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

último satélite da série (GOES-19) está planejado para ser lançado em abril de 2024.

Para o Brasil e América do Sul, o GOES-16 possui importante destaque pois está posicionado sobre a Linha do Equador, na longitude -75° , o que permite uma boa cobertura do continente e regiões oceânicas do Pacífico e Atlântico. O satélite tem capacidade de transmitir imagens meteorológicas de 10 em 10 minutos utilizando um conjunto de avançados instrumentos de sensoriamento remoto, incluindo o imageador ABI (*Advanced Baseline Imager*) e o primeiro sensor para detecção de descargas elétricas instalado em um satélite de órbita geostacionária, o GLM (*Geostationary Lightning Mapper*).

Neste contexto, este trabalho apresenta o **DSAT**, uma aplicação construída para permitir o acesso de especialistas e da sociedade em geral às imagens e produtos derivados disponíveis. A aplicação permite a visualização interativa dos dados, em ambiente *Web*, sendo composta por uma interface gráfica (*front-end*), acessível por um navegador, além da parte para geração, preparação e armazenamento (*back-end*) dos dados para visualização.

2. VOLUME DOS DADOS ABI

O ABI é um imageador multiespectral, com um total de 16 canais, distribuídos nas porções do visível e infravermelho termal. Comparado ao imageador a bordo do GOES-13, satélite antecessor ao GOES-16, o ABI apresenta melhor resolução espacial, espectral e também maior frequência temporal. Mais detalhadamente, o novo sensor apresenta uma resolução espacial quatro vezes maior e uma resolução temporal de 10 minutos para o setor *full-disk*², contra 30 minutos do antecessor. Essa significativa evolução tecnológica causou um aumento considerável do volume de dados, sendo necessário a construção de novas ferramentas e métodos de visualização para auxiliar a exploração de modo eficiente das imagens e produtos [1].

Em termos de resolução espacial, os valores são de 500 m, 1 km ou 2 km, dependendo do canal espectral. A Tabela 1 apresenta a relação entre a resolução espacial e os canais, além das dimensões das matrizes com os valores medidos pelo sensor, *e.g.* para um canal com resolução de 2 km, temos uma matriz de 5424 x 5424 pixels a cada 10 minutos.

Resolução	Canais	Dimensões
500 m	02	21696 x 21696
1 km	01, 03, 05	10848 x 10848
2 km	04, 06, 07, ..., 16	5424 x 5424

Tabela 1: Resolução espacial, canais espectrais e dimensões da matriz de valores para os dados do sensor ABI.

Os passos para a geração de um arquivo de imagem são apresentados na Figura 2. A estação de recepção produz arquivos do tipo `netCDF`, contendo os valores físicos medidos pelo imageador, para cada canal, *e.g.* valores de radiação (L1) ou valores de refletância ou temperatura de brilho (L2). A partir desse arquivo, em conjunto com uma

²Sector *full-disk* refere-se ao imageamento de um Polo a outro da Terra, dentro dos limites de longitude estabelecidos pela posição do satélite geostacionário.

série de parâmetros de configuração, segue o processo de geração da imagem. Esses parâmetros definem atributos como valor físico mínimo e máximo para normalização no intervalo $[0, 255]$, escolha de mapa de cores, entre outros. O resultado é um arquivo de imagem, em formatos comumente utilizados, por exemplo JPEG, PNG ou TIFF.



Figura 2: Passos para a geração de um arquivo de imagem a partir dos valores medidos pelo sensor ABI.

A Tabela 2 apresenta a relação entre a resolução espacial e o tamanho médio em *megabytes* (MB) dos arquivos de imagem produzidos, considerando um arquivo PNG de 8 bits sem compressão.

Resolução	PNG 8 bits (MB)
500 m	460
1 km	77
2 km	18

Tabela 2: Resolução espacial e tamanho médio (MB) dos arquivos de imagem produzidos.

Nota-se que os arquivos possuem tamanhos grandes para o contexto de aplicações *Web* e de visualização interativa. Isto porque as imagens terão que ser transmitidas de um servidor até a máquina do usuário que deseja visualizar o resultado. O cenário fica mais crítico ao considerarmos que o recurso de animação a partir de uma sequência grande de imagens (*i.e. looping*) é bastante importante e utilizado na análise de imagens meteorológicas. Além disso, a alta resolução temporal dos dados ABI/GOES-16 (*i.e.* novas imagens a cada 10 minutos), aumenta consideravelmente o volume de dados produzidos. Sendo assim, é necessário implementar e prover mecanismos mais sofisticados para disseminação e visualização dessas imagens.

3. DSAT

Considerando o cenário do volume de dados ABI e a necessidade de mecanismos eficientes para disseminação e visualização interativa de imagens meteorológicas, o **DSAT** foi construído. Trata-se de uma aplicação que permite o acesso público às imagens e produtos GOES-16, atualmente recebidos e gerados pelo INPE. A solução torna possível a visualização interativa dos dados, em ambiente *Web*, considerando a alta resolução temporal, a resolução espacial máxima e a projeção original de aquisição das imagens. A aplicação possui uma interface gráfica (Figura 3), acessível por um navegador de Internet, bastante semelhante à aplicações de mapa populares, como por exemplo o Google Maps. A interface é responsiva, ou seja, adapta-se para computadores e dispositivos móveis.

Dentre as funcionalidades, o usuário pode visualizar todos os 16 canais espectrais do sensor ABI além de um conjunto de produtos, incluindo dados do sensor GLM e composições

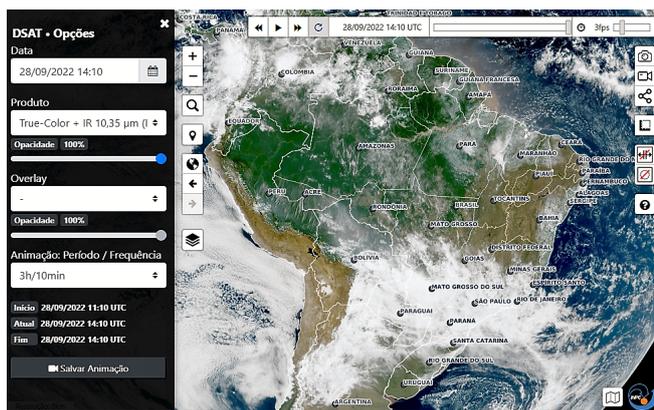


Figura 3: Interface gráfica da aplicação DSAT - www.cptec.inpe.br/dsat

RGB [2], navegar pelas diferentes áreas geográficas a partir de controles de mapa, reproduzir animações com uma ferramenta do tipo linha do tempo, exportar resultados para arquivos, realizar medidas de distância e área, dentre outras. No total, 35 produtos estão disponíveis para serem visualizados (Figuras 5, 6 e 7), além de 3 do sensor GLM.

Para solucionar o problema da transferência do grande volume de dados, a aplicação utiliza padrões de armazenamento e requisição definidos na especificação *Tile Map Service* (TMS) [3], definida pela OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*). Em resumo, a técnica consiste na construção de uma pirâmide hierárquica com diferentes níveis de compressão, iniciando a partir da imagem original. Posteriormente, cada nível é dividido em pequenos blocos (denominado *tiles*, *i.e.* pedaços de imagem com a mesma dimensão). Os *tiles* são então armazenados em uma estrutura de diretórios, de acordo com o seu nível (z) e coordenadas (x,y). A requisição para um determinado fragmento de imagem é realizada de modo direto, a partir do protocolo HTTP (*e.g.* <http://dominio/z/x/y.png>). A composição dos *tiles* é realizada em tempo de visualização, de modo interativo. Ou seja, o usuário é capaz de navegar e ampliar para visualizar imagens de resolução cada vez melhores, porém, sem a necessidade de transferência de todo o conjunto de dados. A arquitetura completa do sistema é mostrada na Figura 4, destacando o fluxo e os elementos principais.

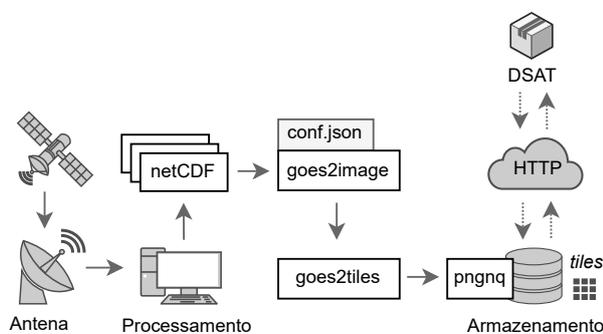


Figura 4: Representação esquemática do fluxo e elementos principais da aplicação DSAT.

O satélite GOES-16 transmite sinais que são recebidos atualmente pela antena localizada no CPTEC/INPE (Figura

1). Em seguida, os sinais são processados pela estação de trabalho GRB/L1B, onde são georreferenciados, calibrados e disponibilizados no formato *netCDF*. Esses arquivos possuem os valores de radiância medidos pelo sensor ABI, para cada canal. A partir desses arquivos, as imagens são geradas a partir do componente *goes2image*. Os parâmetros de configuração para cada canal e produto são definidos por arquivos no formato JSON. Uma vez gerada a imagem, no setor *full-disk*, na sua resolução máxima e projeção geostacionária, o processo segue para a geração dos *tiles* a partir do componente *goes2tiles*. Para compressão de tamanho (MB) de arquivo, cada *tile* que possui formato RGBA (*i.e.* imagem colorida), passa por um processo de quantização de cor utilizando a ferramenta de terceiro denominada *pngnq* [4], baseada no algoritmo NeuQuant [5]. Os *tiles* são então armazenados seguindo a especificação TMS e publicados na *Web*. A aplicação **DSAT**, acessível a partir de um navegador, recupera os *tiles* via protocolo HTTP e realiza a composição final em tempo de visualização, de acordo com a interação do usuário final.

O imageador ABI possui 16 canais espectrais (Figura 5) com resolução temporal de 10 minutos para o setor *full-disk*. Para cada canal, são 6 imagens por hora, 144 por dia. Desse modo, são recebidas e processadas um total de 2304 imagens diariamente, em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Além disso, considerando os realces a partir de mapa de cores (Figura 6) e as composições RGB (Figura 7), 19 produtos, temos mais 2736 imagens por dia. Ou seja, são **5040 imagens** diferentes disponibilizadas a cada 24 horas na aplicação.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o **DSAT**, uma aplicação construída para permitir o amplo acesso e a capacidade de visualização interativa, de modo eficiente, dos dados recebidos e processados pela estação de recepção GOES-R do INPE. Disponível desde o dia 10 de fevereiro de 2020, o site www.cptec.inpe.br/dsat foi disponibilizado ao público no mesmo dia da inauguração da estação de recepção. Desde então, a aplicação está evoluindo de modo oferecer cada vez mais funcionalidades e novos produtos. A interface é responsiva, funcionando em computadores *desktop* e dispositivos móveis. Os usuários podem visualizar todos os 16 canais espectrais do sensor ABI, na totalidade das informações disponíveis, aproveitando assim os significativos avanços tecnológicos oferecidos pela série de satélites GOES-R. **DSAT** oferece ainda um conjunto de produtos derivados, incluindo dados do sensor GLM e composições RGB, além de controles para navegação e criação de animações.

A solução utiliza o padrão de armazenamento definido na especificação TMS para solucionar o problema da transferência do grande volume de dados e permitir a visualização interativa das imagens. A técnica, bastante utilizada em aplicações de mapa, consiste na construção de uma pirâmide hierárquica com diferentes níveis de compressão, em que cada nível é dividido em pequenos blocos de imagem, os *tiles*. A arquitetura da aplicação contempla ainda rotinas computacionais para

geração, preparação e armazenamento dos dados, executadas operacionalmente nos servidores do INPE.

As tecnologias utilizadas na construção da aplicação **DSAT** são de licença livre e incluem JavaScript, CSS/Bootstrap, Python, dentre outras. Destaca-se o uso da biblioteca LeafletJS, uma biblioteca para construção de aplicações de mapa na *Web*, o plugin Leaflet.TimeDimension, capaz de adicionar recursos de dimensão temporal nessas aplicações, a biblioteca GDAL, os pacotes numpy e netCDF4 para o processamento dos dados matriciais provenientes do sensor ABI. Os autores reconhecem os esforços e agradecem todos os desenvolvedores dessas importantes tecnologias.

Planeja-se a inclusão de dados adquiridos pelo satélite *Meteosat-11* ao catálogo de produtos do **DSAT**, ampliando a área de visualização, com destaques para o oceano Atlântico e região Nordeste do Brasil, dado a posição desse satélite geostacionário, em 0° longitude. Outra possibilidade é a adição de dados de satélites ambientais de órbita polar, como *Suomi NPP* e *NOAA-20*.

A estação recebeu o nome de "**Estação Sérgio Pereira**", uma homenagem ao servidor Sérgio de Paula Pereira, tecnologista do INPE, pelos seus esforços na realização da compra e instalação dos equipamentos e pelos mais de 50 anos de trabalho no Instituto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da Estação GOES-R, projeto nº 2018/23387-1.

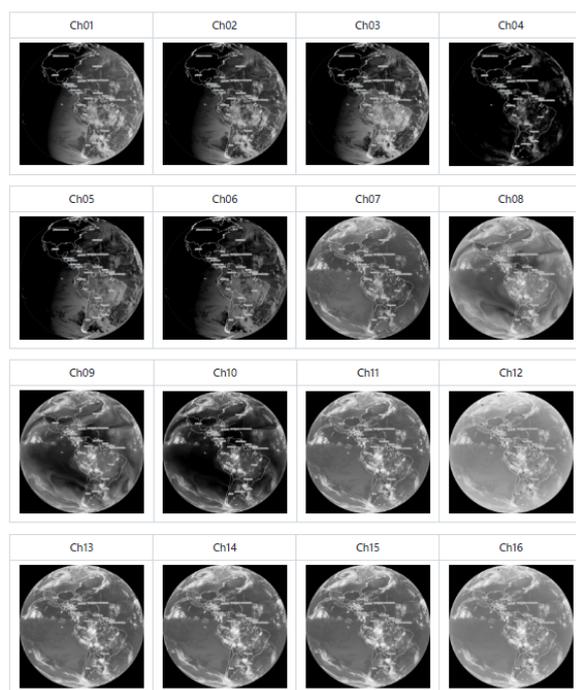


Figura 5: Produtos disponíveis no DSAT: 16 canais espectrais do sensor ABI.

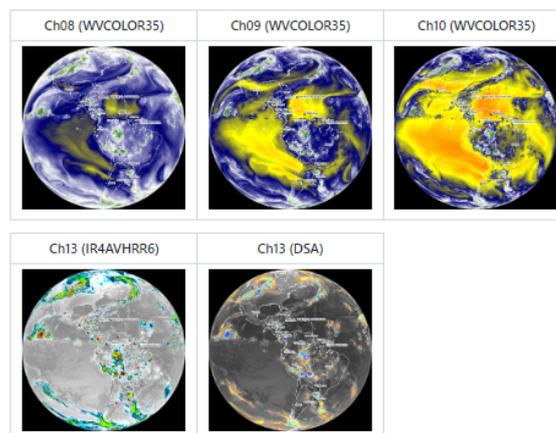


Figura 6: Produtos disponíveis no DSAT: canais espectrais realçados a partir de mapa de cores.

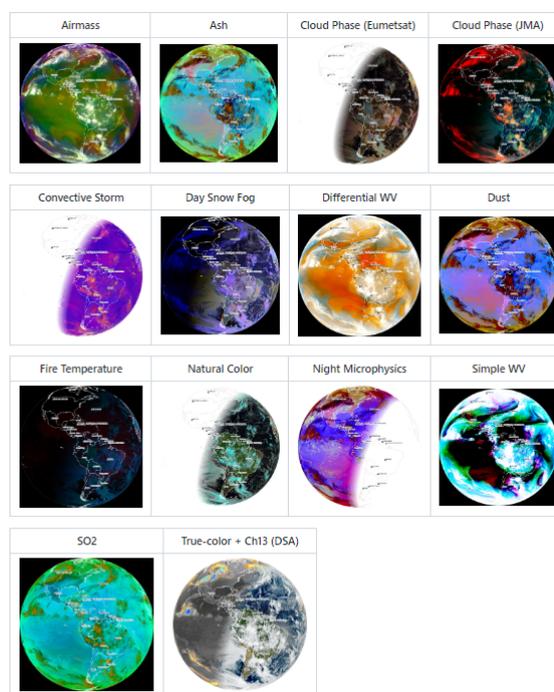


Figura 7: Produtos disponíveis no DSAT: composições RGB diversas.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Kevin Mücke. Every pixel of goes-17 imagery at your fingertips. *Bulletin of the American Meteorological Society*, pages 2217 – 2219, 2018.
- [2] RAMMB Regional and Mesoscale Meteorology Branch. Rgb products - quick guides - https://rammb.cira.colostate.edu/training/visit/quick_guides/.
- [3] OSGeo Open Source Geospatial Foundation. Tile map service specification - https://wiki.osgeo.org/wiki/Tile_Map_Service_Specification, 1999.
- [4] Stuart Coyle. Pngnq - portable network graphic color quantization - <https://pngnq.sourceforge.net/>.
- [5] Anthony H Dekker. Kohonen neural networks for optimal colour quantization. *Network: Computation in Neural Systems*, 5(3):351, 1994.