

ANÁLISE DAS MÉDIAS MENSAIS DO ALBEDO PLANETÁRIO MEDIDO PELO EXPERIMENTO CÉLULA SOLAR DO SATÉLITE BRASILEIRO SCD2

Nelson Veissid – veissid@las.inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Laboratório Associado de Sensores e Materiais – LAS/INPE

Resumo. O segundo satélite da Missão Espacial Completa Brasileira do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (SCD2/MECB-INPE) foi colocado em órbita em outubro de 1998 e leva a bordo um experimento de células solares de qualificação espacial produzidas no Brasil. O principal objetivo deste experimento (ECS) é o de qualificar em missão estes dispositivos. Células solares atuam como sensores de radiação e isto permite medir a radiação direta do Sol e a radiação que é refletida pelo planeta Terra para o espaço exterior. Portanto, desta maneira o ECS permite medir o albedo planetário que é a razão entre os valores destas duas radiações, após correções angulares esféricas. A telemetria do satélite transmite os dados do experimento em tempo real que são recebidos pela estação terrena localizada na cidade de Cuiabá-MS. Em função disto, as imagens das médias mensais dos valores do albedo planetário cobrem um círculo sobre a América do Sul. O trabalho mostra, também, imagens da média anual do albedo no período de 1999 até 2007 com as respectivas imagens dos desvios padrões. Os padrões sazonais para diferentes áreas da América do Sul são verificados através da análise destas imagens. Por exemplo, nos meses de fevereiro, março, abril e maio o albedo planetário médio sobre a floresta Amazônica é maior e mais estável do que no restante da América do Sul, provavelmente, devido a evapotranspiração intensa que acontece nesta época do ano.

Palavras-chave: Energia Solar, Albedo Planetário, Célula Solar, Satélite

1. INTRODUÇÃO

O segundo satélite da Missão Espacial Completa Brasileira do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (SCD2/MECB-INPE) foi colocado em órbita em outubro de 1998 e leva a bordo um experimento de células solares de qualificação espacial produzidas no Brasil. O principal objetivo deste experimento (ECS) é o de qualificar em missão estes dispositivos, através da degradação do desempenho elétrico das células solares durante a vida do satélite. Além deste objetivo principal, o ECS mostra um subproduto que foi descoberto depois do lançamento durante a interpretação dos primeiros dados da telemetria. Explicando melhor, o Experimento Célula Solar (ECS) do satélite Brasileiro SCD2/MECB atua como um sensor de radiação eletromagnética (350-1100 nm) e permite medir a radiação solar direta incidente na Terra e a radiação que é refletida para o espaço exterior (Rauschenbach, 1980). A razão entre a intensidade destas duas radiações é o albedo planetário global (Veissid et al., 1999). Os dados de albedo correspondem a vários arquivos diários armazenados e processados desde a data do lançamento do satélite. Estes dados podem ser agrupados em períodos de tempo (anual ou sazonal) ou serem estudados por regiões em latitude e longitude (Veissid & Pereira, 2000). Os dados são transmitidos em tempo real pela telemetria do satélite e recebidos na estação receptora de Cuiabá, MT-Brasil (16°S, 56°W). Por exemplo, a Fig. 1 mostra as órbitas do satélite SCD2 dentro da visada desta estação no mês de novembro de 1998.

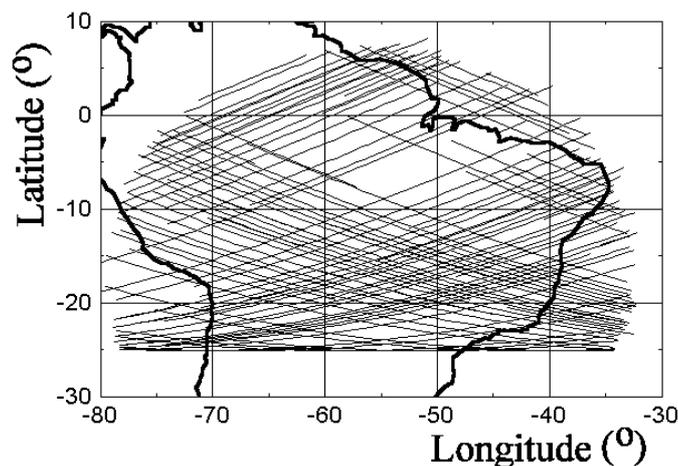


Figura 1 - Órbitas do satélite SCD2 dentro da visada da estação no mês de novembro de 1998.

Os pontos de telemetria amostrados a cada meio segundo, ver Fig. 2A, são submetidos a uma mudança de variável de tempo para ângulo de rotação. O pico da radiação solar ou amplitude solar é obtido pelo método dos mínimos quadrados no ajuste de uma parábola em torno do seu máximo. Usando este algoritmo, os pontos telemetrizados do ECS mostrados na Fig. 2A se transformam na curva da Fig. 2B. O albedo planetário é a razão entre a altura dos dois picos da Fig. 2B após correções esféricas angulares.

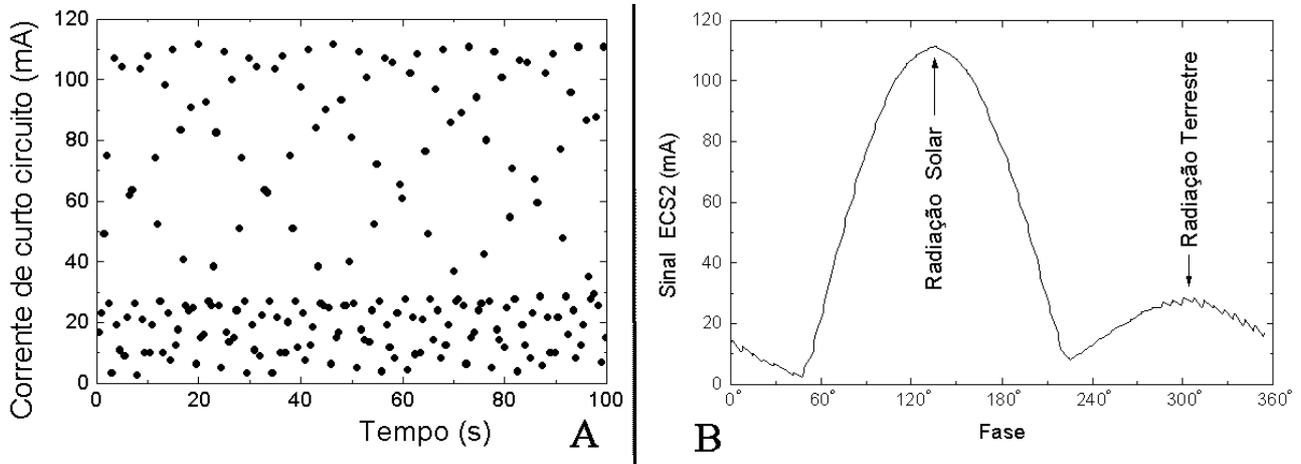


Figura 2 – Exemplo de sinal da telemetria do ECS em função do tempo (A) e a curva destes sinais em função do ângulo de rotação do satélite (B).

A distribuição estatística temporal do albedo sob uma determinada região (círculo em latitude e longitude) e num determinado período caracteriza o comportamento do clima. Esta distribuição permite determinar o valor médio e o respectivo desvio padrão como uma função ao longo dos dias do ano. Este comportamento identifica variabilidades temporais, pois variações do padrão estabelecido desta forma são indícios de mudança (Veissid, 2002).

A dispersão dos dados de albedo obedece a uma distribuição estatística. Vários tipos de distribuição (Gaussian ou Normal, Lorentziana, Binomial, Poisson e outras) foram testados sem sucesso. Finalmente, foi descoberto que com o valor do albedo na forma de logaritmo, esta dispersão obedece a uma distribuição Normal (Veissid, 2009). Este fato, permite estabelecer valores médios e desvios padrões. Por exemplo, a Fig. 3 mostra o histograma do logaritmo do albedo planetário medido sobre a cidade de São Paulo durante os últimos cem dias dos anos de 1999, 2000 e 2001.

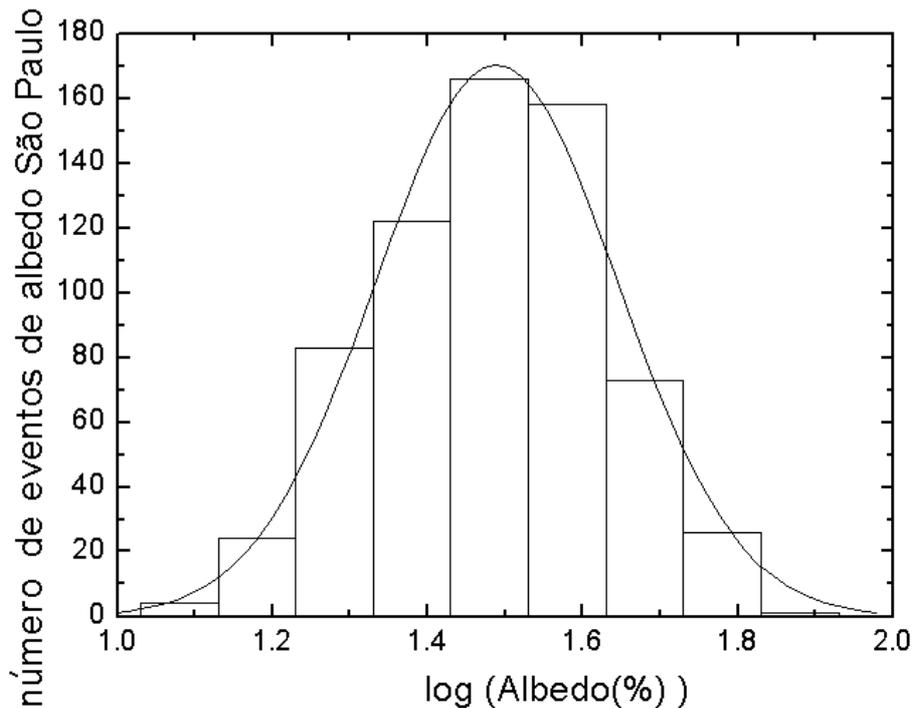


Figure 3 – Distribuição Gaussiana do logaritmo do albedo planetário sobre São Paulo ($24^{\circ}\text{S}\pm 2^{\circ}$, $47^{\circ}\text{W}\pm 2^{\circ}$) durante os últimos cem dias dos anos de 1999, 2000 e 2001.

2. METODOLOGIA

Os dados de albedo acumulados desde o lançamento do SCD2 e selecionados dentro de várias regiões em latitudes e longitudes, são processados, para se estabelecer um padrão estatístico (Veissid, 2003), na seguinte forma: a área da visada da estação receptora (Fig. 1) é dividida em uma matriz de 17x17 em latitude e longitude onde cada elemento desta matriz forma um arquivo que contém todos os valores de albedo ordenado de maneira temporal. Desta forma, é possível estabelecer a média e o desvio padrão em um período escolhido arbitrariamente (mês, estação do ano ou anual). Estes valores de média e desvio padrão dentro de cada "pixel" desta matriz de 17x17 elementos permitem construir imagens de isolinhas ou cores associadas. Cada órbita contribui com apenas dois valores de albedo planetário (valor máximo e mínimo) para cada elemento da grade. A grade sobre a América do Sul usada neste trabalho é mostrada na Fig. 4. A linha vermelha corresponde parte da órbita do satélite SCD2 no dia 24 de janeiro de 1999 dentro da visada da estação receptora de Cuiabá-MS. O valor médio mensal em cada elemento da grade é calculado considerando todas as passagens de órbita que passaram por dentro deste elemento.

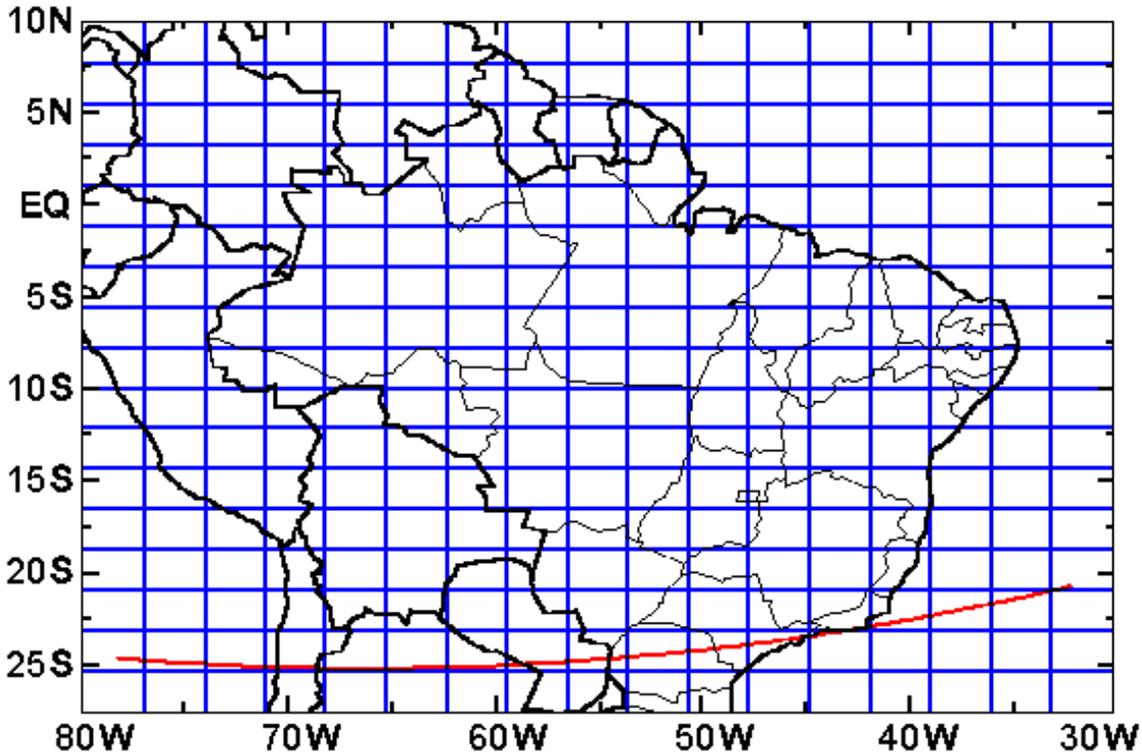


Figura 4 – Grade da matriz de 17x17 “pixels” mostrando parte da órbita do dia 24 de janeiro de 1999 do satélite SCD2 dentro da visada da estação receptora de Cuiabá - MS.

3. RESULTADOS

3.1 Imagens de albedo médios mensais

Cada imagem é o resultado do processamento dos valores de albedo durante o período de um mês e mostra o valor médio do albedo planetário. Este trabalho cobre o período de nove anos (1999-2007) que corresponde a 108 meses. Rigorosamente este trabalho deveria mostrar todas estas 108 imagens porém, no lugar de mostrar todas as imagens, é preferível apresentar somente algumas imagens de albedo médio mensal que tiveram destaque. As figuras 5, 6, 7 e 8 mostram estas imagens especiais onde o valor do albedo planetário médio mensal em cada região, definida pela sua latitude e longitude, pode ser vista comparando-se a cor da região com a cor da barra de cores superior a figura.

Fig. 5 mostra imagens do albedo planetário médio mensal para os meses de março de 2004, abril de 2006 e março de 2007. As imagens desta figura se destacaram devido ao fato que foram estes os meses onde a floresta Amazônica o valor de albedo maior do que o resto da América do Sul, provavelmente, ocasionado pela persistente evapotranspiração. Fig. 6 mostra as imagens dos meses quando a refletividade nos Oceanos Atlântico e Pacífico foi baixa, isto é, a ausência de nuvens durante o mês revelou o albedo do oceano que é da ordem de 5 %. Fig. 7 mostra os meses que o albedo planetário teve seus menores valores de todos os 108 meses, deve ser observado a coloração de azul para verde nesta imagens que corresponde refletividade entre 10 % e 25 %. Fig. 8 mostra os meses que o albedo planetário teve seus maiores valores, os quais foram os meses de novembro de 2005 e outubro e novembro de 2006. A propósito, são os

meses de outubro e novembro de todos os anos que mostram os maiores valores de refletividade e com o aspecto dado na Fig. 8 (parte inferior da diagonal principal com tons tendendo para vermelho ou albedo maior do que 40 %).

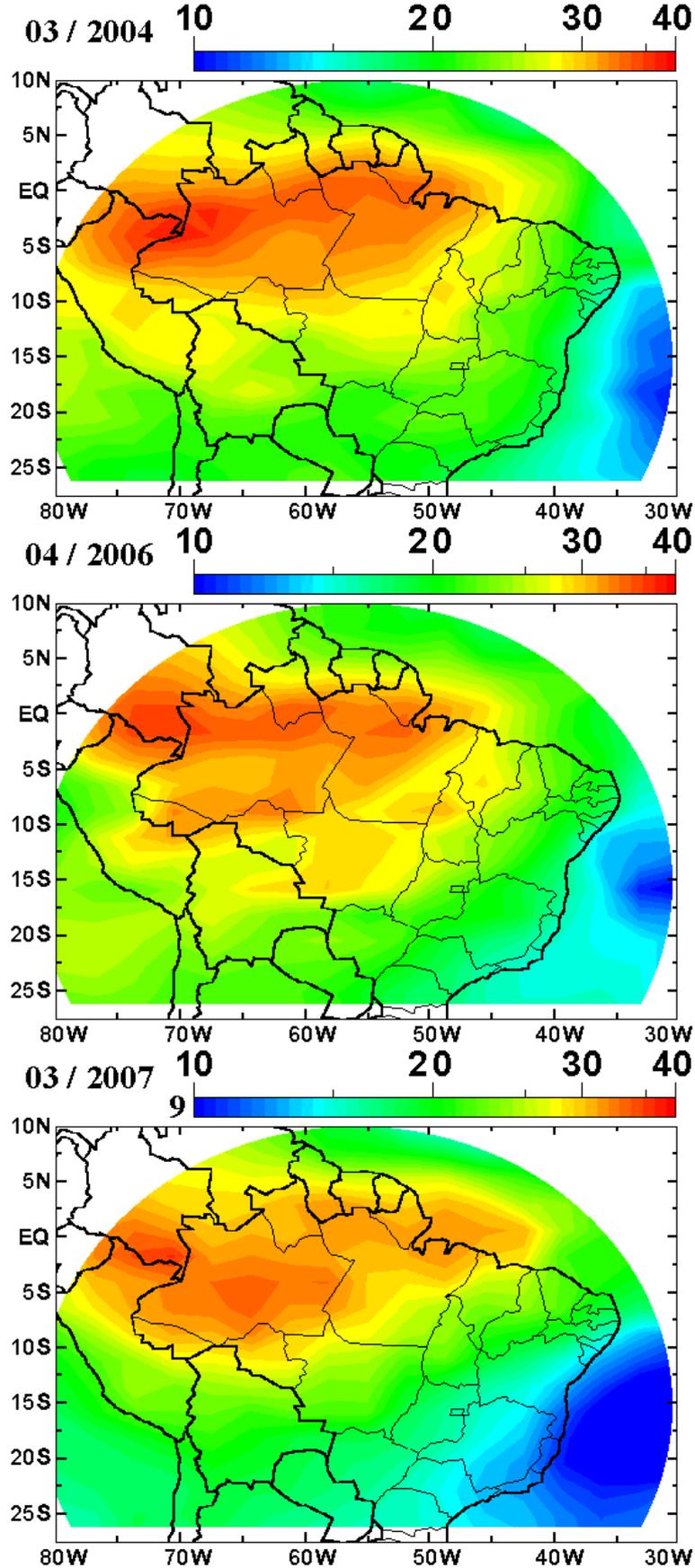


Figura 5 – Albedo planetário médio mensal para os meses de março de 2004, abril de 2006 e março de 2007. Estas imagens foram as que melhor mostraram a evapotranspiração persistente da floresta Amazônica.

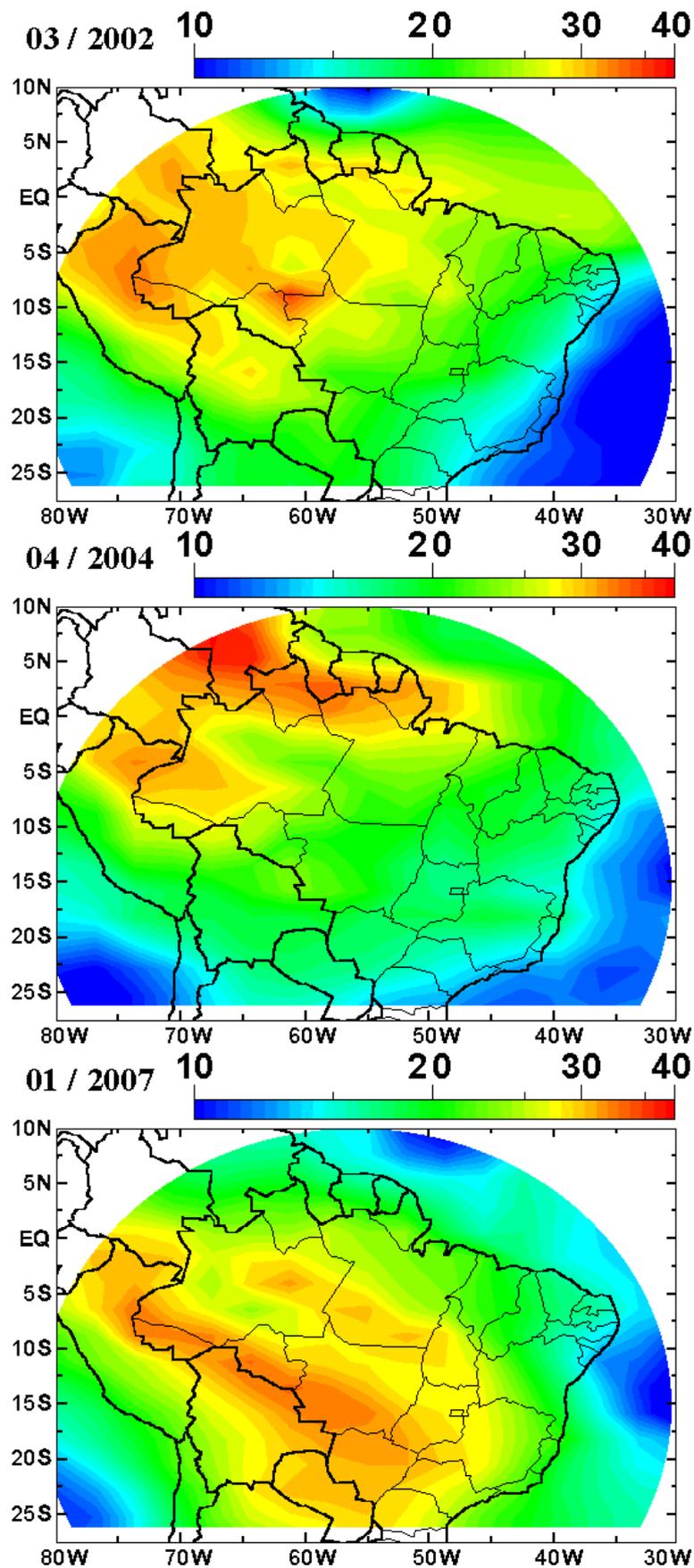


Figura 6 – Albedo planetário médio mensal para os meses de março de 2002, abril de 2004 e janeiro de 2007. Estas imagens foram as que melhor mostraram a baixa refletividade nos Oceanos Pacífico e Atlântico.

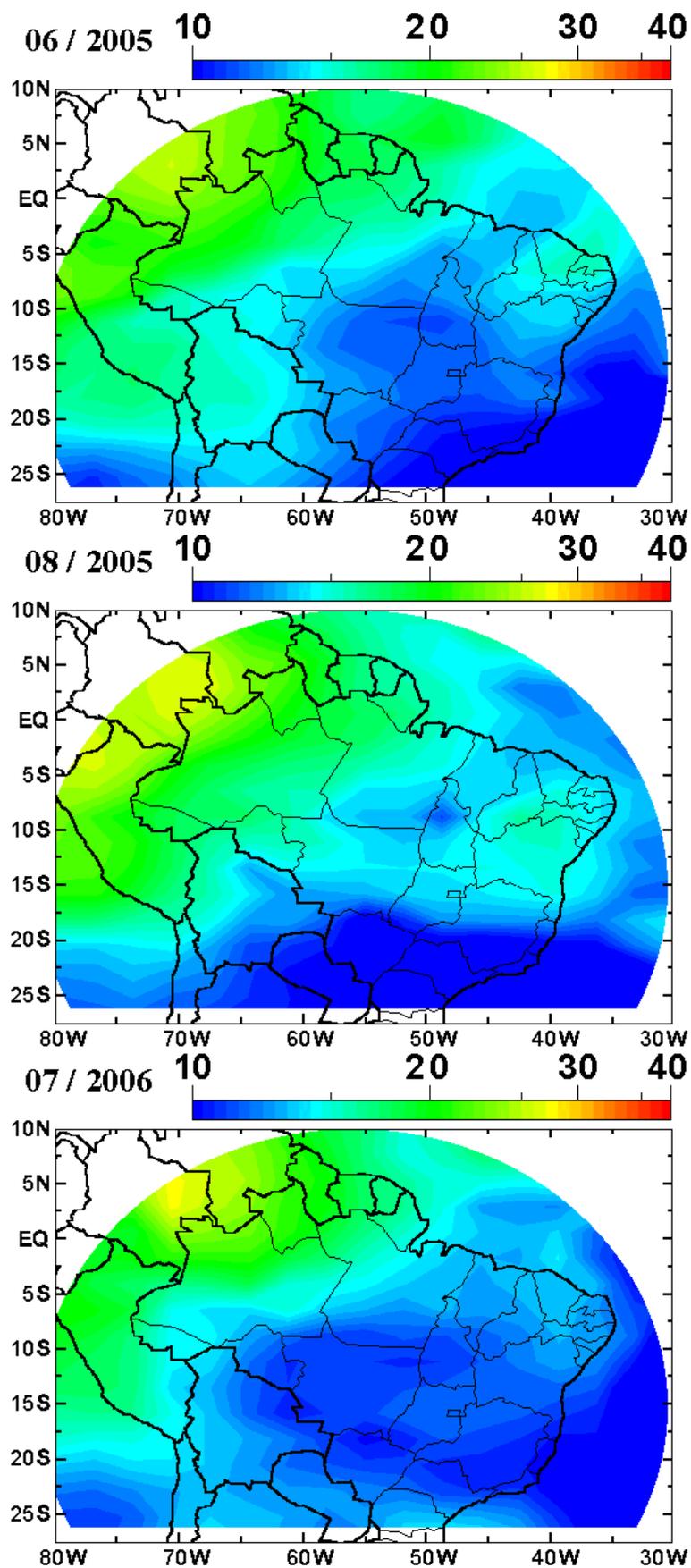


Figura 7 – Albedo planetário médio mensal para os meses de junho de 2005, agosto de 2005 e julho de 2006. Estas imagens foram as que tiveram os menores valores de albedo planetário médio mensal.

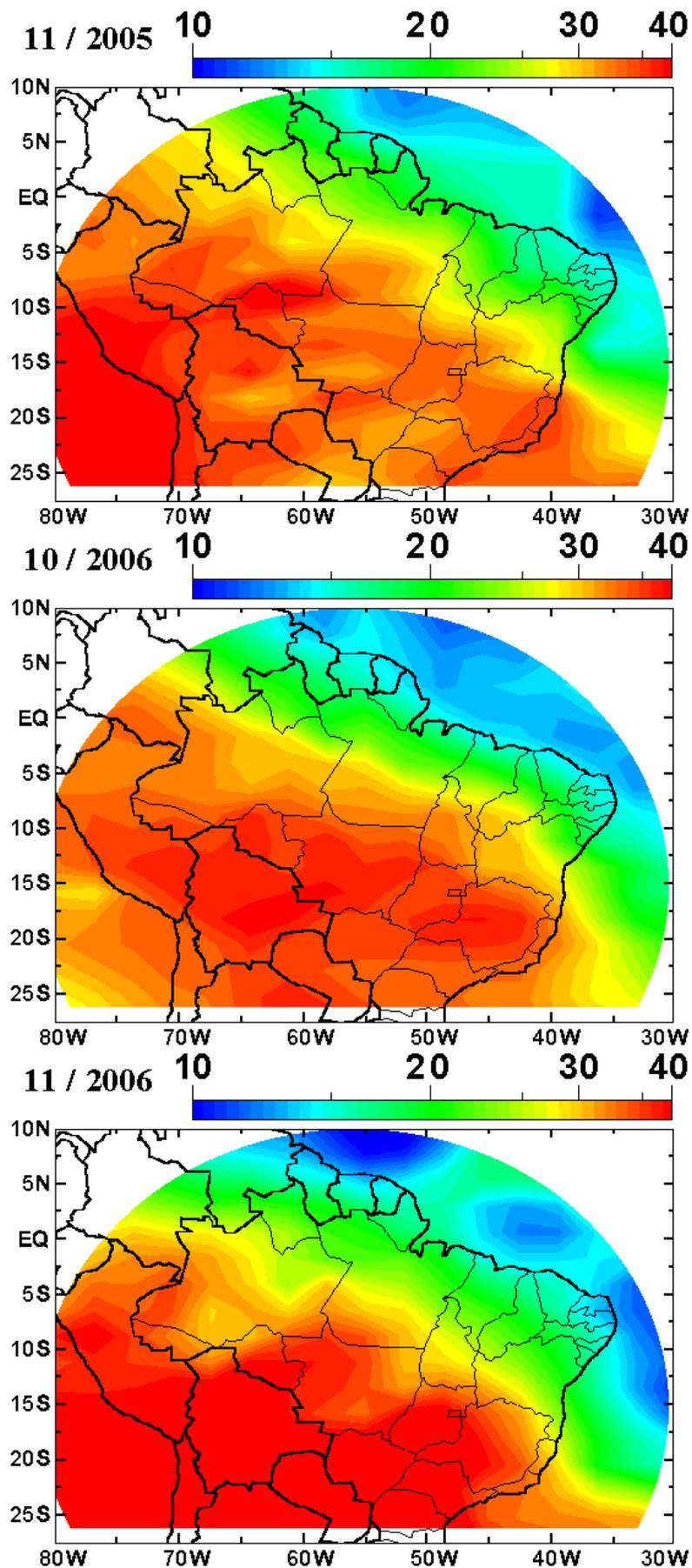


Figura 8 – Albedo planetário médio mensal para os meses de novembro de 2005, outubro e novembro de 2006. Estas imagens foram as que tiveram os maiores valores de albedo planetário médio mensal.

3.2 Imagens da média de um determinado mês (por exemplo, janeiro) obtidas das imagens de albedo médios mensais (janeiro de 1999 ate janeiro de 2007)

Cada imagem da secção 3.1 é o resultado do processamento dos valores de albedo durante o período de um mês fixo, janeiro de 1999 por exemplo, mas para verificar a variação e a estabilidade dentro de um mesmo mês (janeiro ou fevereiro ou março ou etc, de qualquer ano) é necessário realizar o calculo do valor médio e do desvio padrão dentro de cada elemento da grade. A soma de todas as matrizes de janeiro de 1999, de janeiro de 2000 ate janeiro de 2007, dividido pelo numero de anos (9) é o valor médio para o mesmo de janeiro. O desvio padrão é calculado usando o valor médio obtido. Repetindo-se este mesmo procedimento para as imagens dos outros meses, temos a matriz do valor médio e do desvio padrão para os outros meses (fevereiro, março ate dezembro). O valor médio mostra as regiões onde na media é mais provável haver cobertura de nuvens (valor alto do albedo) ou, ao contrario, pouca cobertura de nuvens e, desta forma, o albedo planetário de superfície é revelado.

A Fig. 9 mostra imagens da média de todos os meses do ano (01=janeiro, 02=fevereiro e, assim por diante) obtidas das imagens de meses específicos mostrados na secção 3.1. A barra de cores mostra o valor do albedo planetário em escala logarítmica (azul é 10 % e vermelho é 40 %).

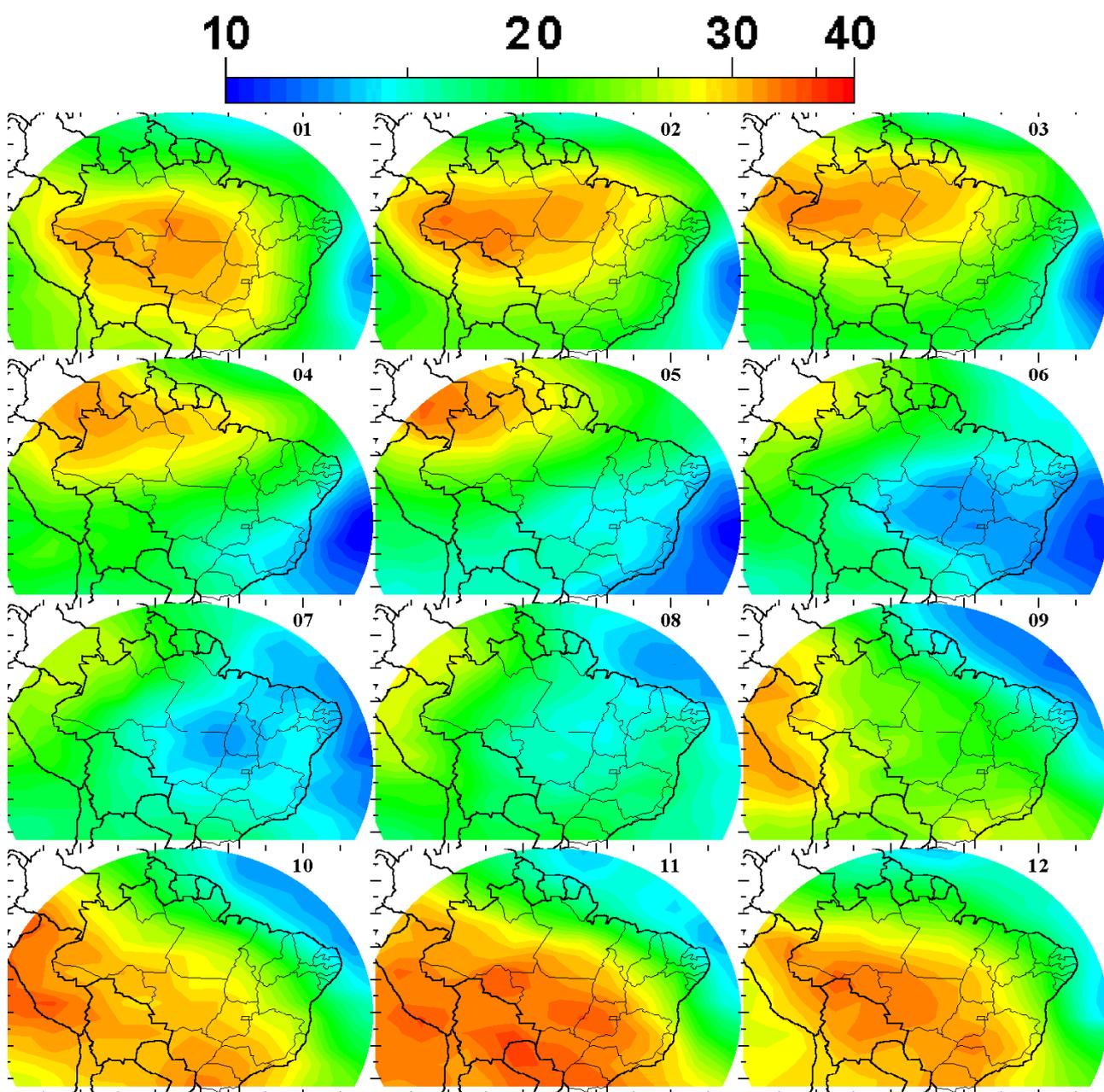


Figura 9 – Imagens da média do albedo planetário de todos os meses do ano (01=janeiro, 02=fevereiro e, assim por diante) obtidas das imagens de meses específicos mostrados na secção 3.1.

3.3 Imagens do desvio padrão da média de um determinado mês (por exemplo, janeiro) obtidas das imagens de albedo médios mensais (janeiro de 1999 ate janeiro de 2007)

Cada matriz de albedo médio planetário mensal (janeiro de 1999, fevereiro de 1999 ate dezembro de 2007) permite estabelecer a matriz do valor médio mensal em um determinado mês (por exemplo, janeiro). Também, permite determinar a matriz do desvio padrão em relação ao valor médio. As imagens do desvio padrão são úteis para estabelecer a repetibilidade de clima interanual dentro de um determinado mês.

A Fig. 10 mostra imagens do desvio padrão de um determinado mês (01=janeiro, 02=fevereiro e, assim por diante) obtidas das imagens de meses específicos mostrados na secção 3.1. A barra de cores mostra o valor do desvio padrão do albedo planetário em escala logarítmica (azul é 1 % e vermelho é 10 %). As regiões com cor azul são aquelas que o comportamento do clima é quase constante durante aquele específico mês. Por outro lado, as regiões com cores tendendo para o vermelho mostram localidades onde existe variabilidade de clima entre um ano e outro dentro de um mesmo mês. Várias conclusões podem ser extraídas destas imagens de desvio padrão. Talvez, a mais interessante é que o nordeste Brasileiro apresenta sempre clima “previsível”, baseado na estatística dos anos anteriores, durante o período de fevereiro até novembro. As manchas azuis (clima previsível) sobre o nordeste se dissipam nos meses de dezembro e janeiro.

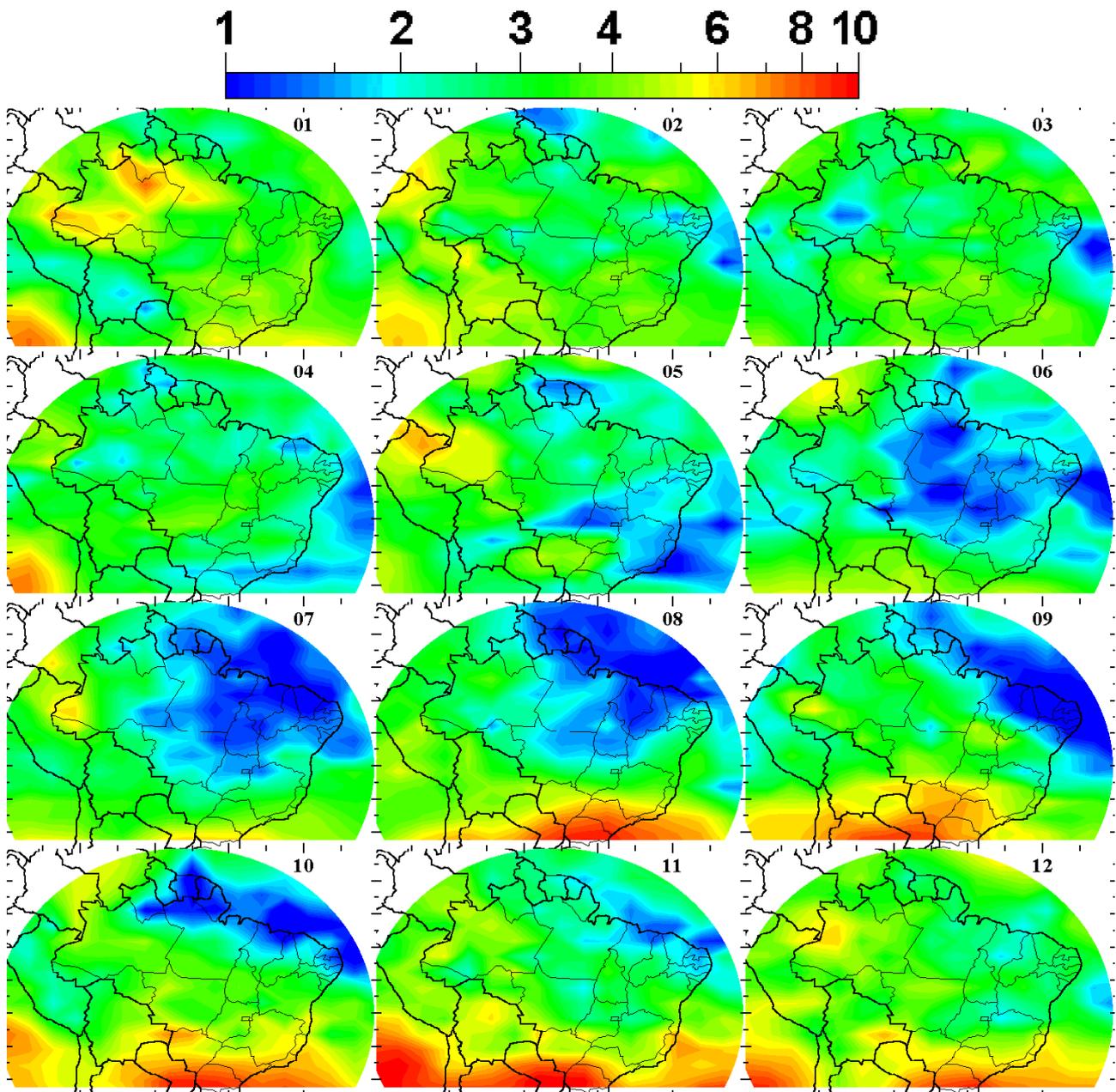


Figura 10 – Imagens do desvio padrão da média do albedo planetário de todos os meses do ano (01=janeiro, 02=fevereiro e, assim por diante) obtidas das imagens de meses específicos mostrados na secção 3.1.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho cobre o período de nove anos (1999-2007), que corresponde a 108 meses, de análise dos dados do albedo planetário visto pelo ECS nestes meses. Estes dados permitem montar imagens do albedo médio mensal e imagens do desvio padrão que representa a dispersão em torno deste valor médio. Os resultados obtidos neste trabalho é fruto de uma tecnologia simples e de baixo custo em conjunto com um algoritmo adequado de tratamento de dados usado para obter valores de albedo planetário no território brasileiro a partir dos dados do experimento ESC do INPE no satélite SCD-2. Este método apresenta-se como uma alternativa tecnológica totalmente nacional para o emprego em satélites científicos de pequeno porte. Considerando que o sinal do satélite SCD2/ECS irá se manter provavelmente pelos próximos 20 anos, ou mais, espera-se que esta nova metodologia permita gerar maiores conhecimentos no desenvolvimento dos métodos para satélite de monitoração de longo período do albedo terrestre, dada a sua importância na climatologia e suas mudanças globais. Esta observação (20 anos ou mais) é reforçada pelo fato que o Experimento Célula Solar como medidor do albedo planetário é um sensor autocalibrado. A degradação no sinal da célula solar devido ao bombardeamento por partículas ou a variação deste sinal com a temperatura não afeta o valor do albedo planetário. O valor deste parâmetro é obtido pela razão entre a altura dos dois picos (ver Fig. 2B) e esta razão cancela estes efeitos.

As imagens das figuras 9 e 10 mostram tendências interessantes para serem analisadas por meteorologistas e climatologistas. Por exemplo, no Oceano Pacífico na parte visível pelo ECS vemos que o mês de novembro é altamente turbulento porque o valor médio do albedo planetário é alto e, também, é alto o desvio padrão. Então, isso significa que em alguns meses de novembro acontecem forte ou média cobertura de nuvens, mas sempre com grande variabilidade. Por outro lado, no planalto central nos meses de maio, junho, julho e agosto de todos os anos sempre tem pouca nebulosidade nesta região e de maneira bem estável. As duas figuras (9 e 10) apresentam coloração tendendo para o azul no planalto central nestes meses. Análise mais cuidadosa destas imagens feita por especialistas permite a extração de informações interessantes para os climatologistas.

Como continuação deste trabalho, o autor espera encontrar um método para previsão de 10 anos ou 20 anos da variação do albedo planetário. Desta forma, os dados de albedo irão permitir estabelecer uma correlação com mudanças climáticas globais.

REFERÊNCIAS

- Rauschenbach, H. S., 1980. Solar Cell Array Design Handbook. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Veissid, N., Beloto, A. F., Ferreira Leite, N., 1999. Experimentos Célula Solar 1 e 2 dos Satélites SCD1 e SCD2 do INPE. Seminários de Fontes Não-Convencionais de Energia – As Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa, Florianópolis-SC, Trabalho completo publicado nos Anais, pg. 171 a 190.
- Veissid, N., Pereira, E. B., 2000. Um Modelo Simples de Levantamento do Albedo Planetário Empregando Dados do Experimento Célula Solar do Satélite Brasileiro SCD2, Brazilian Journal of Geophysics, Vol. 18(1), p. 25.
- Veissid, N., 2002. Variabilidade Climática Caracterizada pelo Desvio Padrão do Albedo Planetário. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia: A Meteorologia e a Gestão de Energia, Foz do Iguaçu-PR, Trabalho completo publicado nos Anais (CD-ROM), trabalho 2142-1.
- Veissid, N., 2003. New Developments in Using Solar Cells as Remote Sensors to Gauge Climate Change, Environmental Geosciences, Vol. 10(2), p. 47-57.
- Veissid, N., 2003. New Satellite Sensor and Method for the Direct Measurement of the Planetary Albedo, Results for the 1999, 2000 and 2001 in South America, Atmospheric Research, Vol. 66, p. 65-82.
- Veissid, N., 2009. Logarithmic Distribution of Planetary Albedo on South America: A New Tool for Monitoring Climate Changing, Capítulo do livro: Public Policy, mitigation and adaptation to climate change in South America. Autores: Pedro Leite da Silva Dias, Wagner Costa Ribeiro, João Lima Sant'Anna Neto e Jurandir Zullo Jr., Editora Instituto de Estudos Avançados - IEA/USP, ISBN 978-85-63007-00-1, Downloading em <http://www.iea.usp.br/cienciasambientais/>, p. 249-265.

PLANETARY ALBEDO MEDIUM MONTHLY ANALYSIS MEASURED BY THE SOLAR CELL EXPERIMENT OF THE SCD2 BRAZILIAN SATELLITE

Abstract. *The second satellite of the Brazilian Space Mission of the National Institute of Space Researches (SCD2/MECB-INPE) launched on October 23, 1998 carries on board an experiment of space solar cells (ECS) produced in Brazil. The main objective of this experiment is to qualify in mission this device. Solar cells act as a sensor of radiation and it allows measure the direct solar radiation of the Sun and the portion of this radiation that it is reflected outside for Earth. Therefore, the ECS allows measure the planetary albedo through the relation between these two values, after spherical angular corrections. The satellite telemetry transmits the data of the ECS in real time which*

are received by the ground station located in the city of Cuiabá-MS. As a function of this, the images of monthly average of planetary albedo values cover a circle over South America. This work shows, also, images of annual average of albedo in the period of 1999 up to 2007 with the respective standard deviations images. The seasonal patterns in different areas of South America are verified through analyzes of these images. For example, the months of February, March, April and May the mean planetary albedo on the Amazonian forest is larger and stable than in the remaining of South America, probably, due to intense forest perspiration that it happens in this time of the year.

Key words: *Solar Energy, Planetary Albedo, Solar Cell, Satellite*