



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS TERRESTRES NA ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR POR SATÉLITE: REFLETÂNCIA DO SOLO

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Rodolfo Rafael Berino da Motta (UNESP-GT, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: rodolfo.motta@cptec.inpe.br

Orientador: Dr. Juan Carlos Ceballos
DSA / CPTEC / INPE

Cachoeira Paulista, julho de 2010

RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2009, tem como objetivo geral o estudo da influência dos diversos parâmetros terrestres na estimativa da radiação solar através de medições feitas por satélites meteorológicos. No presente projeto, é estudada a influência da refletância da superfície sobre as estimativas do modelo GL 1.2 do CPTEC. A estimativa da radiação solar no Brasil é feita a partir de imagens do canal 1 geradas pelo sensor VIS do satélite GOES. Porém, para o desenvolvimento das atividades, outros canais do GOES foram utilizados, além de dados provenientes de outro satélite meteorológico, o Meteosat Second Generation 2. No primeiro semestre, a atenção focou-se principalmente no aprendizado de como ler e trabalhar com as imagens geradas por satélites, e conseguir retirar delas dados necessários para as análises propostas; para essas atividades, o utilitário MATLAB foi utilizado por apresentar um ótimo desempenho ao trabalhar com matrizes de dados (no caso, imagens de 1714 x 1870 pixels no GOES, e de 2500x3500 no MSG2).

No segundo semestre, iniciou-se a construção de mapas de refletância da superfície, para com eles analisar a refletância característica de cada tipo de bioma (distribuição geográfica fornecida por pesquisador do Centro de Ciências do Sistema Terrestre), com o objetivo de mensurar posteriormente a disponibilidade de radiação solar para cada bioma. Esse estudo foi feito tanto para imagens do satélite GOES 10 (ano 2009), como para imagens do MSG2. Foram obtidas cartas para quatro meses diferentes (Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro); o método utilizado foi o de mascaramento de nuvens procurando pixels com o brilho mínimo e alternativamente temperatura máxima. No caso MSG2, foram processados os três canais no espectro solar, para futuras estimativas do albedo total de superfície. As imagens Meteosat incluem uma extensa área do Oceano Atlântico e da África. Neste continente, as variações da refletância do solo são bem maiores do que na América do Sul.

A operação do modelo GL 1.2 está sendo adaptada para o uso das novas cartas de refletância superficial (gerando um modelo GL 1.4). Os primeiros resultados do GL 1.4 foram obtidos, e suas diferenças com o GL 1.2 estão em análise. Apresentam-se resultados preliminares, mostrando o impacto da mudança de parâmetro.

SUMÁRIO

RESUMO	2
SUMÁRIO	3
CAPÍTULO 1 - OBJETIVO DO TRABALHO	4
CAPÍTULO 2 - CICLO DIÁRIO DA REFLETÂNCIA DE CÉU CLARO	5
CAPÍTULO 3 - REFLETÂNCIA DE BIOMAS NA AMÉRICA DO SUL	7
CAPÍTULO 4 - REFLETÂNCIA DE BIOMAS NA ÁFRICA	14
CAPÍTULO 5 - MAPAS DE REFLETÂNCIA MÍNIMA EM HORA SOLAR	15
CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DA REFLETÂNCIA DO SOLO NO MODELO GL	19
CONCLUSÕES	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

CAPÍTULO 1 - OBJETIVO DO TRABALHO

O modelo GL de radiação solar está operacional na DSA/CPTEC desde 2002, e atualmente encontra-se na versão 1.2. Na sua versão atual, o modelo GL supõe a partição do espectro solar em apenas dois intervalos espectrais de banda larga: ultravioleta+visível e infravermelho próximo, e não considera o efeito de aerossóis.

No intervalo UV+VIS, Considera-se um balanço de irradiâncias onde a radiação solar é refletida para o espaço, absorvida na estratosfera ou no solo. O balanço de radiação resulta:

$$\mu_0.S_{vis} = E_{Svis} = E_{pvis} + A_3 + (1-R_{svis}).G_{vis}$$

onde S_{vis} é o fluxo solar no topo da atmosfera, e R_{svis} é a refletância no solo, E_{Svis} é a radiação incidente no topo da atmosfera, A_3 é a absorção da radiação na atmosfera, G_{vis} é a absorção da radiação no solo e E_{pvis} é a radiação refletida no topo da atmosfera.

No intervalo IV próximo, A dispersão Rayleigh é desprezível. A interação com a atmosfera se limita a radiação direta passando entre as nuvens, radiação direta absorvida pelo H₂O e CO₂, alta absorção e reflexão por nuvens, com transmitância desprezível e reflexões múltiplas entre solo e base de nuvens.

$$G_{iv} = \mu_0.S_{iv}.T_2.(1 - C)/(1-C.R_n.R_{iv})$$

onde C é a nebulosidade, T_2 é a transmitância direta de H₂O e CO₂, e R_n e R_{iv} são as refletâncias de base de nuvem e de solo, respectivamente.

Esse modelo utiliza, para seus cálculos, um valor de refletância padrão para toda distribuição da imagem. Assim, o principal objetivo desse estudo consiste na criação de cartas de refletância superficial para serem usadas para o aprimoramento do modelo GL, e analisar a influência da mudança desse parâmetro no valor de radiação solar gerado.

Contudo, foram desenvolvidas outras atividades que forneceram a base teórica e prática para que este objetivo pudesse ser alcançado, nas quais se destacam: a construção do ciclo diário da refletância de céu claro, a análise da refletância dos diversos biomas presentes na América do Sul e a criação de mapas de refletância em hora solar. Essas atividades também serão detalhadas nesse relatório, assim como suas contribuições na análise do impacto da refletância do solo no modelo GL.

CAPÍTULO 2 - CICLO DIÁRIO DA REFLETÂNCIA DE CÉU CLARO

O trabalho precedente permitiu estudar a variação da refletância ao longo do dia na América do Sul e Oceano Atlântico. Além das imagens do Goes-10, que está sobre a Amazônia, com latitude 60° oeste, para efeito de comparação utilizou-se também imagens do satélite Meteosat Second Generation 2, localizado sobre a África, na intersecção do Equador com o meridiano de Greenwich. O período de análise foi 01 a 10 de outubro de 2009, utilizando-se imagens entre 09 e 21 UTC. As informações do GOES 10 são fornecidas na forma de uma matriz de dados em arquivo binário de 1700 linhas \times 3258 colunas em projeção de satélite.

Neste caso, o processamento das imagens do visível foi ligeiramente diferente, embora possa ser esperado um resultado equivalente. Inicialmente encontrou-se o mínimo fator de refletância para cada hora UTC através da comparação das imagens de vários dias. Em cada dia, uma hora dada dispunha em princípio de 3 imagens (hora-15min, hora, hora+15min). Portanto, o número de imagens processadas para cada hora UTC foi em torno de 30. Dividindo a imagem obtida pelo cosseno do ângulo zenital no horário central e no dia 5 de outubro, para cada pixel, encontrou-se o campo de refletâncias mínimas.

Com posse da refletância mínima de vários horários, selecionou-se diversas regiões, para que com isso fosse possível uma análise do ciclo diário para diversas localidades e encontrou-se a refletância média em cada região, que foi usada para a construção do gráfico de variação.

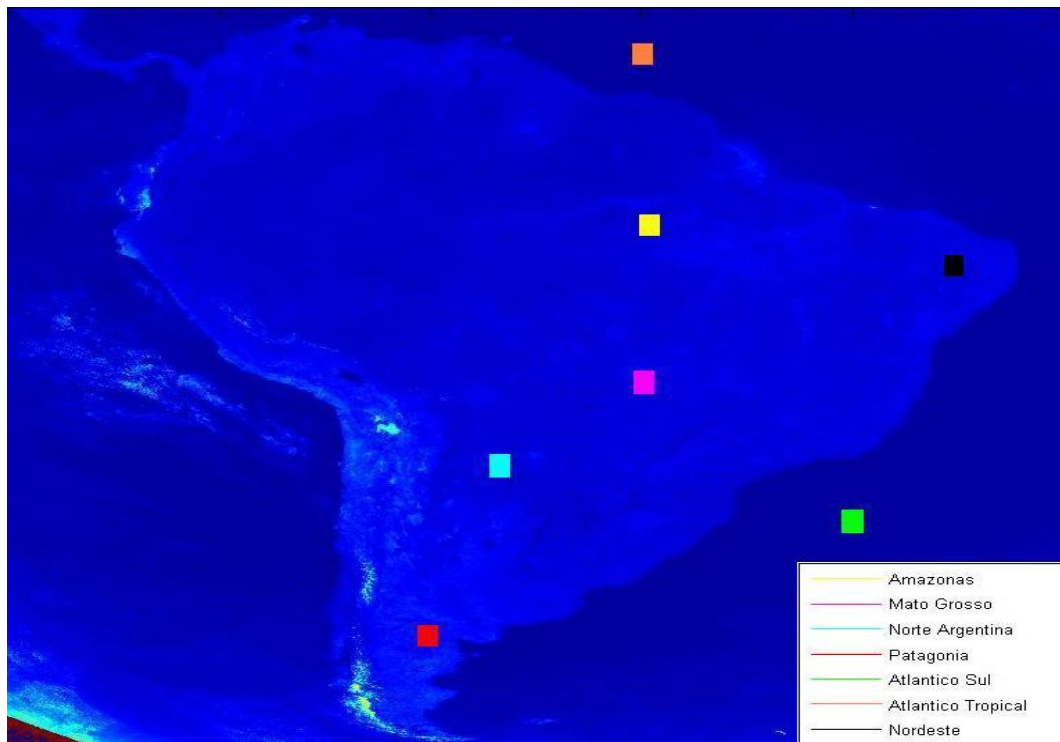


Figura 1 – Regiões de Análise da Variação da Refletância

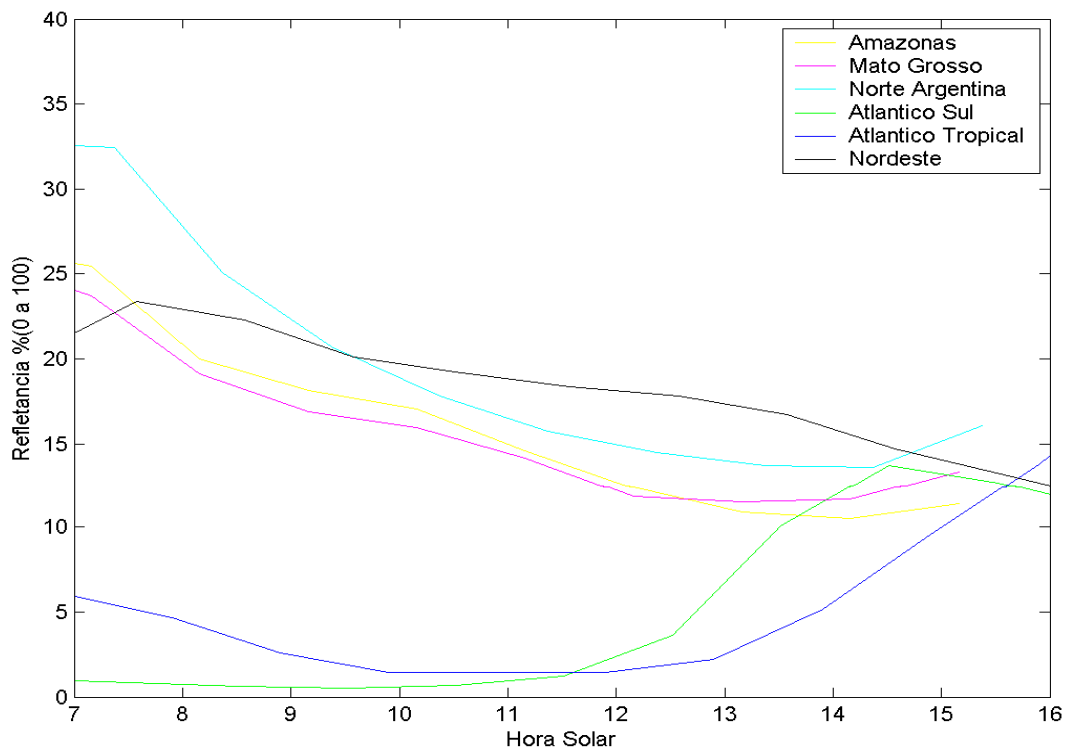


Figura 2 – Variação da Refletância pelo Ch1 MET8 – Mínima de 01 a 10 de Fevereiro 2010

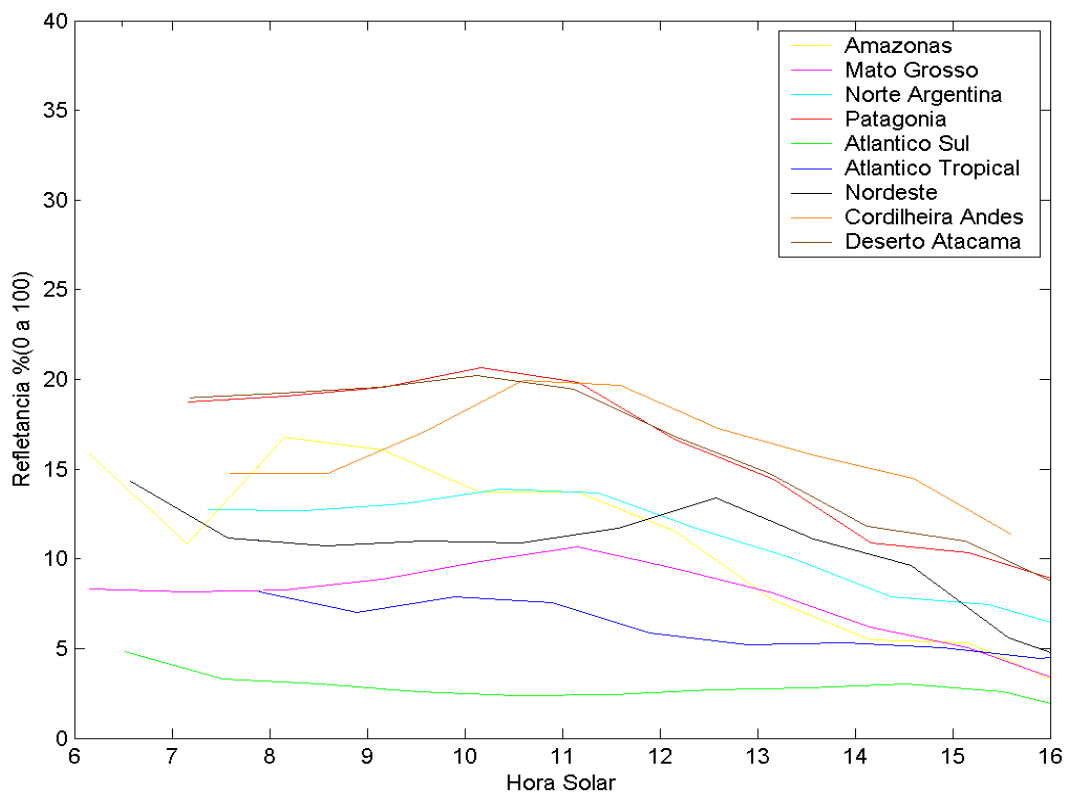


Figura 3 - Variação da Refletância pelo Ch1 GOES-10 – Mínima de 01 a 10 de Fevereiro 2010

Essa análise tinha como principal objetivo definir um intervalo do dia que apresentasse uma pequena variação na sua refletância, podendo com isso selecionar um valor mínimo que atendesse a esse período. Com a análise dos dois gráficos, é notável a variação da refletância através com do dia. Isso exige então a criação de cartas de refletâncias para todos os horários, para serem aplicados no modelo GL.

CAPÍTULO 3 - REFLETÂNCIA DE BIOMAS NA AMÉRICA DO SUL

Foi realizado um trabalho preliminar com possibilidades de aplicação em estudos climatológicos. Para isso, foi analisado o albedo característico de diferentes tipos de solo (nu e com cobertura vegetal). A base de partida foi a distribuição de tipos de solo numa grade fornecida pelo Dr. Gilvan Sampaio (Centro de Ciências do Sistema Terrestre), utilizada para cálculos em modelos climatológicos. A cada ponto de grade associa-se um bioma determinado de cobertura do solo. A Figura 9 ilustra a distribuição de biomas na América do Sul.

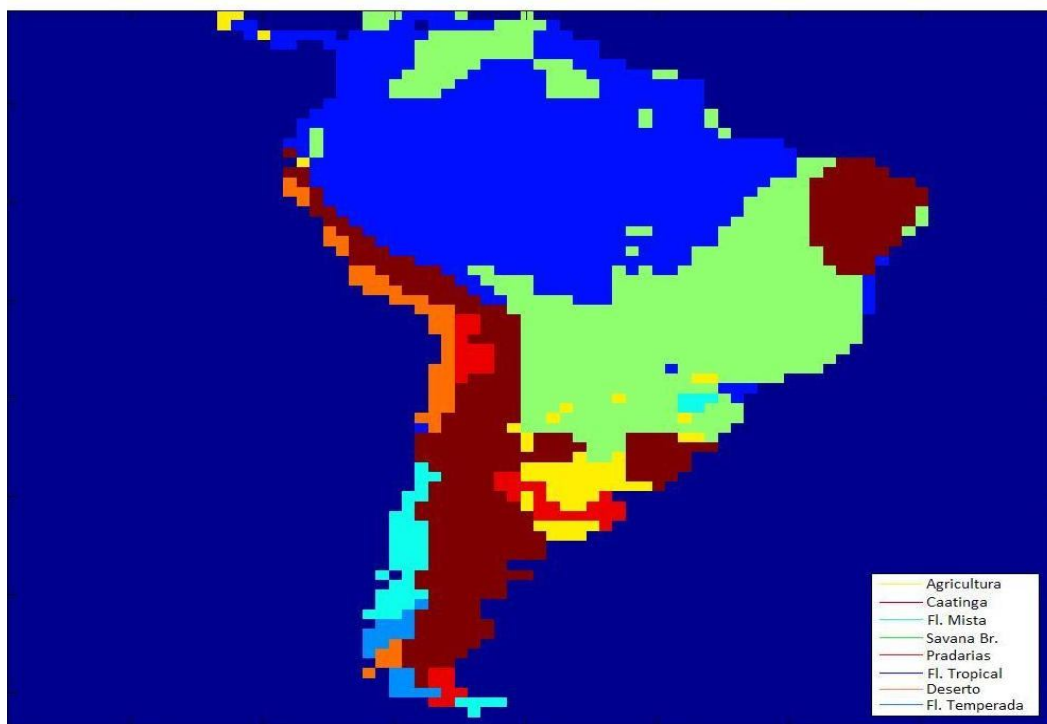


Figura 4 - Biomas da América do Sul

Para se poder analisar a refletância de cada bioma, primeiro foi necessária a adaptação do mapa de refletância ao mapa de bioma característico da América do Sul, que está dividido em quadrículas. Dividiu-se o mapa de refletâncias no mesmo número de quadrículas que o mapa de bioma, e cada quadrícula recebeu o valor médio dos pixels presentes.

Esses mapas foram criados para diversos horários, para analisar o ciclo diário da refletância de cada bioma. Um desses mapas está representado na figura 5.

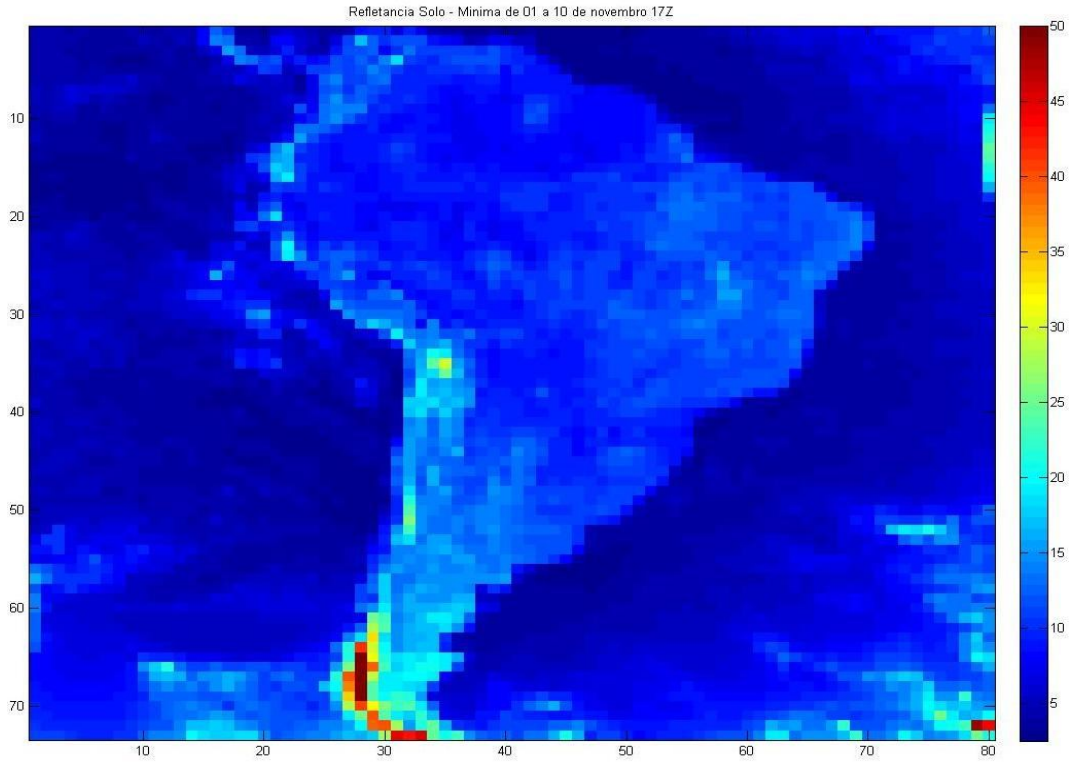


Figura 5 - Refletância Mínima em quadrículas

De posse dessa imagem, são então obtidas as refletâncias das quadrículas de cada bioma, e em posse desses valores, foram criados histogramas representativos da refletância de cada bioma.

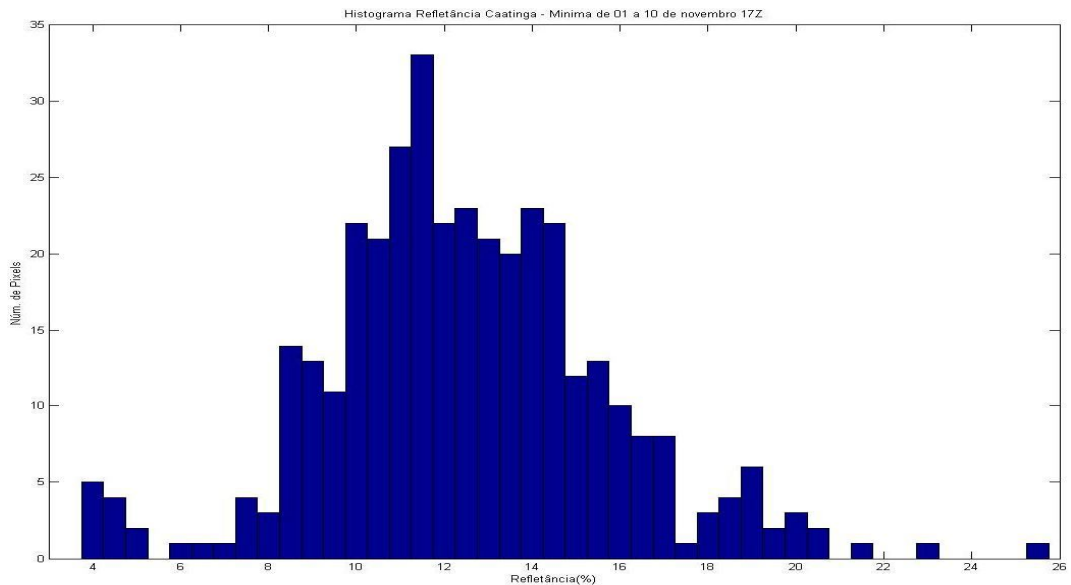


Figura 6 – Histograma Refletância Caatinga – Mínima de 1 a 10 de novembro as 17Z

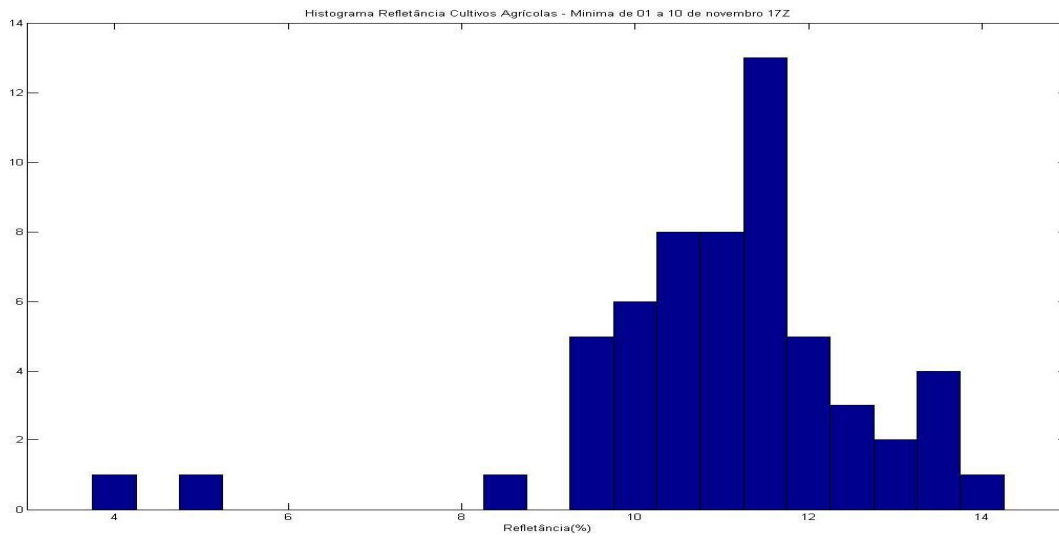


Figura 7 – Histograma Refletância Cultivos Agrícolas – Mínima de 1 a 10 de novembro as 17Z

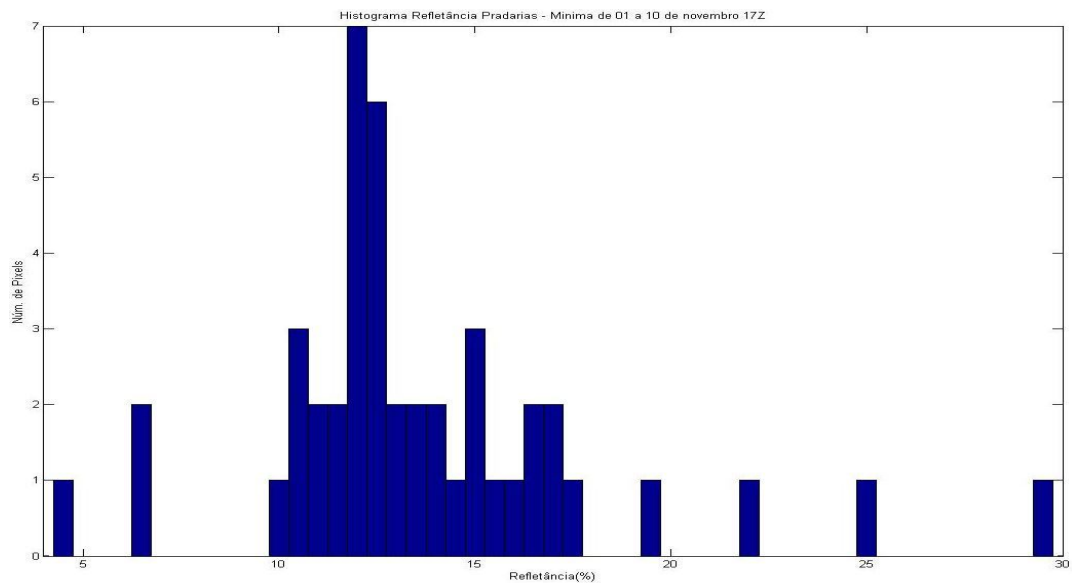


Figura 8 – Histograma Refletância Deserto – Mínima de 1 a 10 de novembro as 17Z

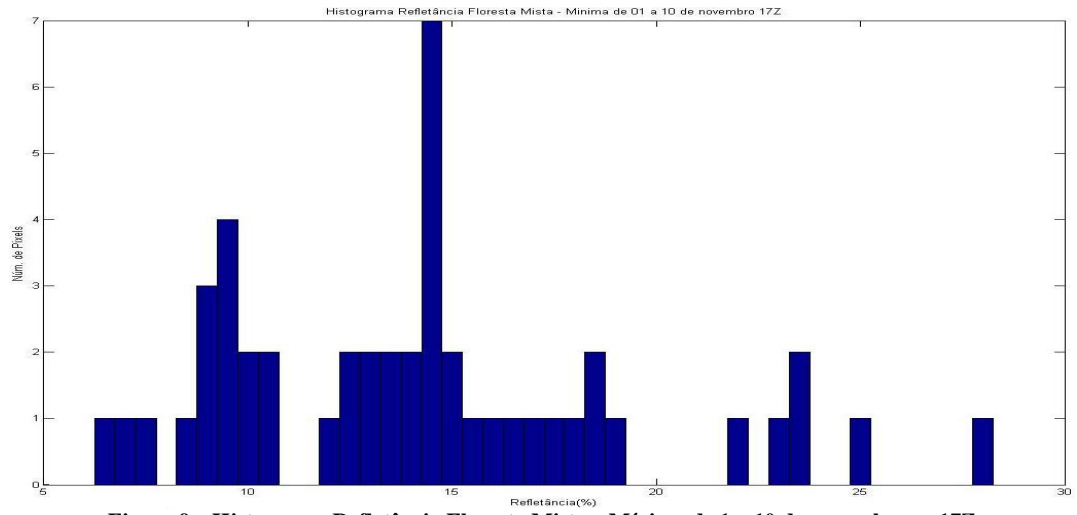


Figura 9 – Histograma Refletância Floresta Mista – Mínima de 1 a 10 de novembro as 17Z

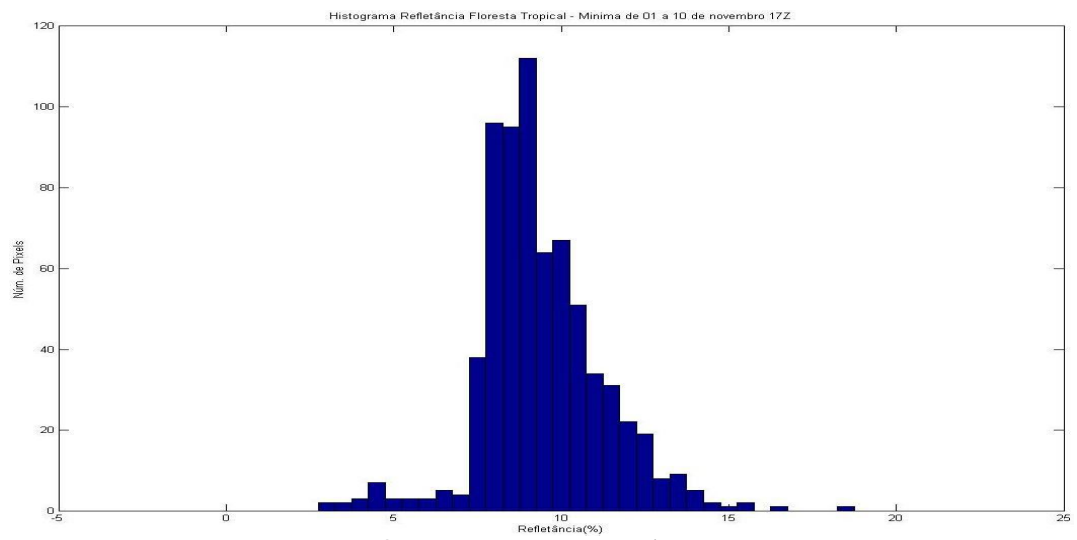


Figura 10 – Histograma Refletância Floresta Tropical – Mínima de 1 a 10 de novembro as 17Z

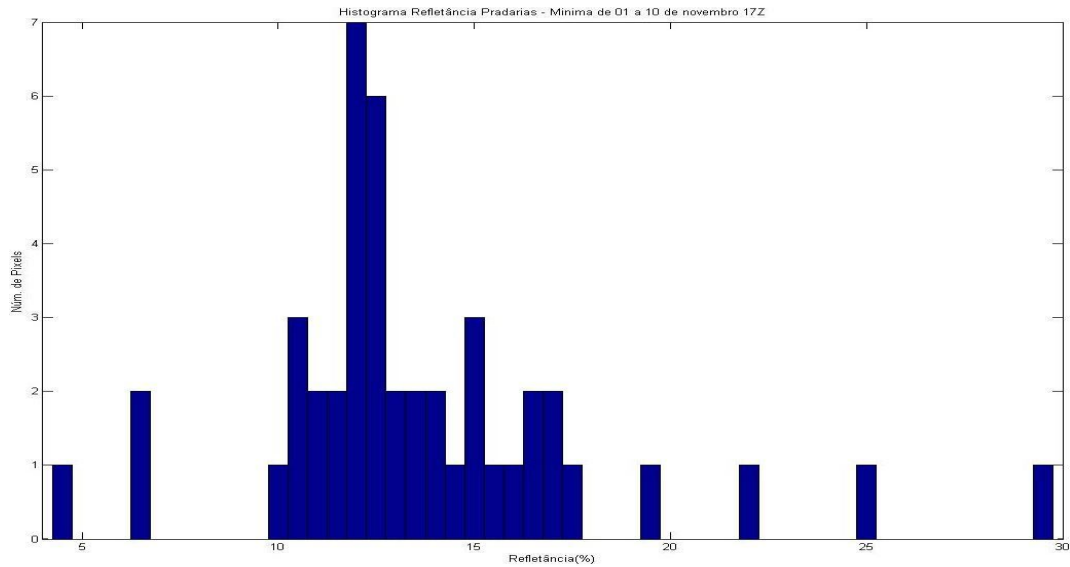


Figura 11 – Histograma Refletância Pradaria – Mínima de 1 a 10 de novembro as 17Z

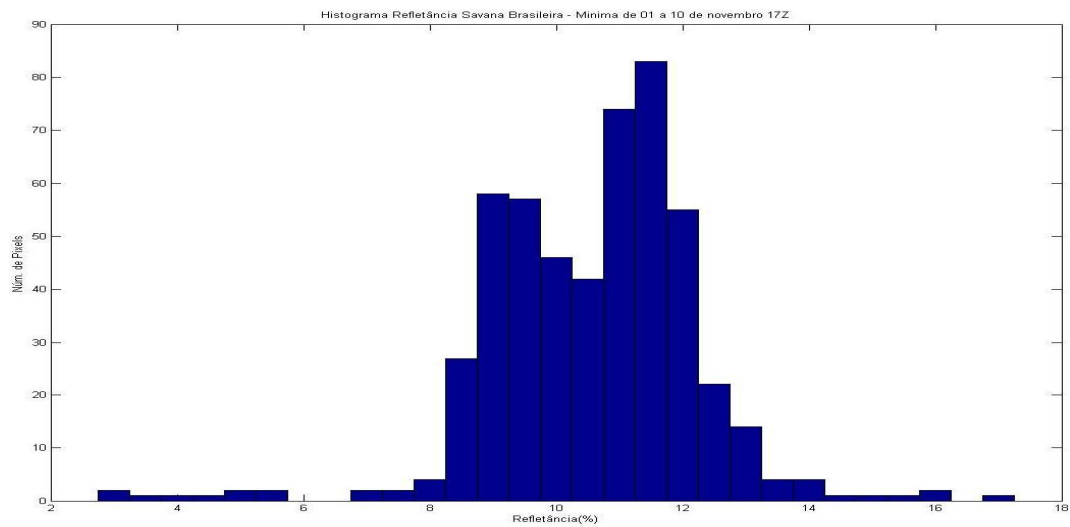


Figura 12 – Histograma Savana Brasileira – Mínima de 1 a 10 de novembro as 17Z

Alguns histogramas apresentaram formatos que tendem para um valor de refletância, enquanto outros tiveram valores mais espalhados. Isso pode ser explicado analisando cada bioma com mais cuidado.

De acordo com o mapa de biomas, observa-se a existência do bioma Caatinga em diferentes áreas da América do Sul. Construiu-se então histogramas para três regiões diferentes do bioma Caatinga: na Patagônia, norte da Argentina e nordeste do Brasil.

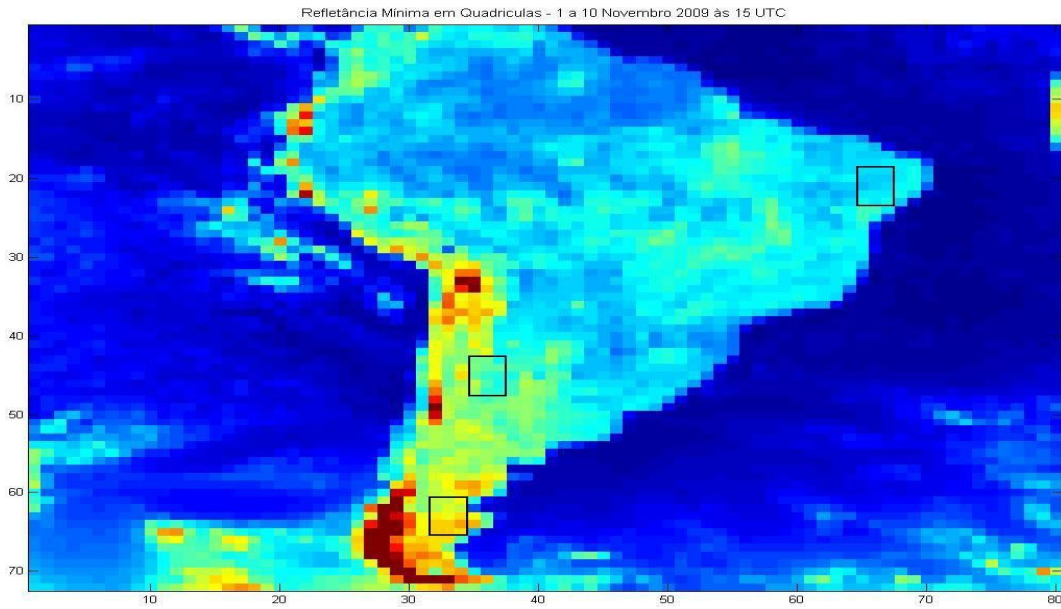


Figura 13 – Regiões da Caatinga

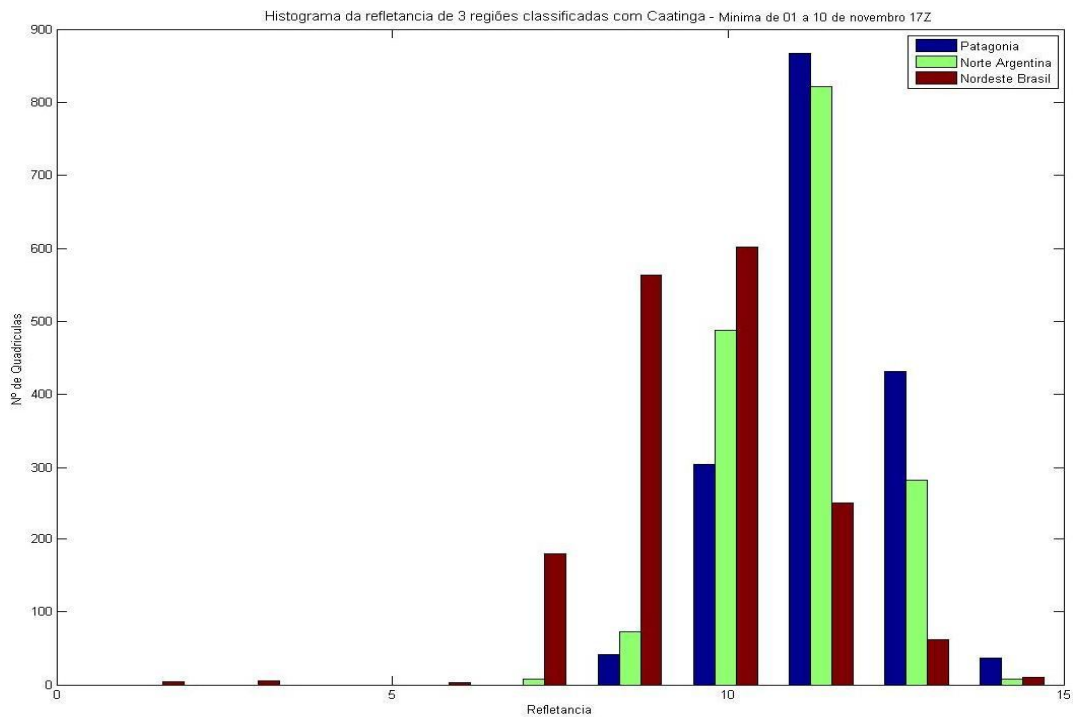


Figura 14 – Histograma Regiões da Caatinga – Mínima de 1 a 10 de novembro as 17Z

Nota-se que as diferentes regiões, do mesmo bioma, apresentam refletâncias características diferentes. Conclui-se com isso que a refletância do solo é afetada pelo bioma ali presente, mas também pela posição do local em relação ao sol.

A tabela abaixo compreende todos os resultados para o satélite GOES 10. Essa mesma análise foi feita para outros três meses igualmente espaçados no ano, demonstrando resultados para todas as estações do ano. Esses valores são para as 15Z, que se aproxima do meio dia solar na América do Sul.

Bioma	FEVEREIRO		MAIO	
	Refletância Média (%)	Desvio Padrão	Refletância Média (%)	Desvio Padrão
Caatinga (Nordeste Brasil)	14.38	± 4.37	14.08	± 4.38
Caatinga (Norte Argentina)	11,52	± 3.21	10.94	± 3.12
Savana Brasileira	10.28	± 1.79	9.60	± 1.60
Pradaria	14.57	± 5.49	17.84	± 6.42
Floresta Tropical	12.50	± 2.88	8.84	± 1.53
Floresta Mista	14.00	± 3.42	17.18	± 4.21
Deserto	19.40	± 3.24	18.19	± 6.66
Cultivo Agrícola	11.53	± 2.15	13.77	± 2.72

Bioma	AGOSTO		NOVEMBRO	
	Refletância Média (%)	Desvio Padrão	Refletância Média (%)	Desvio Padrão
Caatinga (Nordeste Brasil)	14.47	± 5.27	12.51	± 3.58
Caatinga (Norte Argentina)	11.32	± 4.77	10.42	± 2.96
Savana Brasileira	9.57	± 1.60	9.51	± 1.45
Pradaria	19.10	± 6.75	14.51	± 6.05
Floresta Tropical	8.00	± 2.00	8.90	± 1.51
Floresta Mista	22.85	± 8.00	17.29	± 7.38
Deserto	19.77	± 5.83	17.13	± 4.57
Cultivo Agrícola	14.08	± 2.76	10.61	± 1.74

Tabela 1 – Valores Refletâncias Biomas América do Sul

CAPÍTULO 4 - REFLETÂNCIA DE BIOMAS NA ÁFRICA

Como feito para a América do Sul, realizou-se uma análise inicial dos valores de refletância dos biomas existentes no continente. Para isso utilizou-se imagens dos canais 1, 2 e 3 do MSG2, no período de 1 a 10 de fevereiro de 2010. Os biomas africanos, retirados da distribuição de tipos de solo fornecida pelo Dr. Gilvan Sampaio, estão representados abaixo:

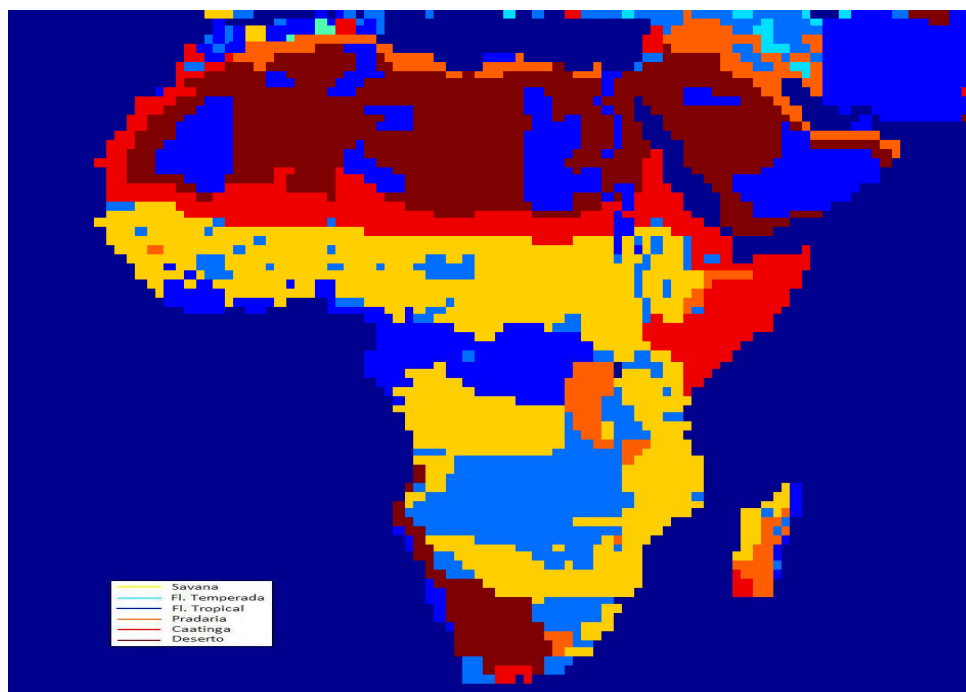


Figura 15 - Biomas da África

Foram coletados as refletâncias de todos os biomas para os três canais no visível do Met 9, e os resultados de fevereiro de 2010 às 12Z estão dispostos na tabela seguinte:

Bioma	Canal 1 Met 9		Canal 2 Met 9		Canal 3 Met 9	
	Refletância Média (%)	Desvio Padrão	Refletância Média (%)	Desvio Padrão	Refletância Média (%)	Desvio Padrão
Fl. Temperada	9.53	± 2.74	24.02	± 3.39	20.38	± 4.82
Fl. Tropical	8.34	± 1.86	22.49	± 2.18	17.12	± 2.23
Savana	7.56	± 1.20	20.77	± 2.46	16.61	± 1.96
Pradaria	7.36	± 2.13	24.62	± 4.39	16.19	± 3.25
Caatinga	18.57	± 4.31	25.42	± 5.07	35.34	± 7.28
Deserto	34.17	± 5.20	40.59	± 6.25	51.12	± 6.34

Tabela 2 – Valores Refletâncias Biomas África

Os canais 1, 2 e 3 do Meteosat 9 estão localizados, respectivamente, nos comprimentos de onda de 0.6, 0.8 e 1.6 micrometros. Esses canais, por estarem em comprimentos de onda diferentes, apresentam refletâncias diferentes para cada tipo de solo. O canal 2 caracteriza-se por apresentar maior brilho em vegetais, enquanto o canal 3 possui maior brilho quando em solo nu.

O conjunto dos três canais compreende o espectro solar; posteriormente, as refletâncias correspondentes podem ser utilizadas para ponderar o espectro todo e deduzir uma refletância global ou “albedo” do solo.

CAPÍTULO 5 - MAPAS DE REFLETÂNCIA MÍNIMA EM HORA SOLAR

Para analisar as refletâncias onde todos os pixels estão com o mesmo ângulo com o Sol foi proposta a criação de mapas de refletância mínima em função da hora solar. A construção dessa imagem usou como base 13 mapas de refletância mínima dos horários das 9 até 21 UTC, tanto para imagens do GOES10, quanto para imagens dos três canais do visível do MSG2.

O artifício utilizado para a identificação, dentro dos mapas de refletância em horário UTC, das regiões com a mesma hora solar foi a criação de uma carta de horas UTC base, ‘retalhando’ assim os mapas e unindo cada retalho em um mapa correspondente à sua hora solar. Essa carta é criada tanto para imagens geradas pelo GOES 10 quanto para imagens do MSG2.

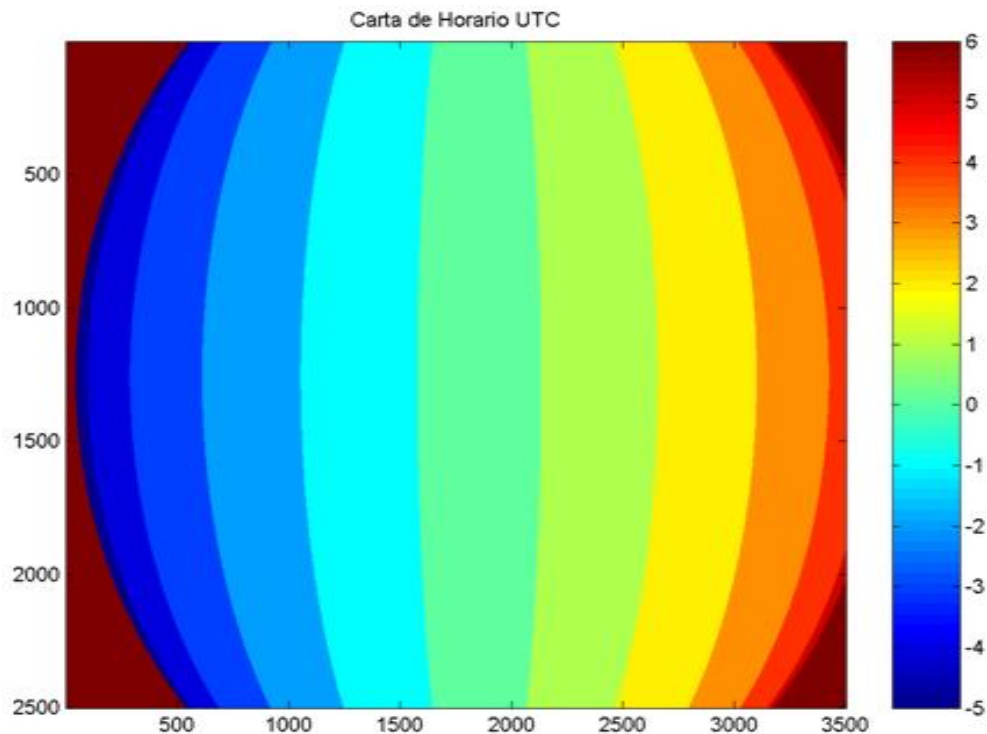


Figura 16 – Carta de UTC base para MSG2

A criação desses mapas pode ser feita para imagens em projeção de satélite e também para imagens em projeção regular. Abaixo estão apresentados exemplos de mapas em hora solar:

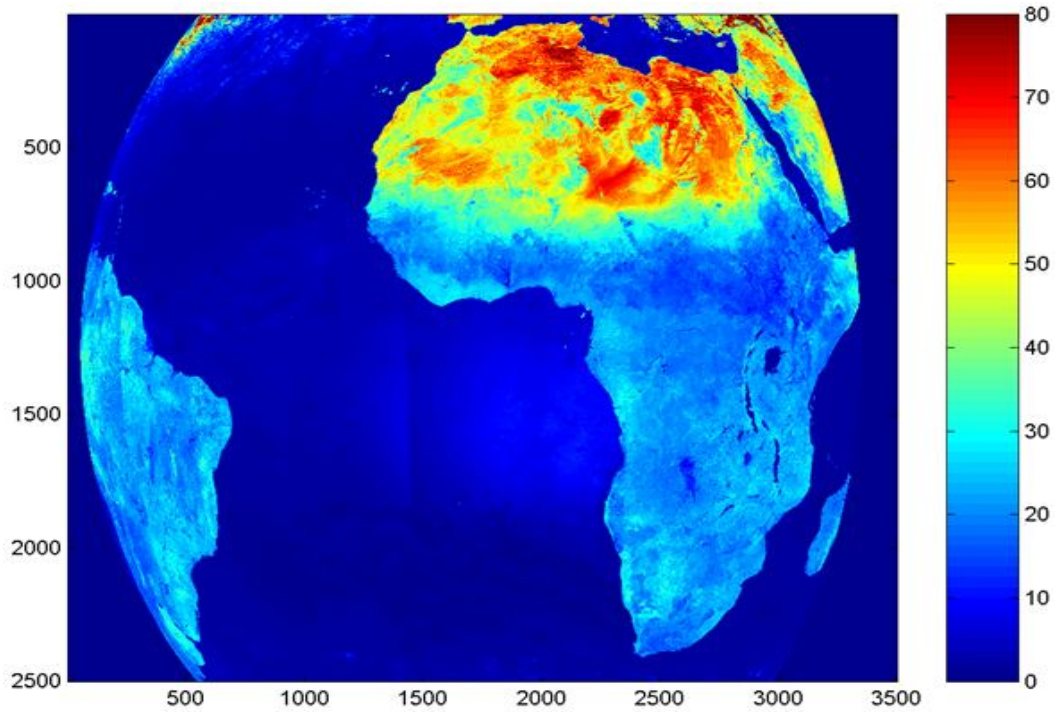


Figura 17 - Mapa refletância Ch1 MSG2 – Mínima de 1 a 10 Fevereiro 2010 - 11 Horas Solar

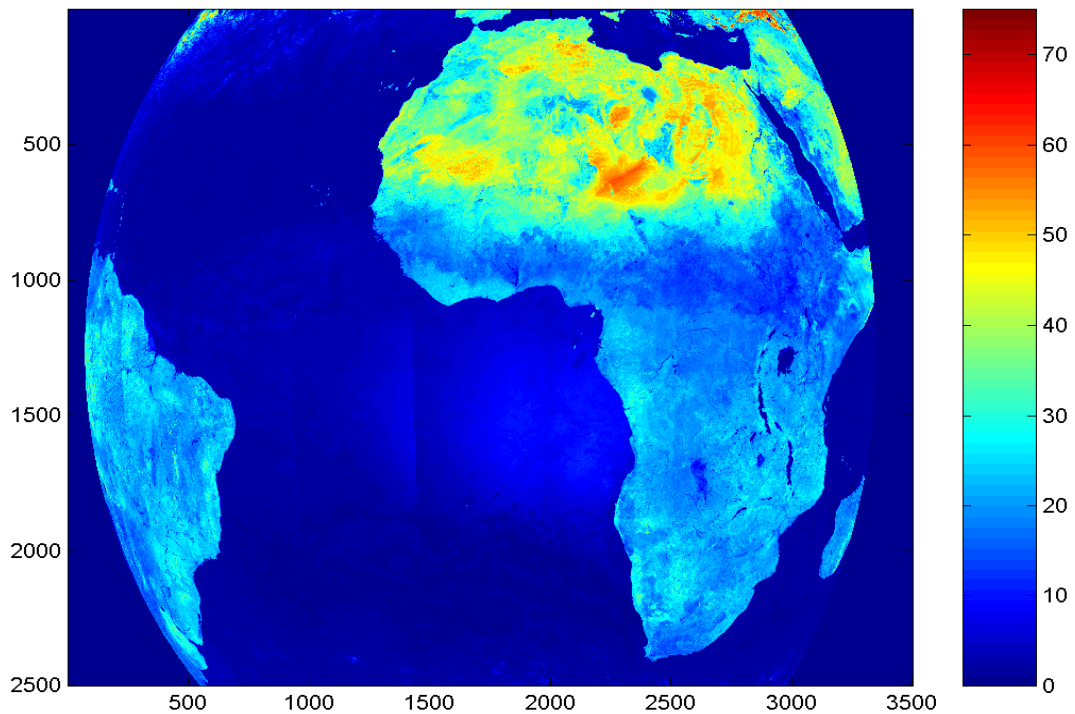


Figura 18 - Mapa refletância Ch2 MSG2 – Mínima de 1 a 10 Fevereiro 2010 - 11 Horas Solar

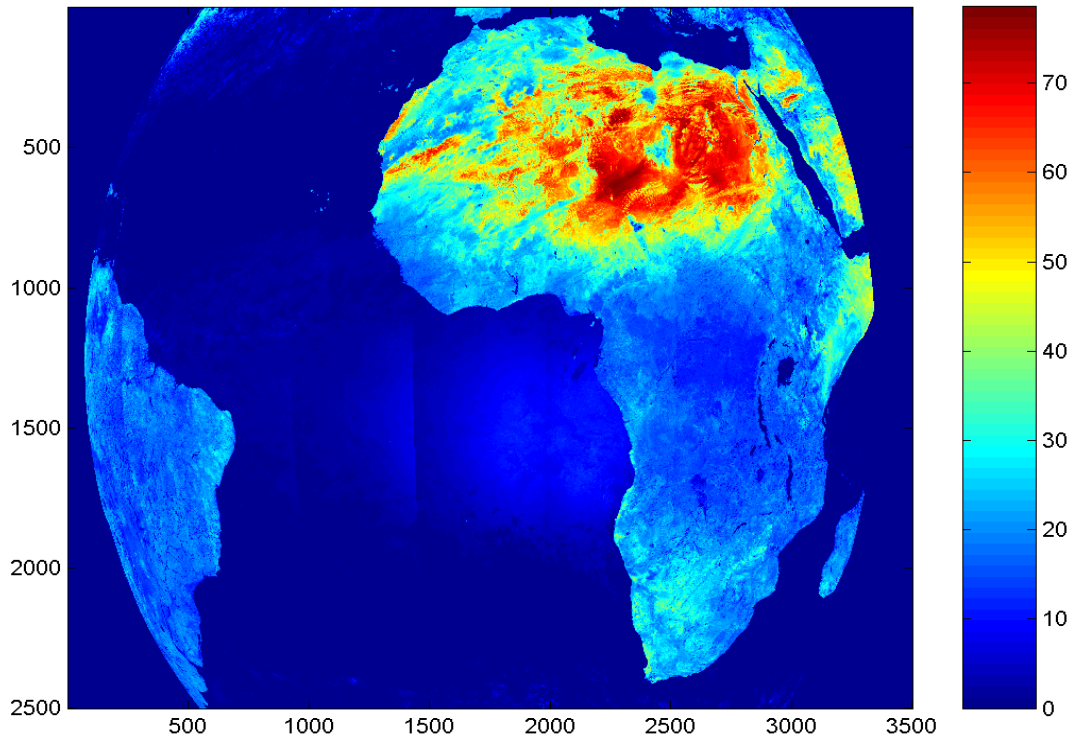


Figura 19 - Mapa refletância Ch3 MSG2 – Mínima de 1 a 10 Fevereiro 2010 - 11 Horas Solar

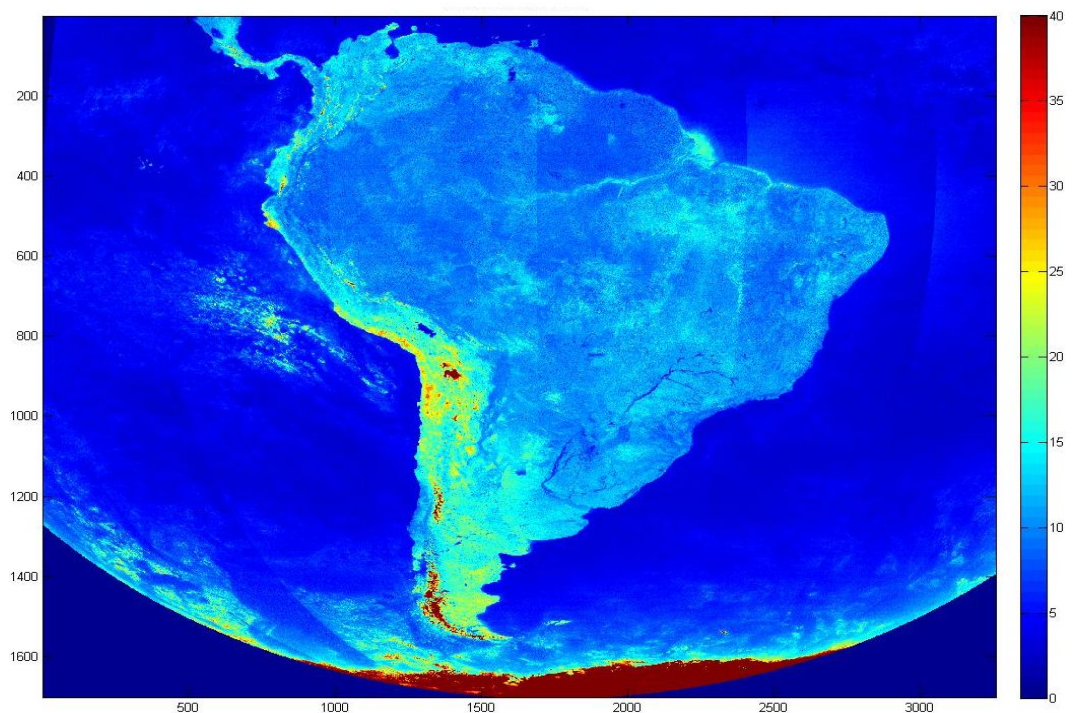


Figura 20 - Mapa refletância Ch1 GOES 10 – Mínima de 1 a 10 Fevereiro 2010 - 11 Horas Solar

Devido ao baixo número de horários, foi necessário fazer aproximações no cálculo do horário solar, e isso justifica os visíveis saltos do valor de refletância de um pixel para outro. Para analisar se isso causa um erro considerável, construiu-se

histogramas dos dois lados da divisão, para se comparar a refletância de ambos. Isso foi feito para as duas regiões que demonstraram maior mudança: sobre a Amazônia (figura 21) e no Sudeste brasileiro (figura 22), do mapa gerado para o canal 1 do satélite GOES 10.

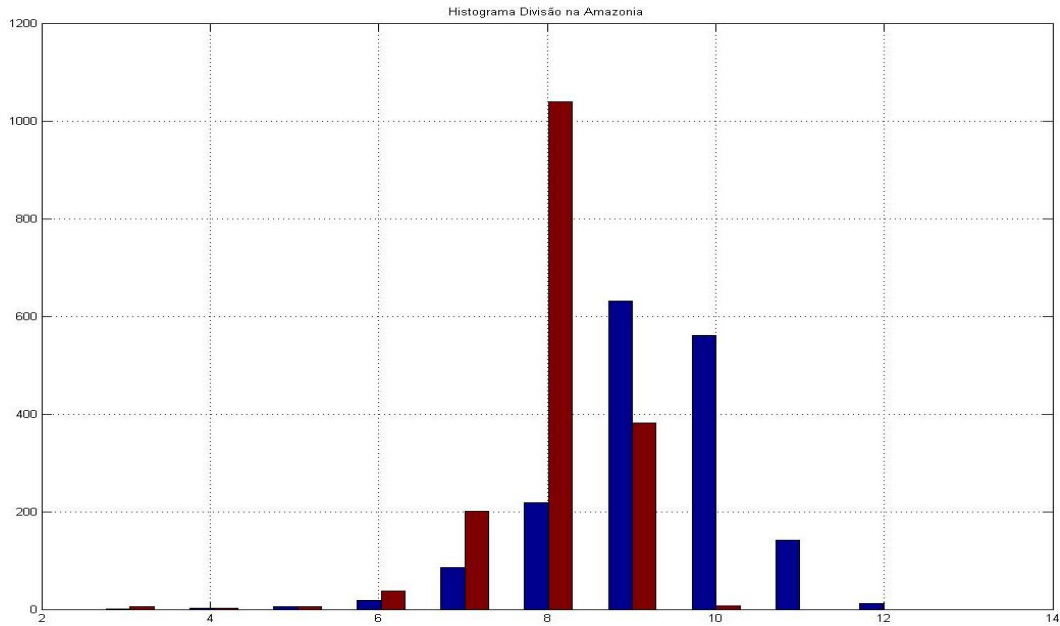


Figura 21 - Histograma Divisão Amazônia

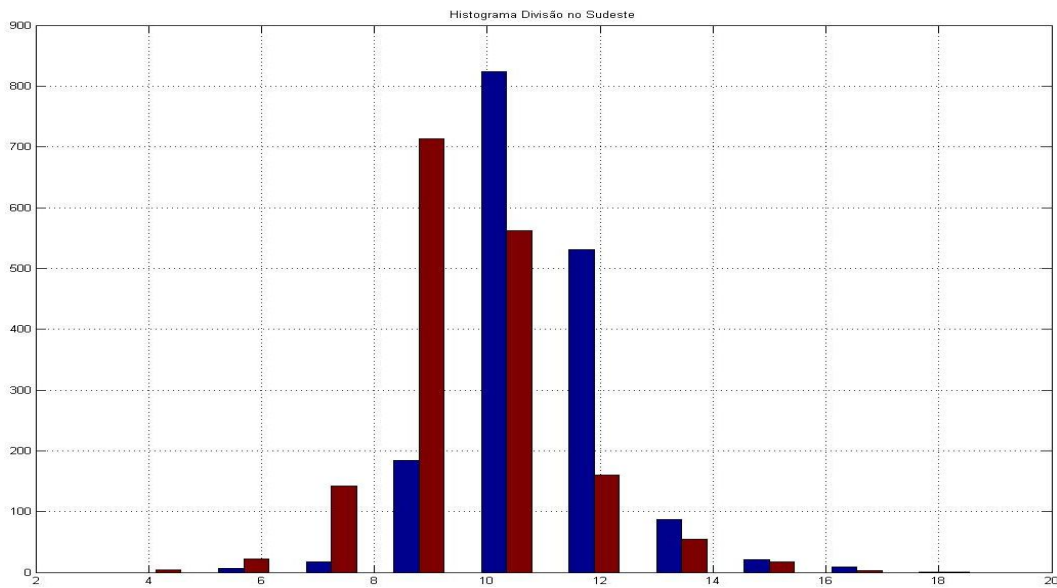


Figura 22 - Histograma Divisão Sudeste

Nota-se que a diferença das refletâncias está numa faixa entre 0.5 e 1%, que nos dá uma boa aproximação do valor real naquele horário.

CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DA REFLETÂNCIA DO SOLO NO MODELO GL

As equações no Capítulo 1 descrevem os algoritmos mais importantes usados pelo modelo GL para estimar radiação global por satélite. A radiação global é avaliada por $G_{vis} + G_{iv}$. A refletância mínima observada no canal 1 é adotada como estimador de R_{vis} (refletância do solo no visível). A nebulosidade C para uma cena com nebulosidade parcial (nuvens cúmulos) é estimada a partir do canal VIS com base na expressão

$$C = (R - R_{min}) / (R_{max} - R_{min}),$$

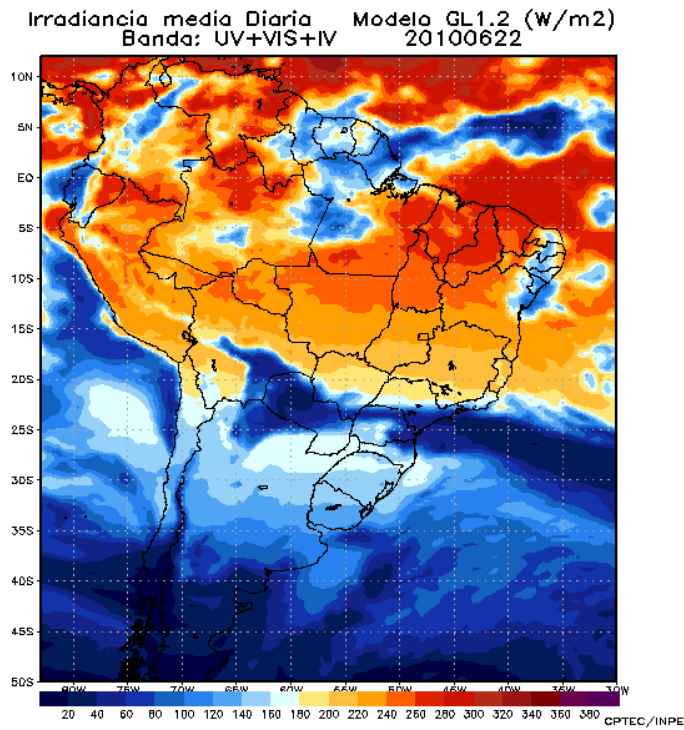
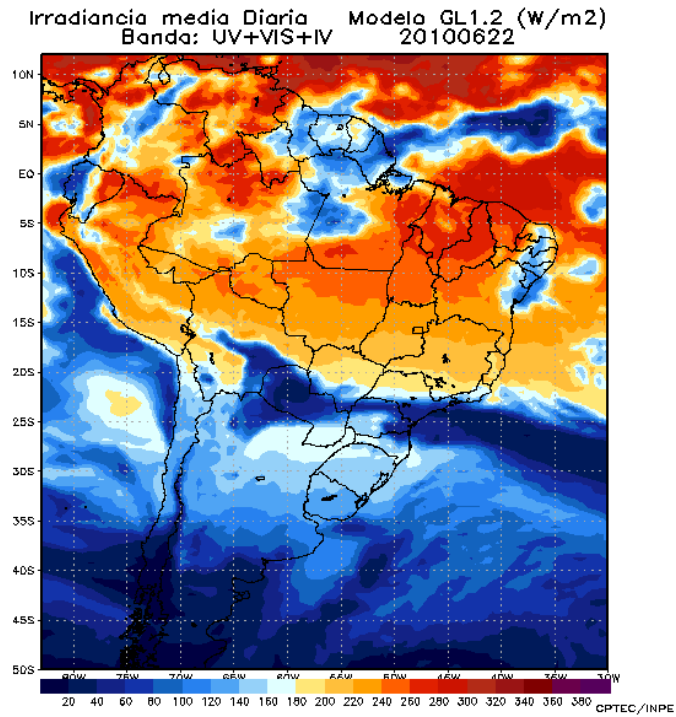
sendo R = refletância observada no pixel; R_{max} e R_{min} = valores extremos esperados. O valor $R_{max} = 0,465$ (Ceballos et al. 2004) foi encontrado como valor de transição entre uma cena com nuvens cúmulos e nuvens estratos (para as quais o céu está completamente nublado e a cobertura é $C = 1$). Na versão 1.2 do modelo GL, é adotado um valor típico $R_{min} = 0,09$ para todos os pixels. Este valor é razoável para vegetação genérica, um pouco elevado para uma cena marítima, e muito baixo para superfícies como neve, salineira ou deserto. Nestas últimas superfícies, adotar um valor $R_{min} = 0,09$ implica em avaliar como parcialmente nublado o local ($C > 1$), mesmo se estiver com céu claro.

As figuras 23 mostram os resultados obtidos na DSA para imagens GOES 12 do dia 22 de junho de 2010, usando a versão GL1.2 (figura superior) e versão GL1.4 (inferior; observação: no título, foi erradamente indicado como GL1.2). Comparando com a figura 20, percebe-se que na região brasileira em geral e oceânica em geral não deverá ser esperada uma diferença notável dos valores de G . Já no sudoeste da Bolívia, o Salar de Uyuni (superfície brilhante de pelo menos 100x100 km) aparece como nublada no GL1.2 (menor valor de G), enquanto que a versão GL1.4 atribui irradiação semelhante sobre o salar e fora dele, de forma que sua presença na distribuição espacial de G é apenas notada. (¹)

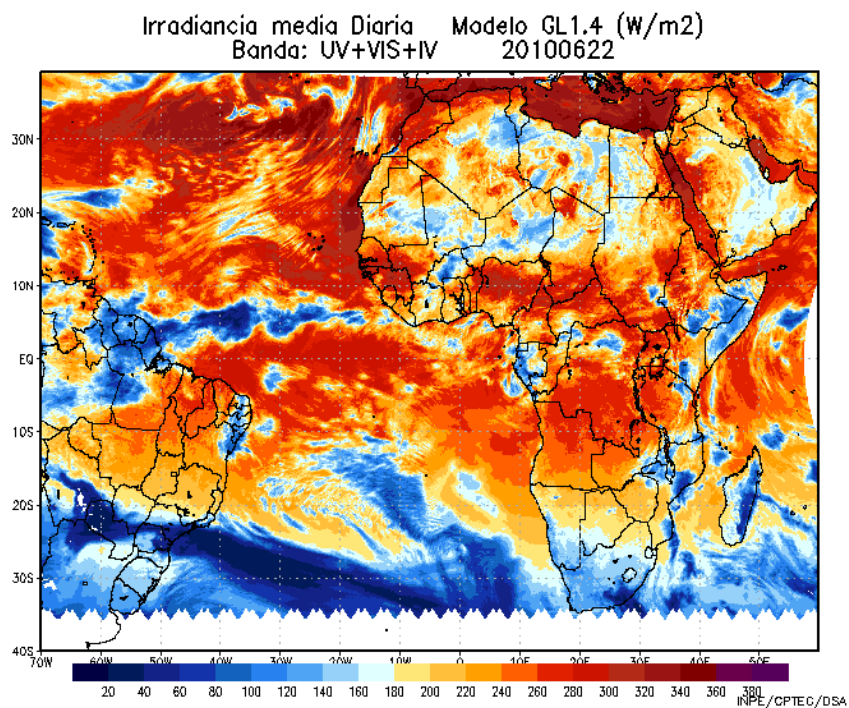
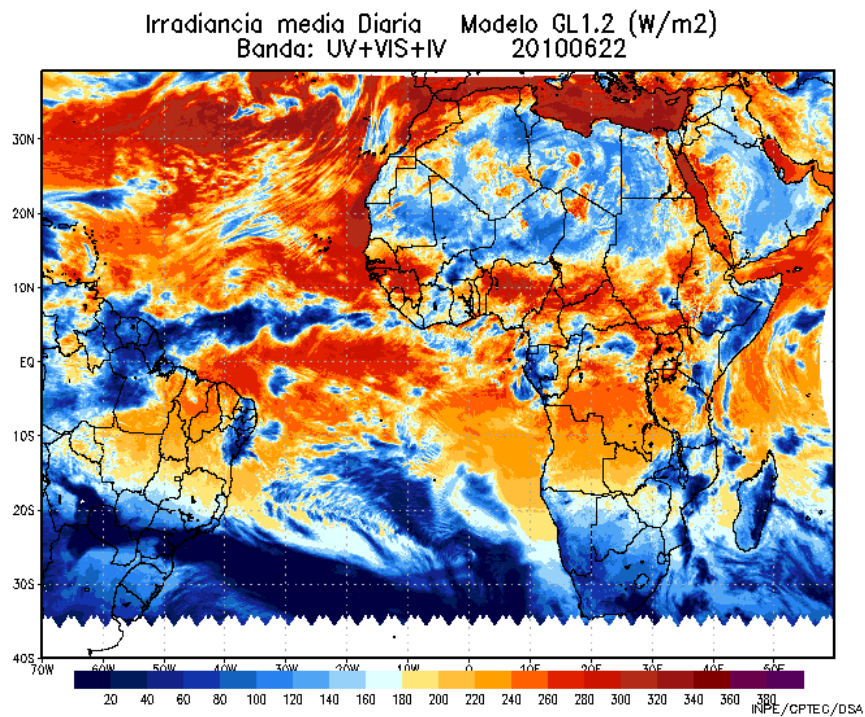
As figuras 24 ilustram o impacto que uma refletância R_{min} adequada pode ter na presença de extensas regiões brilhantes (como o deserto do Sahara, no norte da África, ou a Arábia). Nessa área extensa, a refletância no visível pode atingir $R_{min} \sim 50\%$, de forma que a estimativa de nebulosidade é bem menor e a radiação solar estimada maior do que no GL1.2. A figura 25 quantifica o impacto para o dia considerado, apresentando a diferença entre os dois modelos. Observa-se que em regiões com R_{min} naturalmente baixo, o GL fornece resultados semelhantes (diferenças entre 0 e +20 $W.m^{-2}$) enquanto que a diferença em regiões desérticas pode ser da ordem de +40 a +50 $W.m^{-2}$, ou seja, em torno de 20% da irradiação diária.

Estudos sistemáticos desta influência, e determinações de R_{min} mais acuradas (livres de nuvens) estão em andamento.

¹ Os campos de GL1.2 e GL1.4 foram obtidos pelo Sr. Marcos Lima Rodrigues, a cargo da operação do modelo. Deve ser anotado que o GL1.4 está em fase de implantação, e inclui não apenas a consideração de campos realista de R_{min} , como também de água precipitável deduzida do modelo de previsão de tempo do CPTEC. Esta variável não é homogênea espacialmente e temporalmente, e tem influência na absorção de radiação pela atmosfera.



Figuras 23. Distribuição de radiação solar média diária (em W.m-2) obtida para imagens GOES 12 pelo modelo GL1.2 (superior) e GL1.4 (inferior). Dia 22 de junho de 2010



Figuras 24. Distribuição de radiação solar média diária (em W.m-2) obtida para imagens MSG2 pelo modelo GL1.2 (superior) e GL1.4 (inferior). Dia 22 de junho de 2010

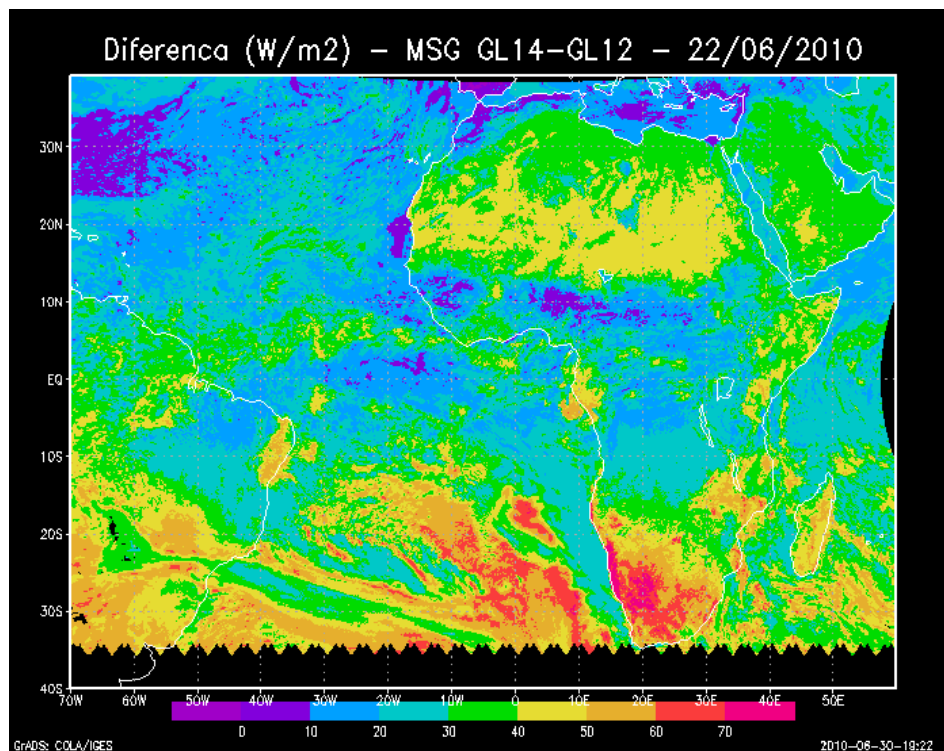


Figura 25. Diferença entre os campos GL1.4 e GL1.2 obtidos para imagens MSG2.

CONCLUSÕES

Após todas as atividades desenvolvidas neste ano de trabalho, tornou-se claro que a refletância do solo não possui um valor constante por toda a distribuição do globo. Notou-se que essa refletância possui valor variável durante o dia, o que é explicado pelo ângulo formado pelo sol e o solo, criando distribuições de refletância diferentes para diferentes horas zenitais.

E a análise da influência do solo no cálculo da radiação solar, que é o objetivo principal desse trabalho, mostrou que cada tipo de solo possui uma refletância característica, algumas vezes de uma grandeza muito diferente de um solo para o outro.

Portanto, o valor constante de refletância para o solo (R_{svi}) usado no modelo GL1.2 não apresenta uma grande precisão, e pode induzir erros de 20% na estimativa de radiação solar. A construção de cartas de refletância de solo (características de cada estação do ano) resulta um aporte de valor considerável na estimativa da radiação solar por satélite.

A contribuição deste trabalho é preliminar. Séries extensas de imagens devem ser processadas para obter-se campos sazonais de refletância com melhor mascaramento de nuvens. Ainda, a informação fornecida pelos canais 2 e 3 do SEVIRI-MSG serão de utilidade para avaliar o parâmetro Riv (refletância no infravermelho) também presente no modelo GL.

Agradecimentos. O presente trabalho foi realizado através de bolsa de iniciação científica PIBIC/INPE. Ela é também contribui para os resultados do projeto CNPq Milênio 484862/07-3 “Estimativa do saldo de radiação à superfície mediante satélite: modelagem e validação”, coord. Dr. Juan C. Ceballos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIANELLO, R. B.; ALVES, A. R. Meteorologia Básica e Aplicações - Universidade Federal de Viçosa, 1991.

CEBALLOS, J. C.; OLIVEIRA, L. M. Uma calibração preliminar do canal VIS do sensor GOES 10 Imager. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. (SBSR) - Natal RN, 2009.

McCARTNEY, E. J. Optics of the Atmosphere - Scattering by Molecules and Particles. John Wiley & Sons, 1976.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. Atmospheric Science - An Introductory Survey. Academic Press (New York), 1977.

CEBALLOS, J. C.; BOTTINO, M. J.; SOUZA J. M. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery. Journal of Geophysical Research, VOL. 109, D02211, doi:10.1029/2003JD003531, 2004.

KAUFMAN Y. J.; KLEIDMAN R. G.; HALL D. K. Remote sensing of subpixel snow cover using 0.66 and 2.1 μm channels. Geophysical Research Letters, VOL. 29, NO. 16, 10.1029/2001GL013580, 2002.

DORMAN J. L.; SELLERS P. J. A Global Climatology of Albedo, Roughness Length and Stomatal Resistance for Atmospheric General Circulation Models as Represented by the Simple Biosphere Model (SiB). Maryland, 1989.

JALÓN J. G.; RODRIGUES J. I.; BRAZÁLEZ A. Aprenda Matlab 6.1 como si estuviera em primero. Madrid, 2001.