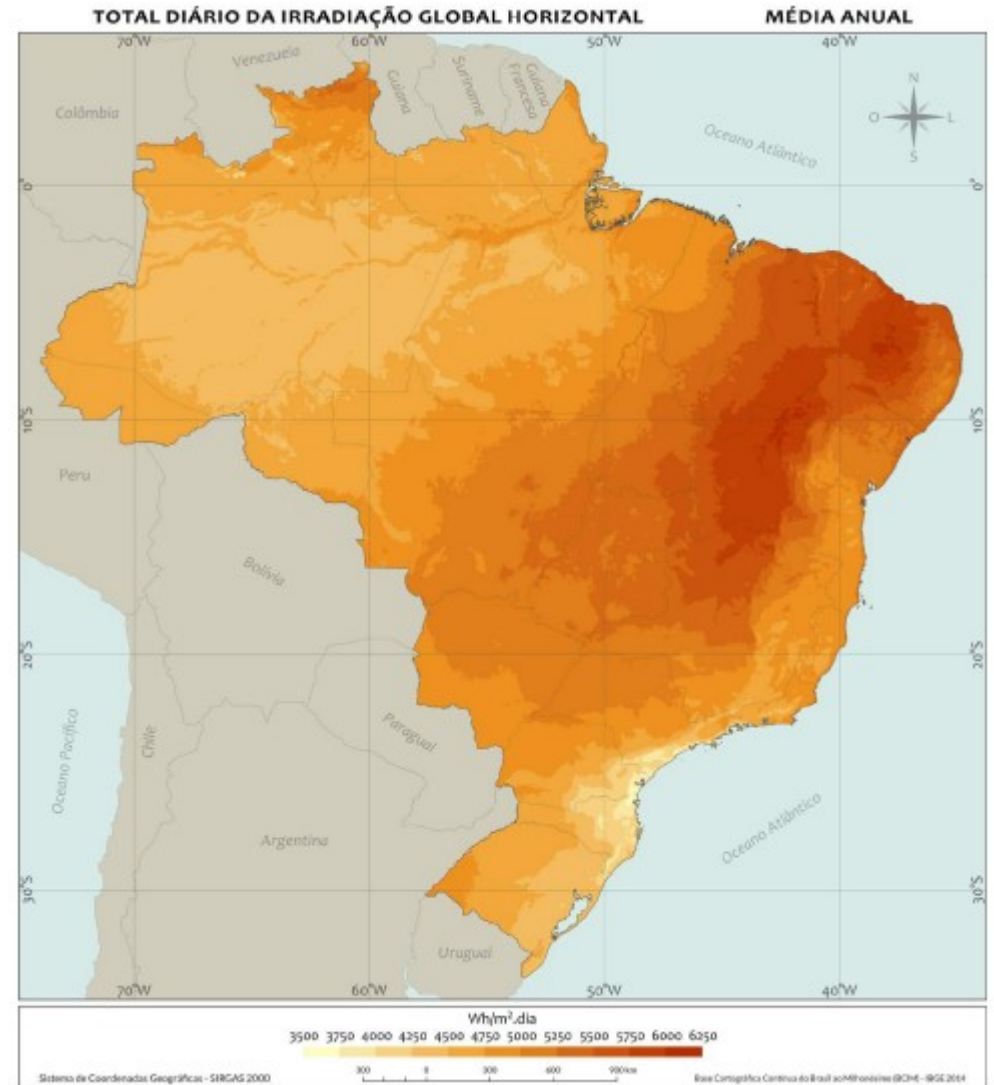


BRASIL-SR

Modelo de
transferência radiativa

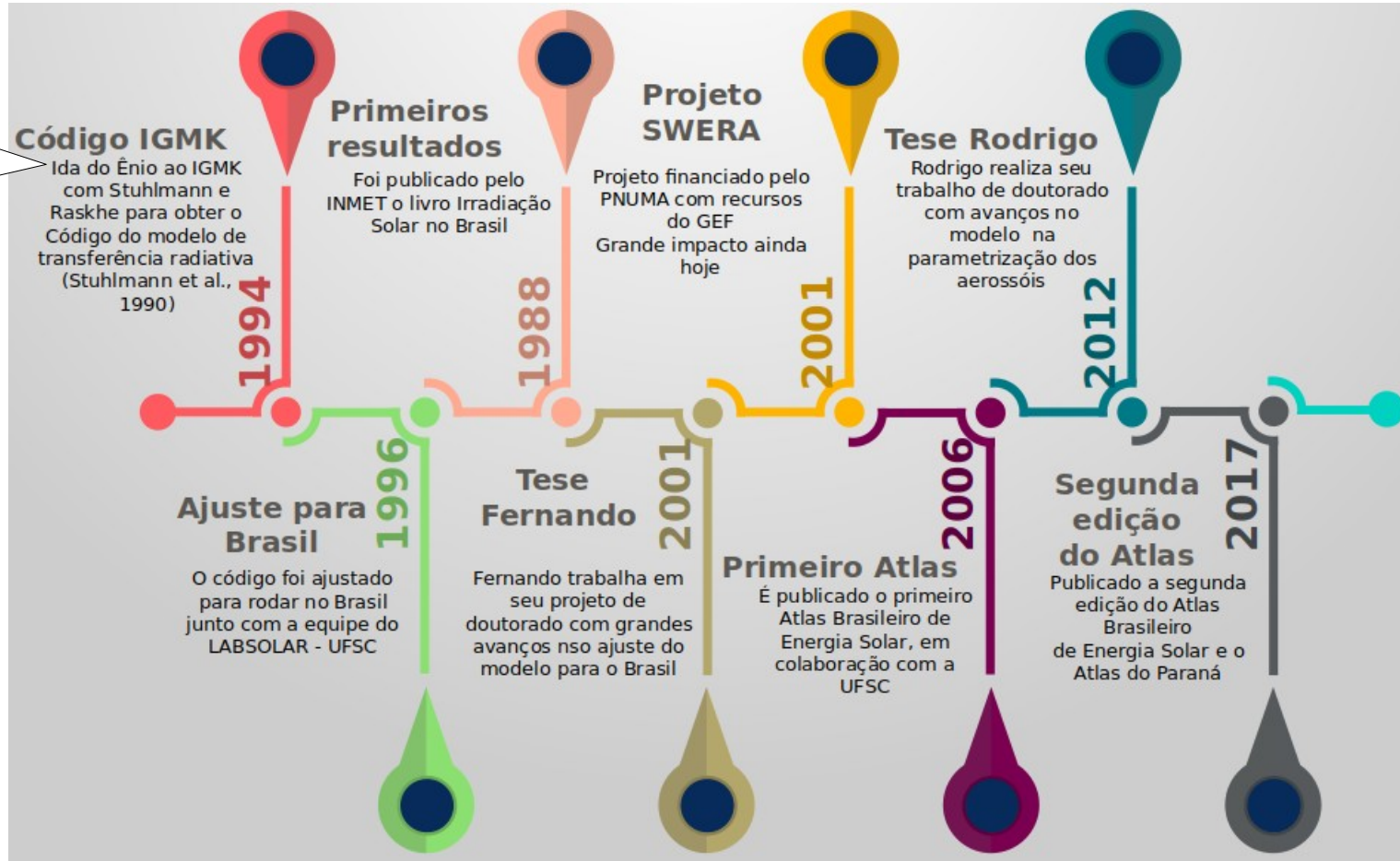


Institucional

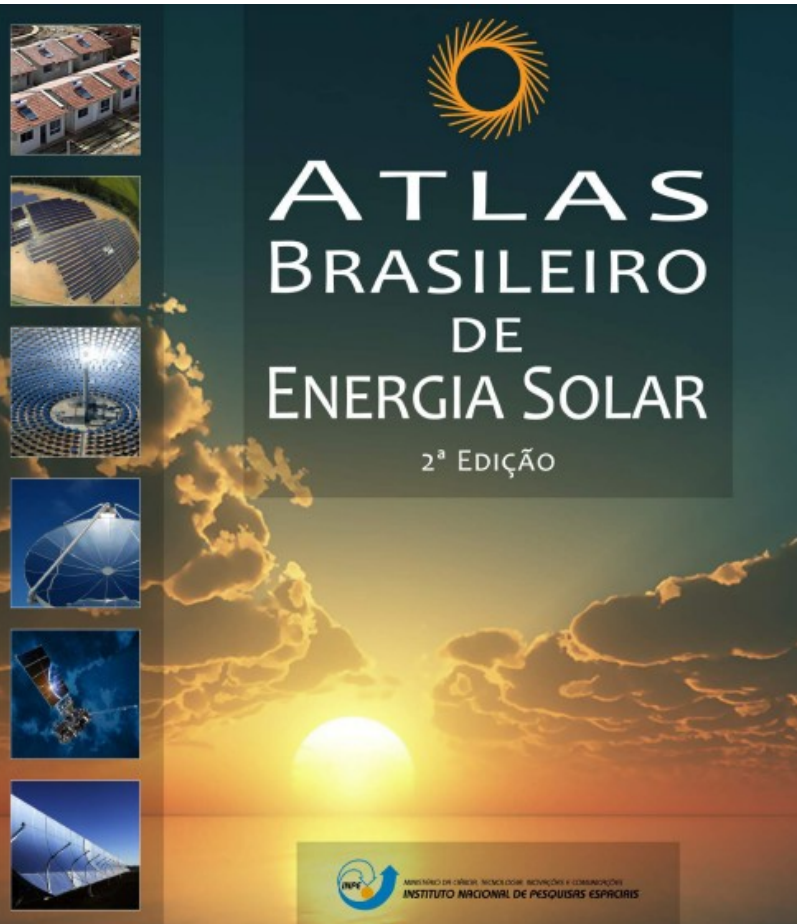
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)
- CCST (Centro de Ciências do Sistema Terrestre) → DIIAV (Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade) da CGCT (Coordenação Geral de Ciências da Terra): formulação de cenários para um desenvolvimento nacional sustentável, fortemente embasados em redes de monitoramento de dados ambientais e modelagem do Sistema Terrestre
- LABREN (Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia): atividades de pesquisa e ensino na área de meteorologia aplicada ao setor de energia, com ênfase nas relações entre energias e sistema climático, através do emprego de dados de satélite, de atividades de modelagem computacional e de dados observacionais em campo (rede SONDA - estações solarimétricas e dados meteorológicos complementares)

Atlas Brasileiro de Energia Solar

Institut für
Geophysik
Meteorologie
– Universität
zu Köln



Atlas Brasileiro de Energia Solar



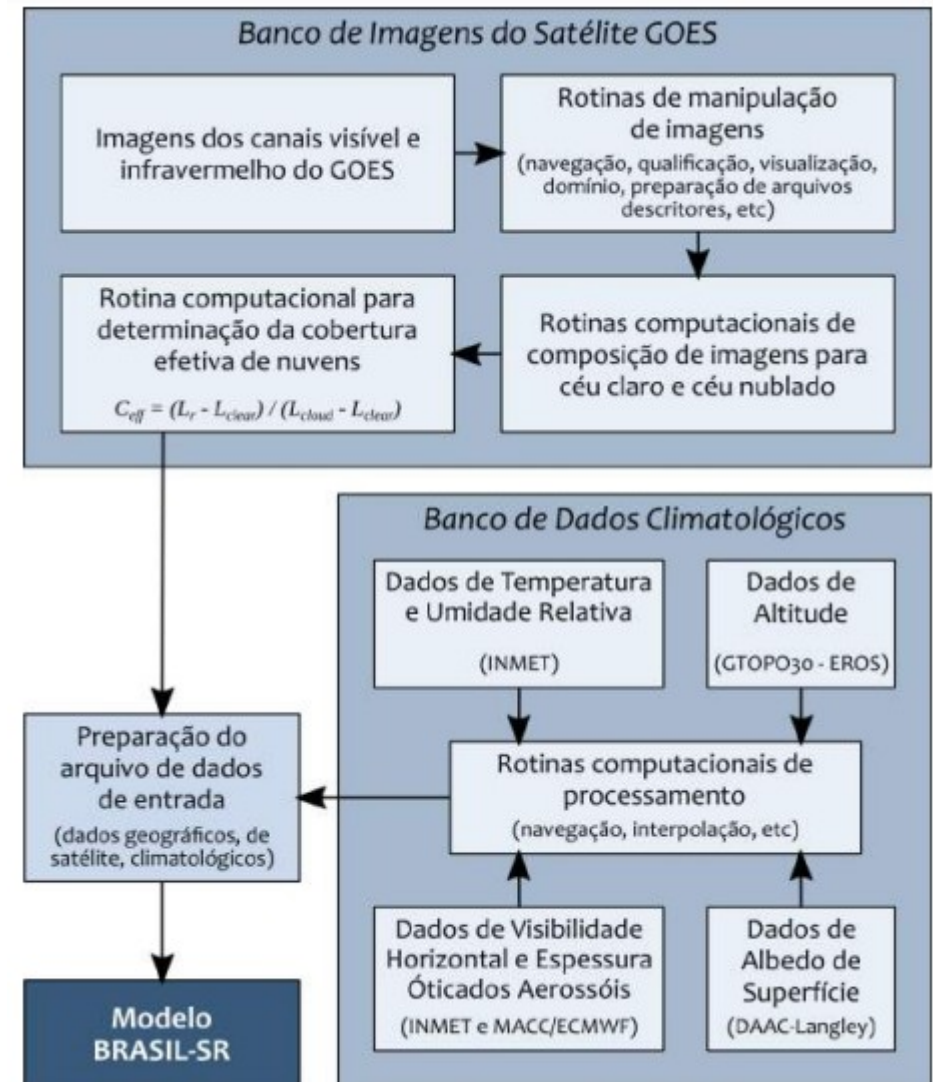
PREFÁCIO	8	10 VARIABILIDADE INTERANUAL E TENDÊNCIAS	46
1 INTRODUÇÃO	9	VARIABILIDADE INTERANUAL DA IRRADIAÇÃO SOLAR	46
2 CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL	11	TENDÊNCIAS REGIONAIS	47
3 PANORAMA ELÉTRICO NACIONAL	13	11 CENÁRIOS E APLICAÇÕES DE ENERGIA SOLAR	52
4 CONCEITOS BÁSICOS	15	POTENCIAL SOLAR TÉRMICO	52
5 METEOROLOGIA DA ENERGIA	20	Aquecimento solar para uso doméstico	52
6 INSTRUMENTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS	24	Geração de energia elétrica heliotérmica	55
SENSORES	24	Outras aplicações da energia solar térmica	56
Piranômetro de termopilha	24	POTENCIAL FOTOVOLTAICO	57
Piranômetro de fotodiodo	25	Geração solar fotovoltaica centralizada	58
Pirheliômetro	25	Geração solar fotovoltaica distribuída	58
Sistemas de sombreamento	25	Potencial e perspectivas da geração fotovoltaica distribuída (GD)	58
Estação solarimétrica	26	Potencial e perspectivas da geração fotovoltaica centralizada de grande porte	62
BASE DE DADOS OBSERVADOS	27	Perspectivas com os veículos elétricos e as redes inteligentes (smart grids)	63
Rede SONDA	27	12 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
Estações meteorológicas automáticas do INMET	29	REFERÊNCIAS	69
7 METODOLOGIA	30	ACRÔNIMOS E ABREVIACÕES	75
MODELO BRASIL-SR	30	FIGURAS	77
VALIDAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DO MODELO BRASIL-SR	33	TABELAS	80
8 MAPAS DE IRRADIAÇÃO	35		
9 VALIDAÇÃO DO MODELO BRASIL-SR	42		
VALIDAÇÃO DA IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL	42		
VALIDAÇÃO DA IRRADIAÇÃO DIRETA NORMAL	43		

BRASIL-SR

- Modelo físico computacional que estima a irradiação solar descendente na superfície pela interpolação entre condições claras e nubladas usando o parâmetro de índice efetivo de cobertura de nuvens, obtido a partir de imagens visíveis de satélite
- Cobertura de nuvens é considerada o principal fator de modulação da transmitância atmosférica
- As demais propriedades óticas são parametrizadas a partir das variáveis meteorológicas de temperatura na superfície, umidade relativa do ar, visibilidade atmosférica e albedo de superfície

Dados de entrada

- longitude;
- latitude;
- altitude;
- temperatura de superfície;
- umidade relativa;
- vapor de água precipitável total;
- ozônio total na coluna;
- AOD em 550 nm;
- expoente de Ångström;
- classificação do bioma;
- parâmetros do kernel das funções de distribuição de reflexão bidirecional (BRDF) do Espectroradiômetro de imagem de resolução moderada (MODIS).



Fluxo de radiação solar incidente em superfície

$$G = G_0 \{(\tau_{clear} - \tau_{cloud}) \cdot (1 - C_{eff}) + \tau_{cloud}\}$$

Radiação incidente no topo da atmosfera (W/m^2)

Transmitância de céu claro

Transmitância de céu totalmente encoberto:

- microfísica definida pela distribuição de tamanhos de gotículas do tipo de nuvem;
- nuvens atenuam totalmente radiação direta do Sol em condições de céu encoberto
- nuvens são homogêneas (vertical e horizontal)

Coeficiente efetivo de cobertura de nuvens

Radiância visível medida pelo satélite

$$C_{eff} = \frac{L - L_{clr}}{L_{cld} - L_{clr}}$$

Radiância de céu encoberto

Radiância de céu claro

(estatística para período de 30 dias)

C_{eff} : atenuação do feixe de radiação incidente na direção do Sol no pixel

Parametrização, usuário escolhe (1 tipo, stratus, mais frequente p/ BR → testes de sensibilidade deram pouca mudança no BIAS e RMSE)

Premissas

- Modelo assume que o fluxo de radiação solar medido pelo satélite no topo da atmosfera está linearmente distribuído entre duas condições de atmosfera: céu claro e céu completamente encoberto de nuvens
- Modelo espectral (135 intervalos de comprimento de onda) e 30 camadas atmosféricas
- Método de “dois fluxos” (transmitâncias): equação geral de propagação pode ser reduzida a um par de equações diferenciais, cuja solução resulta em um par de irradiâncias (uma ascendente e outra descendente) em uma atmosfera estratificada
- A parcela da radiação difusa é estimada considerando-se o efeito das múltiplas reflexões entre as diversas camadas atmosféricas
- Processos radiativos simulados: nuvens, espalhamento Rayleigh devido aos gases atmosféricos, absorção por gases atmosféricos (O_3 , CO_2 e vapor d'água) e espalhamento Mie devido aos aerossóis

Souza, Silva &
Ceballos (2008)
<https://doi.org/10.1590/S0102-261X2008000100003>

Aerossóis

- Parametrização da espessura ótica de aerossóis em cada camada atmosférica a partir de um perfil continental de aerossóis (McClatchey et al., 1972) → perfil vertical de aerossóis, nos primeiros 5 km de altura, está associado a valores de visibilidade horizontal observados em estações meteorológicas operadas pelo INMET e em função de dados de espessura ótica dos aerossóis em 550 μm oriundos de reanálises do MACC/ECMWF (Costa, 2012)
- Parametrização de absorção e espalhamento da radiação solar por aerossóis baseada em Angström (1964), sendo o coeficiente de turbidez de Angström estimado a partir de valores de visibilidade horizontal da atmosfera

Modelo BRASIL-SR

Leitura do Arquivo de Entrada

(posição geográfica, data inicial e final, altitude, temperatura, albedo de superfície, umidade relativa e coeficiente de cobertura de nuvens)

Determinação da visibilidade

(conforme o mês e a latitude)

Determinação de água precipitável

(Leckner, 1978)

Correção da visibilidade

(quando altitude acima do nível do mar)

Seleção das propriedades das nuvens

(número de camadas, distribuição de tamanho de gotículas, pressão no topo da nuvem)

Seleção do intervalo espectral da radiação solar

Determinação de propriedades do Sol

(declinação, equação do tempo, hora do nascer, ângulo zênital, ângulo horário, radiação incidente no TOA no horário da imagem de satélite)

Seleção do tipo de atmosfera

Determinação dos perfis atmosféricos

(O_3 , CO_2 , vapor d'água, espalhamento Rayleigh, temperatura, pressão e largura das camadas)

Cálculo das propriedades ópticas das nuvens

(espessura óptica, número da camada do topo da nuvem, conteúdo de água)

Cálculo das propriedades ópticas em cada camada atmosférica

(absorção, espalhamento e extinção)

Determinação dos aerossóis

(McClatchey, 1976)
(Costa, 2012)

Cálculo da transmitância espectral em condição de céu claro

τ_{clear}

(aproximação de "dois-fluxos")

Cálculo da transmitância espectral em condição de céu nublado

τ_{cloud}

(aproximação de "dois-fluxos")

Estimativas de Irradiação na Superfície:

**Global Horizontal (H), Direta Normal (H_n)
Difusa (H_{dif}) e Plano Inclinado na Latitude (H_i)**