

ESTUDO DA COBERTURA DE NUVENS SOBRE O PANTANAL, MEDIDO PELO SATÉLITE SCD2 DO INPE

Nelson Veissid – nelson.veissid@inpe.br
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, COPDT/SEPEC-INPE/SJC

Resumo. O segundo satélite produzido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE em São José dos Campos – SP, foi colocado em órbita no dia 23 de outubro de 1998 e leva a bordo um experimento com células solares produzidas no Brasil. O principal objetivo deste experimento é o de qualificar as células brasileiras em missão para uso espacial. O experimento, também, atua como um sensor de radiação e, desta forma, ele pode medir a radiação solar direta e a parte desta radiação que é refletida pelo planeta Terra. Portanto, como um subproduto, o experimento mede o albedo planetário e estatística realizada nos dados de albedo permite estudar padrões e tendências para diferentes áreas sobre a América do Sul. O pantanal é uma região importante em função de sua vasta biodiversidade e, neste trabalho, foi escolhido um quadrado de 3° de lados em latitude e longitude centrado em 18,5° S e 56,5° W. Nesta área, as curvas de tendências anuais e trimestrais e seus respectivos desvios padrão (variabilidade) mostram que os valores do albedo planetário estão com tendência em aumentar e, este fato, é mais intenso no período chuvoso. O trabalho mostra que a fração de cobertura de nuvens sobre o pantanal apresentou aumento médio em valor absoluto de 0,49% por ano no período de 1999 até 2011.

Palavras-chave: Albedo Planetário, Cobertura de Nuvens, Pantanal

1. INTRODUÇÃO

A fração da radiação solar em porcentagem que é refletida pelo sistema superfície/atmosfera para o espaço exterior é conhecida como albedo planetário. O valor do albedo depende da natureza ou qualidade da atmosfera e do tipo de superfície (solo, floresta ou oceano) e da cobertura de nuvens. Ação antropogênica no uso do solo, como por exemplo, o processo de longo prazo de urbanização das cidades brasileiras, ou a conversão de florestas para a agropecuária na região amazônica, resultou em modificações da refletividade da superfície. No caso da Amazônia, em geral, substituiu-se uma superfície mais escura (floresta), por superfícies mais brilhantes (e.g., plantações, estradas, construções, etc.), o que implica em uma maior fração da luz solar sendo refletida de volta ao espaço (Nobre *et al.*, 2012). Vários fenômenos naturais e antropogênicos (efeito estufa, inversão térmica, aerossóis, desmatamento, erupção vulcânica e outros) alteram o valor desta refletividade (Veissid, 2003, 2011 e 2012). Em função disso, os valores do albedo planetário podem ser usados para monitorar mudança climática.

A Fig. 1 mostra o bioma pantanal e o quadrado de 3° de lados em latitude e longitude centrado em 18,5° S e 56,5° W escolhido para o estudo do albedo planetário e da cobertura de nuvens neste trabalho (IBGE, 2004).

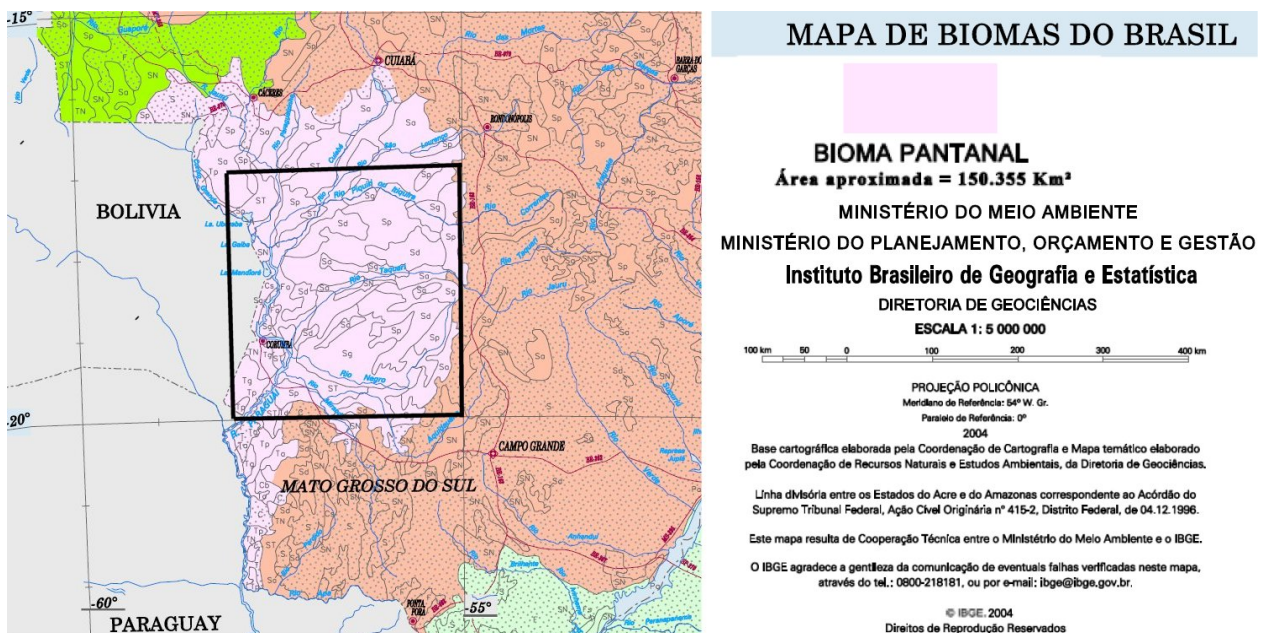


Figura 1 – Bioma pantanal. Fonte: Mapa de Biomas do Brasil 2 - IBGE.pdf em portaldemapas.ibge.gov.br.

O trabalho de Moraes *et al.* (2013) mostra o resultado do estudo da precipitação média mensal do bioma pantanal no período de janeiro de 1998 a agosto de 2012. A Fig. 2 apresenta o resultado deste trabalho e mostra que esta região tem períodos bem definidos variando entre seco e úmido. Os meses de outubro a março (ONDJFM) são chuvosos e os meses de abril a setembro (AMJJAS) são secos com pouca chuva.

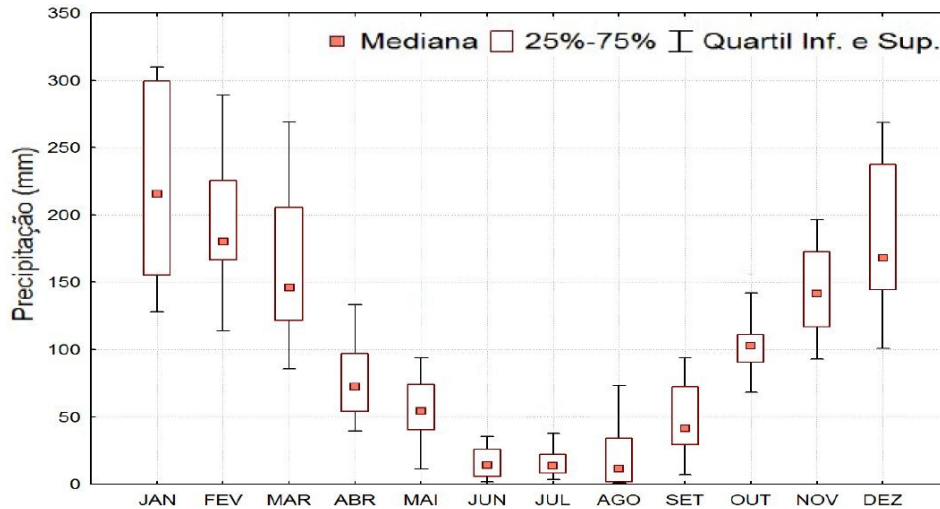


Figura 2 – Box-plot da precipitação média mensal do bioma pantanal (adaptado de Moraes *et al.*, 2013).

O trabalho de Correia *et al.* (2002) mostra a variação do albedo global sobre o pantanal na região Sul Mato-Grossense em duas estações distintas. Isto é, durante a estação seca quando o solo é coberto por uma vegetação típica de cerrado e durante a estação úmida/chuvosa de inundação a região é coberta por lâminas d'água. O albedo mínimo de superfície, situação de céu claro, é da ordem de 20% na estação seca e de 10% no período úmido. Também, o trabalho de Cardozo *et al.* (2009) confirma estes valores, que o albedo de superfície na estação seca apresentam maior valor. Um aumento de 10% no valor absoluto do albedo pode ocasionar uma diminuição de 8°C na temperatura de equilíbrio da superfície terrestre é relatado no trabalho de Cardozo *et al.* (2009).

O Experimento Célula Solar do satélite brasileiro SCD2/MECB atua como um sensor de radiação eletromagnética (350-1100 nm) e permite medir o albedo global sobre a América do Sul. Os dados 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, sazonal ou mensal) ou serem estudados por regiões em latitude e longitude (Veissid e Pereira, 2000).

Os pontos de telemetria são amostrados a cada meio segundo pelo satélite, conforme padrão típico mostrado na Fig. 3A. Estes pontos submetidos a uma mudança de variável de tempo para ângulo de rotação mostram dois picos, ver Fig. 3B. 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 mostrados na Fig. 3A se transformam na curva da Fig. 3B. O albedo planetário é a razão ou quociente entre a altura dos dois picos da Fig. 2B após correções esféricas angulares (Veissid e Pereira, 2000). A refletividade do planeta Terra é um parâmetro importante para muitas áreas de estudo, tais como sensoriamento remoto e climatologia, e é usado no cálculo do balanço energético da energia solar (Veissid, 2002 e 2009; Veissid *et al.*, 2010).

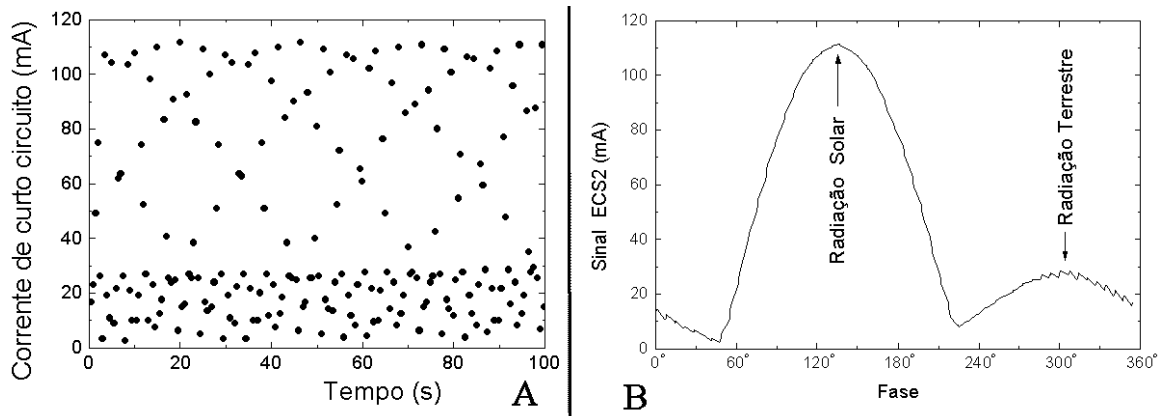


Figura 3 – Exemplo de sinal da telemetria do Experimento Albedo em função do tempo (A) e a curva destes sinais em função do ângulo de rotação do satélite (B). O gráfico mostra os 100 pontos experimentais tomados no dia 21 de novembro de 1998 as 16h02.

A curva da Fig. 3B mostra que o Experimento percebe a radiação solar direta e a radiação refletida pela Terra de maneira simultânea. A rotação intrínseca do satélite é em média de 35 rpm e com eixo de rotação perpendicular ao plano da eclíptica da Terra. Desta forma, a face lateral do satélite está sempre voltada para o Sol ou para a Terra quase instantaneamente. A diferença de 180° entre os dois picos neste gráfico mostra que o satélite se encontra geometricamente alinhado entre a Terra e o Sol.

Os sinais das células solares são transmitidos em tempo real pela telemetria do satélite e recebidos na estação receptora de Cuiabá, MT-Brasil (16° S, 56° W). A Fig. 4A mostra as órbitas do satélite SCD2 dentro da visada desta estação no mês de novembro de 1998. Distribuição estatística temporal do albedo feita sob uma determinada região, por exemplo, círculos ou quadrados em latitude e longitude, mostram comportamento Gaussiano para o LOGARITMO do albedo. Esta descoberta de que é o logaritmo do albedo que tem dispersão simétrica e obedece distribuição Gaussiana foi relatado pela primeira vez por Veissid (2007) e usado em vários outros trabalhos (Veissid, 2009, 2010 e 2011). Portanto, a distribuição assim definida permite determinar o valor médio e o respectivo desvio padrão ou variabilidade como uma função ao longo dos dias do ano (Vuolo, 1996). Este comportamento permite monitorar variabilidade climática, pois variações deste padrão estatístico são indícios de mudanças climáticas (Veissid, 2002 e 2009). A Fig. 4A mostra o histograma de medidas realizadas sobre a cidade de São Paulo nos últimos cem dias dos anos de 1999, 2000 e 2001 (Veissid 2009 e 2010). Neste período o valor médio foi constante e, isto, permitiu estudar a dispersão em torno deste valor médio que é a curva Normal da Fig. 4B.

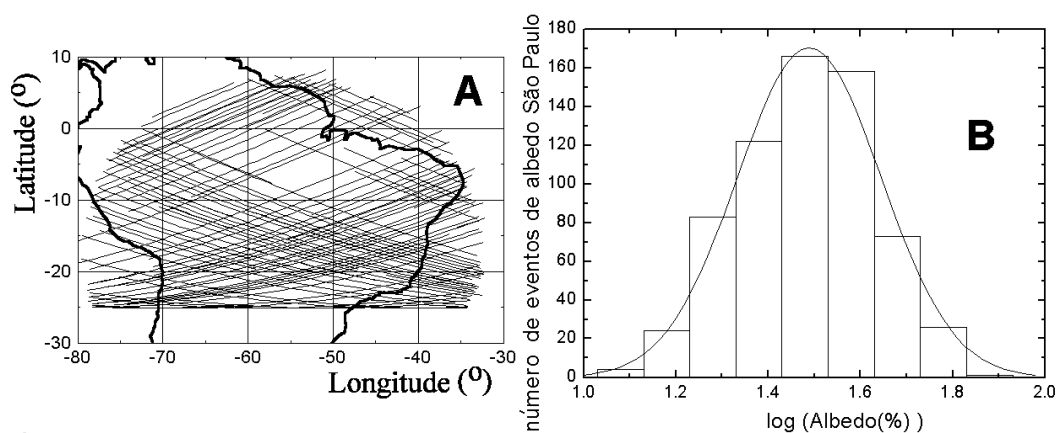


Figura 4 – Órbitas do satélite SCD2 no mês de novembro de 1998 dentro da visada da estação receptora de Cuiabá-MT (A) e histograma do logaritmo do albedo sobre a cidade de São Paulo mostrando o comportamento Gaussiano (B).

No trabalho do VI Congresso Brasileiro de Energia Solar (Veissid, 2016), o autor apresentou o estudo da cobertura de nuvens sobre a cidade de Belo Horizonte usando dados do albedo planetário medidos pelo satélite SCD2 do INPE. O gráfico do lado esquerdo da Fig. 5 retirado do trabalho do VI CBENS mostra um aumento na fração de cobertura de nuvens de 0,23% por ano em valores absolutos sobre Belo Horizonte. No trabalho do VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar (Veissid, 2020), o autor apresentou o estudo da cobertura de nuvens sobre o sertão Central do Ceará e o gráfico do lado direito mostra uma diminuição de 0,20% por ano na fração de cobertura de nuvens. Estes dois gráficos são exemplos do potencial dos dados de albedo do Experimento Célula Solar do satélite SCD2 do INPE. O trabalho do estudo do albedo sobre o sertão Central do Ceará foi, também, publicado na Revista Brasileira de Energia Solar (Veissid, 2021). O gráfico de cobertura de nuvens sobre o pantanal é mostrado na seção 3.4 deste trabalho.

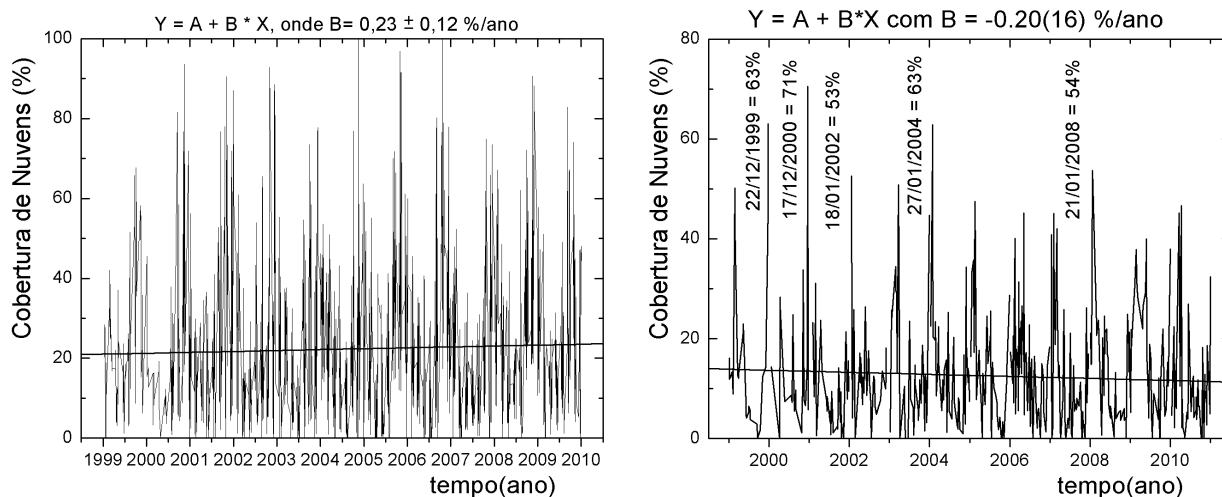


Figura 5 – Cobertura de nuvens sobre Belo Horizonte (lado esquerdo) e sobre o sertão central do Ceará (lado direito), extraídos dos trabalhos apresentados nos VI CBENS e VIII CBENS (Veissid, 2016 e 2020), respectivamente.

Os gráficos de cobertura de nuvens da Fig. 5 mostram que estas duas regiões (Belo Horizonte e Sertão central do Ceará) têm comportamentos bem diferentes. No primeiro caso, temos vários eventos com cobertura de nuvens superior a 90% e, na segunda região, os casos extremos estão mostrados no lado direito da figura e são em torno de 60%. Este exemplo de resultado mostra o potencial dos dados de Albedo Planetário para estudos climatológicos.

2. MEDIDAS EXPERIMENTAIS

O satélite SCD2 cobre a visada mostrada na Fig. 4A, que é sobre a América do Sul. A região escolhida para o estudo deste trabalho corresponde a um quadrado em latitude e longitude com lados de 3° centrado em $18,5^\circ$ S e $56,5^\circ$ W, onde está localizado o Pantanal, ver Fig. 1. Todos os dados medidos pelo Experimento sobre esta região são mostrados na Fig. 6 para o período de 12 anos (1999-2010). O lado direito da Fig. 6 mostra os dados em escala linear de valores do albedo e o lado esquerdo mostra os mesmos valores em escala logarítmica. A dispersão dos valores do logaritmo do albedo é simétrica em relação a reta média.

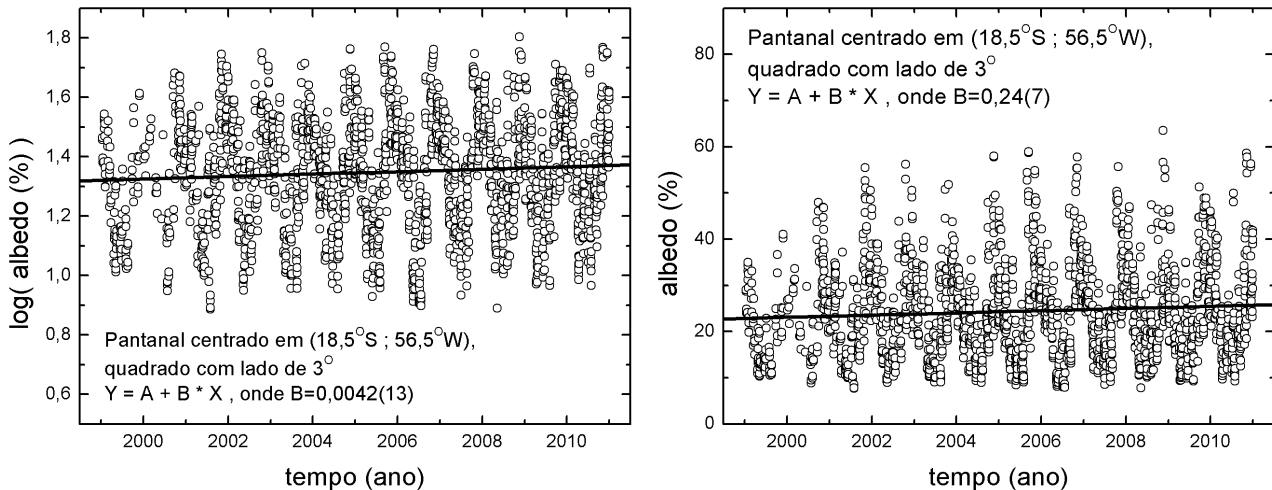


Figura 6 – Dados do albedo planetário sobre a região do pantanal medido pelo experimento albedo do satélite SCD2.

A Fig. 6 mostra variação sazonal e, também, a reta média dos pontos experimentais. Na Fig. 6 lado esquerdo, a reta obtida no ajuste dos dados de $\text{Log}(\text{albedo}(\%))$ tem uma inclinação positiva de $0,0042 \pm 0,0013 \text{ log}(\%)$ por ano para o período de 1999 até 2010. No trabalho deste autor apresentado no 5º. Simpósio de Geotecnologias do Pantanal em 2014 (Veissid, 2014) este mesmo ajuste teve uma inclinação positiva de $0,0054 \pm 0,0018 \text{ log}(\%)$ por ano para o período de 1999 até 2008. Portanto, podemos considerar que a passagem destes dois anos a mais (2009 e 2010) produziu um retorno a normalidade, pois o coeficiente diminuiu de 0,0054 para 0,0042. O gráfico da direita apresenta uma reta média que não é representativa porque a dispersão em torno desta reta média não é simétrica e, mesmo assim, esta reta média teve um aumento absoluto no albedo planetário de $0,24 \pm 0,07 \%$ por ano.

Cada ponto da Fig. 6 corresponde a uma medida de albedo feita quando o satélite SCD2 orbitava sobre a região do pantanal, ver Fig. 1. A distribuição destes pontos é significativa e representa a atividade do sistema superfície-atmosfera. Cobertura de nuvens e refletividade da superfície em céu claro faz os valores de albedo oscilar entre um valor máximo e um valor mínimo, respectivamente. Em função disto, a análise destes valores em função do tempo estabelece um padrão de comportamento e as variações deste padrão permitem monitorar mudança climática (Veissid, 2015).

3. RESULTADOS

As medidas experimentais mostradas na Fig. 6 foram analisadas/processadas e os resultados são apresentados em quatro diferentes formas, que são: Períodos seco e chuvoso, Padrão de Cinco Anos e Fração de Cobertura de Nuvens.

3.1 Períodos Seco e Chuvoso

A Fig. 6 mostra que os dados de albedo têm variação sazonal e, portanto, foi escolhido separar os valores no período seco (meses AMJJAS) e no período chuvoso (meses ONDJFM). A Fig. 7 mostra os valores separados nos dois períodos. Regressões lineares feitas nos dados destes dois períodos mostram que os coeficientes de variação absoluta de cobertura de nuvens ($0,20 \pm 0,08$) $\%/ano$ e ($0,27 \pm 0,08$) $\%/ano$ são estatisticamente similares, pois, estão dentro de mais ou menos um desvio padrão. Os valores destes coeficientes refletem o valor do coeficiente global visto no gráfico da Fig. 6 que é de $(0,24 \pm 0,07) \%/ano$.

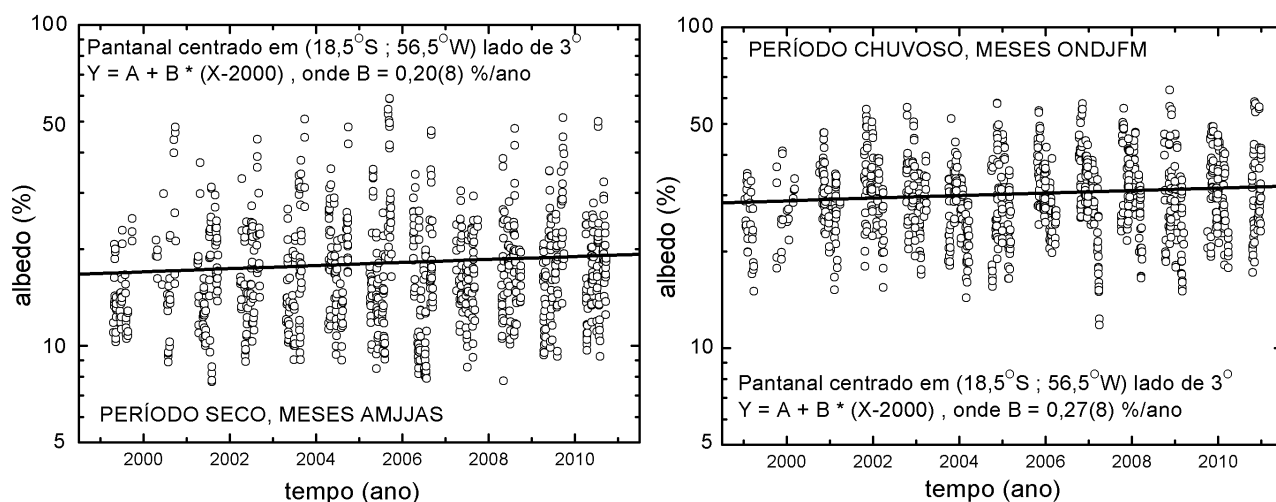


Figura 7 – Valores do albedo planetário da Fig. 6 separados por períodos seco e chuvoso para o pantanal.

O trabalho de Correa *et al.* (2002) relata que o albedo de superfície durante o período chuvoso tem o valor da ordem de 10 % e durante o período seco tem o valor da ordem de 20%. Os dados do albedo planetário mostrado na Fig. 7 mostram resultados contraditórios aos do trabalho de Correa, que são albedos maiores no período chuvoso. A diferença está entre albedo de superfície e albedo planetário. O albedo planetário corresponde a refletividade do sistema superfície/atmosfera e no período chuvoso a cobertura de nuvens e a nebulosidade são maiores.

3.2 Padrão de Cinco Anos

A dispersão de valores pode ser analisada por comparação com algum padrão para estudar e entender as variações. O padrão escolhido neste trabalho foi um período de cinco anos (1999 até 2003). Este mesmo padrão de cinco anos, também, foi usado nos trabalhos de Veissid de 2009, 2012, 2013, 2016 e 2020. A dispersão do logaritmo do albedo planetário tem uma distribuição Gaussiana e, este fato, permite determinar valor médio e desvio padrão da variabilidade, conforme relatado na parte introdutória deste trabalho. No contexto de uma distribuição Normal ou Gaussiana, a frequência de repetição de eventos dentro de uma faixa de mais ou menos um desvio padrão de variabilidade em torno da média é de 68%. A Fig. 8A mostra as curvas calculadas da média mensal e a faixa limitada pela envoltória de um desvio padrão acima da média e um desvio padrão abaixo. No gráfico da Fig. 8A os valores de albedo dentro desta envoltória correspondem a 68% dos pontos e, logicamente, fora da envoltória estão os outros 32% dos pontos distribuídos simetricamente com 16% acima e 16% abaixo dos limites da envoltória. Os anos posteriores a este período de cinco anos devem repetir estas taxas de frequência de 68% e as taxas de 16% acima e 16% abaixo. No caso deste comportamento não se repetir nos anos seguintes ao período de cinco anos, considera-se que está ocorrendo mudança climática ou alguma variação temporal reversível.

A curva azul na Fig. 8A corresponde aos valores de albedo planetário mínimo com céu claro sem nuvens e será usado na seção 3.4 deste trabalho. Esta curva foi obtida a partir da curva media da envoltória menos 1,8 vezes o desvio padrão. O valor 1,8 foi adotado para nivelar os valores de albedo mínimo.

Os pontos de albedo dos anos de 2004, 2005 e 2006 são mostrados na Fig. 8B e mostram frequência dentro da envoltória de 55%, 61% e 62%, respectivamente. Os valores de albedo nos anos 2007 e 2008 são mostrados na Fig. 8C e mostram frequência dentro da envoltória de 69% e 58%, respectivamente. Os valores de albedo nos anos de 2009 e 2010 são mostrados na Fig. 8D e mostram frequência dentro da envoltória de 57% e 59%, respectivamente. A Fig. 8D mostra que o ano de 2006 foi o mais regular em relação ao padrão dos cinco anos da Fig. 8A do albedo planetário do Pantanal.

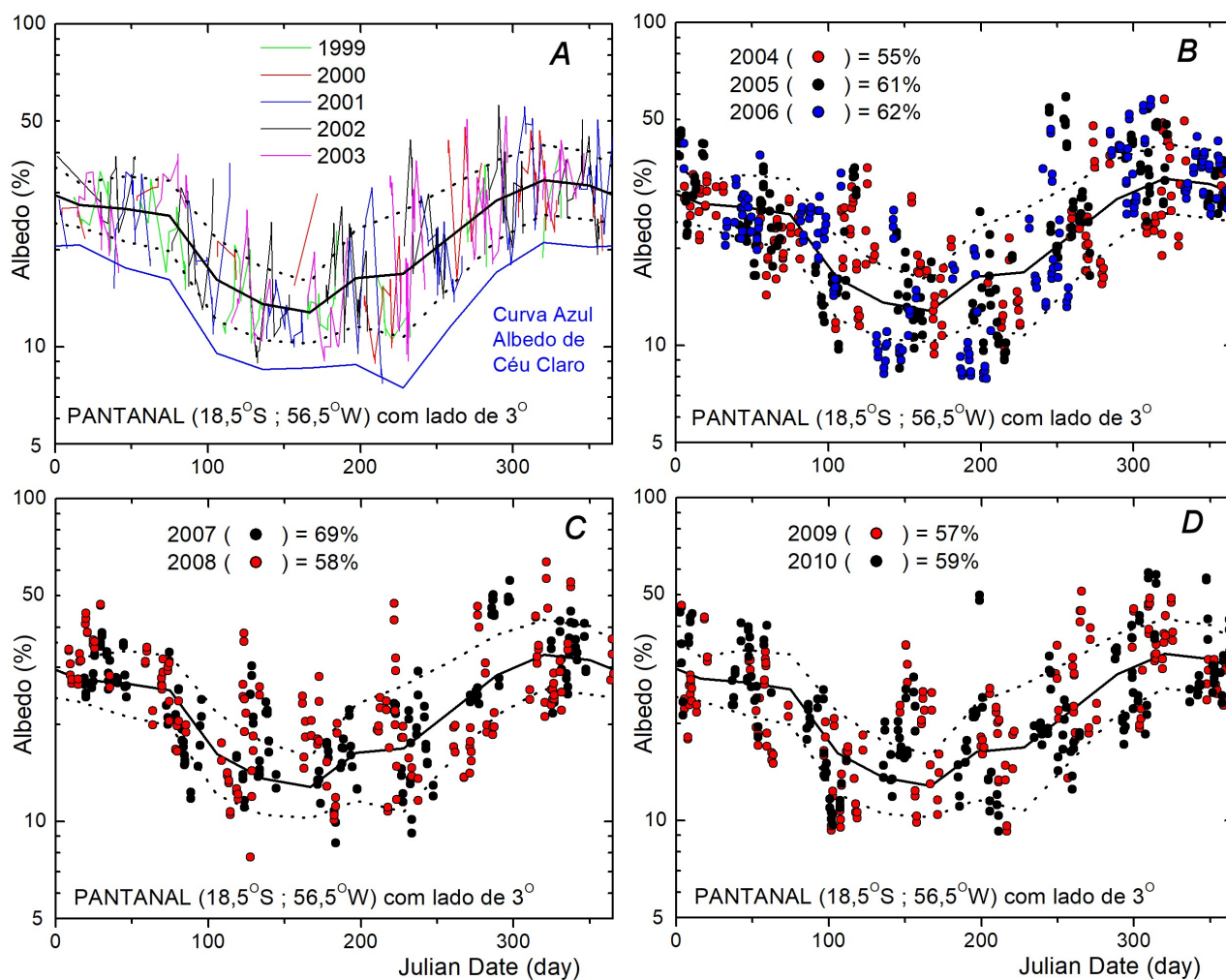


Figura 8 – Padrão de cinco anos (gráfico A), valores do albedo planetário de 2004, 2005 e 2006 (gráfico B), valores do albedo planetário de 2007 e 2008 (gráfico C) e valores do albedo planetário de 2009 e 2010 (gráfico D) sobre as curvas do padrão de cinco anos do gráfico A para a região do pantanal.

No caso da frequência de contagem de 68% (valor esperado) dos valores de albedo não se repetir significa que está ocorrendo uma mudança no clima. Por exemplo, se os valores de albedo acontecem com uma incidência maior do que a esperada na parte de cima do limite superior da envoltória indica um aumento na cobertura de nuvens. A Tab. 1 mostra este estudo de frequência feito nos valores da Fig. 8.

Tabela 1 – Estudo da frequência de eventos dos pontos mostrados na Fig. 5.

ANO	Acima (%)	Abaixo (%)	Dentro (%)
ESPERADO	16	16	68
2004	24	21	55
2005	23	16	61
2006	19	19	62
2007	22	9	69
2008	26	16	58
2009	21	22	57
2010	24	17	59
Média	23	17	60

A média da distribuição do albedo tem comportamento Gaussiano e, em função disto, o nível de confiança é de 68% dentro da envoltória de mais ou menos um desvio padrão. O restante, 32%, fica distribuído simetricamente acima e abaixo da envoltória. Os valores esperados desta tabela são de 16% para segunda e terceira coluna e de 68% para a quarta coluna. O ano de 2008 foi que teve maior valor de frequência para parte acima da envoltória (26%). No entanto, o ano de 2007 teve uma frequência de 9% bem abaixo dos 16% esperado na parte abaixo da envoltória. O ano de 2004 foi que teve menor valor de frequência para parte interna da envoltória (55%). O padrão (curva média e

envoltória) mostrado na Fig. 8A é típico para as regiões com estações seca e úmida muito bem definidas. Regiões diferentes possuem padrões diferentes e mostram a característica climática de cada região (Veissid, 2013).

3.3 Fração de Cobertura de Nuvens

Os trabalhos de Pereira *et al.* (2000) e Gonçalves de Souza *et al.* (2013) apresentam a Eq. (1) do coeficiente de cobertura efetiva de nuvens, onde L_r é o valor da irradiância visível medido por sistema óptico de um satélite para um determinado pixel, L_{clr} é este valor para condição de céu claro e L_{cld} é para condição de céu completamente nublado.

$$C_{eff} = \frac{L_r - L_{clr}}{L_{cld} - L_{clr}} \quad (1)$$

Neste trabalho é adotada a Eq. (2), em analogia com a Eq. (1), para o cálculo da cobertura de nuvens usando dados do albedo planetário visto pelo experimento do satélite SCD2. O valor A é o albedo medido em uma determinada região em latitude e longitude, A_{min} é o valor mínimo de albedo obtido na condição de céu claro e o A_{max} é o valor com céu totalmente coberto de nuvens. Os valores de A_{min} correspondem a curva azul do gráfico da Fig 7A e foi obtido dos valores das médias mensais menos 1,8 desvio padrão e o valor A_{max} foi estabelecido como sendo de 60%. A Fig. 8 mostra os valores da fração de cobertura de nuvens, obtido com o uso da Eq. 2, para os valores de albedo sobre o Pantanal.

$$Cob = \frac{A - A_{min}}{A_{max} - A_{min}} \quad (2)$$

A Fig. 5 no lado esquerdo mostra o gráfico da fração de cobertura de nuvens sobre a cidade de Belo Horizonte – MG, que foi apresentado no VI CBENS (Veissid, 2016) e o gráfico no lado direito mostra a fração de cobertura de nuvens sobre o sertão Central do Ceará-CE, que foi apresentado no VIII CBENS (Veissid, 2020). Nesta figura no lado esquerdo é possível observar vários eventos com cobertura superior a 80% e, este fato, é uma situação rotineira numa região onde o céu fica com muita frequência totalmente coberto por nuvens. No entanto, a Fig. 5 no lado esquerdo mostra que os maiores valores de cobertura raramente ultrapassaram o valor de 60% e pode-se ver que é um padrão bem diferente do da Fig. 5 no lado esquerdo. Os valores da cobertura de nuvens sobre a cidade de Belo Horizonte estão com uma tendência de aumento 0,23% ao ano em valores absolutos e no Sertão Central os valores mostram uma diminuição de 0,20% ao ano.

A Fig. 9 mostra o gráfico da fração de cobertura de nuvens sobre o Pantanal em função do tempo de vida do satélite SCD2, calculado usando a Eq. 2 e os dados de albedo da Fig. 6. Os valores da cobertura de nuvens sobre esta região estão com uma tendência de aumento de $(0,49 \pm 0,13)$ %/ano em valores absolutos.

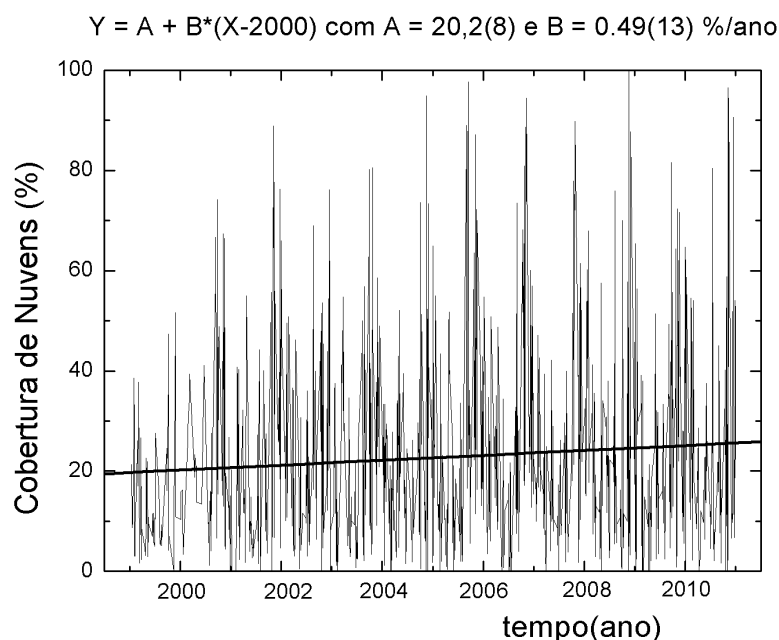


Figura 9 – Fração de Cobertura de Nuvens sobre o Pantanal calculada usando dados da Fig. 6 e Eq. 2.

A nebulosidade e a cobertura de nuvens sobre o Pantanal têm características diferentes no período seco com o período chuvoso. Fig. 10 mostra os dados de fração de cobertura de nuvens separados nestes dois períodos. Regressão linear dos dados mostrou os valores de $(24,7 \pm 1,3) \%$ e $(15,3 \pm 1,0) \%$ para cobertura média de nuvens no ano 2000 para os períodos chuvosos e secos, respectivamente. Os coeficientes de variação da cobertura de nuvens foram positivos e são de $(0,62 \pm 0,19) \%/ano$ e $(0,34 \pm 0,15) \%/ano$ para os períodos chuvosos e secos, respectivamente. Estes coeficientes acarretam que em 2011 os valores de fração de cobertura de nuvens são $(31,5 \pm 1,3) \%$ e $(19,0 \pm 1,0) \%$ para os períodos chuvosos e secos, respectivamente. Para 2025 serão de $(40,2 \pm 1,3) \%$ e $(20,4 \pm 1,0) \%$ para os períodos chuvosos e secos, respectivamente. Este fato é uma “prova” do alerta apresentado no relatório do IPCC (IPCC, 2019) onde é citado aumento intensidade e frequência de comportamentos extremos do clima. Os períodos chuvosos serão mais intensos, indo de 25 % de cobertura de nuvens no ano de 2000 para 31% no ano de 2010 e para 40 % no ano de 2025, segundo previsão dos resultados deste trabalho.

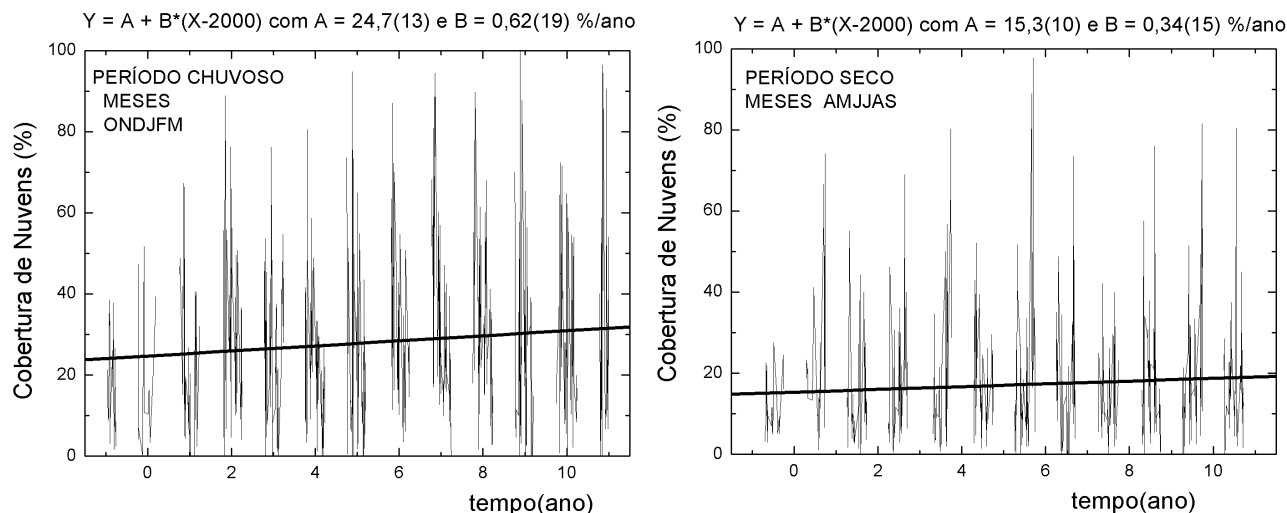


Figura 9 – Fração de Cobertura de Nuvens calculada usando dados da Fig. 3 e Eq. 2, separados em dois períodos.

4. CONCLUSÕES

Um experimento simples colocado a bordo de um satélite brasileiro permite estimar o albedo planetário em tempo real. Os dados tratados com um algoritmo adequado permitem monitorar variabilidade climática, pois o albedo corresponde à refletividade da energia solar pelo sistema atmosfera-superfície. Por exemplo, as nuvens produzem refletividade entre 60% e 80% e no oceano a refletividade é menor do que 5%. Os continentes refletem entre 10% e 30%, dependendo do tipo de cobertura do solo. Portanto, o albedo é um excelente monitor da variabilidade climática e variações tendenciosas indicam mudança climática global ou regional. A metodologia empregada é isenta dos efeitos da degradação dos sensores (células solares) do Experimento, pois os dois sinais, da radiação solar e da radiação refletida, sofrem redução proporcional que é compensada pelo quociente no cálculo do albedo, ver Fig. 3. Fato análogo acontece, também, com o efeito da temperatura do satélite ou do experimento.

A região escolhida para o estudo deste trabalho corresponde a um quadrado com lados de 3° centrado em $18,5^\circ S$ e $56,5^\circ W$, ver Fig. 1. Esta região corresponde ao bioma pantanal. Os dados de albedo planetário sobre esta área são mostrados na Fig. 6 e, estes dados, foram analisados de duas formas distintas. Primeira, separados por períodos seco e chuvoso e, a segunda forma, analisados por comparação com padrão gerado nos primeiros cinco anos de vida do satélite. Estes dois tipos de estudos mostraram que a refletividade está com tendência em aumentar. Trabalhos complementares realizados com outras fontes de dados poderão confirmar este fato.

O estudo das frequências de incidência de eventos sobre a envoltória padrão produzida no período de cinco anos 1999-2003 mostrou resultados muito interessantes. Todos os anos, com exceção de 2007 e 2010, houve um aumento significativo da frequência dos valores acima da envoltória, ver Tab. 1. O ano mais atípico foi o de 2009 onde a frequência acima foi de 28% e abaixo da envoltória foi de 12%, o esperado para estes dois valores seria de 16%. Os anos de 2007 e 2009 tiveram uma diminuição de incidência de valores de albedo dentro da envoltória muito abaixo do valor esperado, mas a estabilidade ficou estabelecida nos anos seguintes de 2008 e 2010.

Os resultados deste trabalho sugerem que está ocorrendo de maneira significativa mudança climática na região do pantanal e, esta mudança, está ocasionando pequeno aumento na cobertura de nuvens no período de seca e um grande aumento na fração de nuvens no período chuvoso. Este fato, discrepância entre os dois períodos, talvez seja decorrência do aquecimento global e pode ser confirmado por dados de estações radiométricas.

Análises dos dados do Experimento em anos posteriores a 2011 irão permitir estabelecer de maneira segura se está ocorrendo mudanças climáticas na região sertão central do Ceará. A influência antropogênica poderá ser facilmente detectada a partir do estudo dos dados, principalmente, devido ao fato que o satélite SCD2 continua operando e,

provavelmente, irá ser operacional por mais uma dezena de anos ou mais, pois o controle de órbita e as condições do satélite SCD2 estão excelentes.

Agradecimentos

O autor agradece ao Centro de Rastreamento e Controle de Satélites do INPE pelo fornecimento dos dados telemetrizados do satélite SCD2. O autor disponibiliza, para instituições e pesquisadores interessados, os dados de albedo planetário para trabalho conjunto e, também, para trabalhos acadêmicos de mestrado e doutorado.

REFERÊNCIAS

- Araújo, A. R.; Belchior, G. P. N.; Viegas, T. E. S., 2016, Os Impactos das mudanças Climáticas no Nordeste Brasileiro, 1. Ed. – Fortaleza, CE: fundação Sintaf; São Paulo, SP.
- Correia, F. W. S.; Alvalá, R. C. S.; Gielow, R.; Manzi, A. O.; Souza, A., 2002. Albedo do Pantanal Sul Matogrossense Durante o Período de Transição Seco-Úmido de 2001-2002, Anais XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu-PR, p. 2794-2800.
- Cardozo, F. S.; Pereira, G.; Silva, F. B.; Shimabukuro, Y. E.; Moraes, E. C., 2009. Análise da Estimativa da Refletância e Albedo em áreas Alagadas do Pantanal, Anais 2o. Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá-MS, p. 392-401.
- Gonçalves de Souza, J.; Macedo, A. S.; Martins, F. R.; Pereira, E. B., 2013. Metodologias de Estimativa de Cobertura de Nuvens e seus Resultados no Modelo BRASIL-SR, Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu-PR, p. 6207-6213.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change and Land, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Fullreport.pdf>.
- Moraes, E. C.; Pereira, G.; Cardozo, F. S., 2013. Avaliação da Precipitação e sua Influência sobre as Áreas Inundadas no Pantanal, Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu-PR, p. 7216-7224.
- Nobre, C. A.; Reid, J.; Veiga, A. P. S., 2012. Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas, Rede Clima/INPE, São José dos Campos, 44 p.
- Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L.; Couto, P.; Stuhlmann, R.; Colle, S., 2000. Effects of Burning of Biomass on Satellite Estimations of Solar Irradiation in Brazil, Solar Energy, Vol. 68, n. 1, p. 91-107.
- 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 J. 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., 2007. Distribuição Logarítmica Temporal do Albedo Planetário sobre a América do Sul no Monitoramento de Mudanças Climáticas Globais. III Conferência Regional sobre Mudanças Globais: América do Sul, São Paulo - SP, Resumo publicado no CD do Congresso, trabalho 13.pdf.
- Veissid, N., 2009. Logarithmic Distribution of Planetary Albedo on South America: A New Tool for Monitoring Climate Changing. In: Pedro Leite da Silva Dias, Wagner Costa Ribeiro, João Lima Sant'Anna Neto e Jurandir Zullo Jr. (Org.). Public policy, mitigation and adaptation to climate change in South America. São Paulo: Editora Instituto de Estudos Avançados - IEA/USP, ISBN 978-85-63007-00-1, p. 249-265.
- Veissid, N., 2009. Novo Algoritmo para Mapas de Variabilidade Climática. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), Natal-RN. Anais do Simpósio. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1707-1713. DVD, ISBN 978-85-17-00044-7. Trabalho completo disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.13.03>.
- Veissid, N., 2010. Análise das Médias Mensais do Albedo Planetário Medido pelo Experimento Célula Solar do Satélite Brasileiro SCD2. In: III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém – PA, Trabalho Completo nos Anais do CD-ROM do Congresso, trabalho 69570 (11 páginas).
- Veissid, N.; Escobedo, J. F.; Galdino, M. A., 2010. Taxa de Absorção Atmosférica sobre as Cidades de Botucatu-SP e Rio de Janeiro-RJ, Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 4, p.455-468.
- Veissid, N., 2011. Novo Algoritmo para Mapas de Variabilidade Climática. In: IV Conferência Regional sobre Mudanças Globais: O Plano Brasileiro para um Futuro Sustentável, São Paulo – SP, Pôster apresentado.
- Veissid, N., 2012. New Algorithm to Study Climate Change Based on Planetary Albedo Measurement by Brazilian Satellite SCD2. In: Climate Change, Impacts and Vulnerabilities in Brazil, Natal – RN, Apresentação oral.

- Veissid, N., 2013. Mapas de Anomalia Climática Medidos pelo Experimento Albedo do Satélite SCD2 do INPE. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Vitória – ES, Trabalho Completo nos Anais do CD-ROM do Congresso.
- Veissid, N., 2014. Albedo Planetário sobre o Pantanal Medido pelo Satélite SCD2 do INPE: Estudo de Tendências Usando Dados experimentais de 1999 a 2008. In: 5º. Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, Campo Grande – MS, Trabalho Completo nos Anais, p. 389-396.
- Veissid, N., 2015. SCD2 Satellite from INPE Monitors the Planetary Reflectivity Over South America, *Geografia*, v. 40, p. 241-249.
- Veissid, N., 2016. Albedo Planetário e Cobertura de Nuvens, Sobre a Região de Belo Horizonte, Medido pelo Satélite SCD2 do INPE. In: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte - MG, Trabalho Completo nos Anais do CD-ROM do Congresso, trabalho 2710 (8 páginas).
- Veissid, N., 2020. Estudo da Cobertura de Nuvens no Sertão Central do Ceará, Medido pelo Satélite SCD2 do INPE. In: VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza - CE, Trabalho Completo nos Anais do CD-ROM do Congresso, trabalho 0594 (10 páginas).
- Veissid, N.; 2021. Estudo da Cobertura de Nuvens no Sertão Central do Ceará, Medido pelo Satélite SCD2 do INPE, *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 12, n. 1, p.11-20.
- Vuolo, J. H., 1996. Fundamentos da Teoria de Erros, Editora: Blucher, São Paulo, 264p.

CLOUD COVERING STUDY ON PANTANAL, MEASURED BY SCD2 SATELLITE OF INPE

Abstract. *The second satellite of the Brazilian Complete Space Mission of the National Institute of Space Researches was launched on October 23, 1998 and carries on board an experiment of solar cells produced in Brazil. The main objective of Experiment is to qualify the cells in mission. It acts as a radiation sensor and it can measure the direct solar radiation and the portion of this radiation that the Earth planet reflects. Therefore, as a by-product, the experiment measures the planetary albedo and the statistical data allows establishing patterns and trends for different areas on South America. The region called as Pantanal was chosen to this work because the local is important due its biodiversity. The region corresponds to an square area in latitude and longitude with sides of 3° centered in 5°S and 39.5°W. In this region, the curves of cloud covering for dry and humidity period and their respective average values and standard deviations (variability) shows that values are tending to increase, and this fact is stronger in the humidity period. The study of cloud cover fraction using planetary albedo data presented an increase in absolute value of (0.49 ± 0.13) % by year of atmospheric nebulosity during the period between 1999 and 2011.*

Key words: *Planetary Albedo, Cloud Cover, Pantanal*