



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL SOLAR DO SUL DO BRASIL

RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/INPE – CNPq/MCT

PROCESSO N° 105408/2005-0

Marcus Guedes (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT)

E-mail: guedes@lacesm.ufsm.br

Dr. Fernando Ramos Martins (DMA/CPTEC/INPE - MCT, Orientador)

E-mail: fernando@dge.inpe.br

Dr Nelson Jorge Schuch (CRSPE/INPE – MCT, Co-Orientador)

E-mail: nelson@lacesm.ufsm.br

Santa Maria, Julho de 2006.



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

- Bolsista:** Marcus Guedes
Acadêmico do Curso de Meteorologia e Engenharia Elétrica
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria –
LCESM/CT - UFSM
- Processo:** PIBIC/INPE – MCT - 105408/2005-0
- Orientador:** Dr. Fernando Ramos Martins
Pesquisador da Divisão de Clima e Meio Ambiente –
DMA/CPTEC/INPE – MCT
Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos –
CPTEC/INPE - MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT
- Co-Orientador:** Dr. Nelson Jorge Schuch
Pesquisador Titular do Centro Regional Sul de Pesquisas
Espaciais – CRSPE/INPE – MCT
- Colaboradores:**
- Dr. Enio Bueno Pereira
Pesquisador Titular, Chefe da DMA/CPTEC/INPE – MCT, Líder da
linha de pesquisa Energia e Recursos Renováveis
- Engenheiro Silvyo Mantelli – LABSOLAR/UFSC
Engenheiro MsC. Ricardo A. Guarnieri – DMA/CPTEC/INPE – MCT
Marcelo Pizzuti Pés – Estagiário CRSPE/INPE – MCT e Graduando de
Física na UFSM
Rafael Feterman Bertagnoli – Bolsista PIBIC/INPE e Graduando de
Engenharia Elétrica da UFSM



Daniel Fiorin - Bolsista PRAE/UFSM e Graduando de Engenharia
Química da UFSM

Locais de Trabalho/Execução do Projeto:

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT

Laboratório de Recursos em Energias Renováveis – LRER/CRSPE/INPE –
MCT

Projeto realizado no âmbito da parceria INPE/MCT – UFSM através do
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT - UFSM

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar o meu sincero agradecimento a todos que auxiliaram para o desenvolvimento deste trabalho de Projeto de Pesquisa.

Primeiro, obrigado ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, ao CRSPE/INPE – MCT e ao Dr. José Carlos Becceneri, Coordenador do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, aprovação do Projeto de Pesquisa e pela possibilidade de desenvolver minhas potencialidades técnico-científicas junto ao Centro Espacial.

Um obrigado especial ao Dr. Fernando Ramos Martins, meu orientador pesquisador do DMA/CPTEC/INPE - MCT, por estar sempre disposto a ajudar e esclarecer todas as dúvidas prontamente assim que elas surgiam.

Agradeço ao Dr. Nelson Jorge Schuch, Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, por acreditar na capacidade do Bolsista e por dedicar muito de seu tempo para escutar, entender e aconselhar o Bolsista no seu desenvolvimento pessoal e profissional.

Obrigado aos colegas Marcelo Pizzuti Pes, Rafael Feterman Bertagnolli e Daniel Fiorin que atuam no LRER/CRSPE/INPE – MCT no âmbito da Parceria INPE - UFSM, e ao aluno de Doutorado Ricardo André Guarnieri pelas discussões e sugestões sobre diversos assuntos relacionados ao trabalho em desenvolvimento.

Agradeço a secretária Angelita Tavares e a Dra. Damaris Kirsch Pinheiro, diretora do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, LACESM/CT – UFSM pelo incansável esforço dedicado a todos os alunos de IC & T.

Não poderia deixar de agradecer a minha família, em especial a minha mãe Gisela Guedes e meu pai José Leal Guedes e a meus avós maternos Jurema Fronza Nenê e Elton Nenê por estarem sempre do meu lado, me apoiando e me dando forças para seguir em frente.

RESUMO

O presente Projeto de Pesquisa destina-se à realização de um estudo do potencial energético solar, bem como verificar a influência de variáveis climáticas sobre a irradiância solar que chega ao Sul do Brasil. O estudo é baseado em dados de superfície coletados na estação de referência do Projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais para o Setor de Energia) em operação no Observatório Espacial do Sul (29,4°S; 53,8°O), em São Martinho da Serra, RS. Descrições dos sensores instalados e dos dados coletados na Estação podem ser acessadas no portal www.cptec.inpe.br/sonda. Neste Relatório, serão apresentados os resultados obtidos neste primeiro ano de desenvolvimento do Projeto de Pesquisa. Durante esse período, foi realizado um estudo de aplicação de modelos empíricos descritos na literatura científica para estimativa da irradiação difusa incidente em superfície, a partir dos dados medidos de irradiação global (direta + difusa).

Dessa forma, realizou-se uma avaliação do comportamento dos modelos desenvolvidos por Collares-Pereira e Rabl (CPR) e por Ruth e Chant (RC), quando aplicados à estação do Observatório Espacial do Sul – SMS. Um modelo empírico original válido para a região central do Estado do Rio Grande do Sul foi desenvolvido seguindo metodologia semelhante aos modelos estudados na etapa anterior, de modo a estimar, com grande confiabilidade, a irradiação difusa nos diversos pontos de coleta de dados de irradiação global do estado. O modelo específico para a Estação SONDA – SMS apresentou uma melhor performance na estimativa de K , com RMSE de 0,096 e MBE inferior a -0,001, enquanto os demais modelos apresentaram RMSE entre 0,108 e 0,111, e MBE entre 0,043 e 0,048. Com a continuidade do projeto, pretende-se prolongar a série de dados e aumentar a confiabilidade do modelo. Além disso, pretende-se utilizar as estimativas de irradiação difusa fornecidas pelo modelo empírico desenvolvido num processo de intercomparação com os valores calculados pelo modelo físico de transferência radiativa BRASIL-SR, que parametriza os processos radiativos empregando dados de satélite. Uma vez que o modelo empírico apresenta grande



precisão para a região na qual foi desenvolvido, essa comparação permitirá fazer uma avaliação do desempenho das parametrizações adotadas no modelo BRASIL-SR.



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	11
INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA PARA SE ESTUDAR RADIAÇÃO SOLAR.....	11
CAPÍTULO 2	16
LABORATÓRIO DE RECURSOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS DO CRSPE/INPE – MCT PROJETO SONDA.....	16
CAPÍTULO 3	18
RADIAÇÃO SOLAR E A ATMOSFERA TERRESTRE.....	18
3.1 – DESCRIÇÃO QUANTITATIVA DA RADIAÇÃO.....	18
3.2 – RADIAÇÃO SOLAR E RADIAÇÃO TERRESTRE	19
3.3 – INTERAÇÕES DA RADIAÇÃO COM A ATMOSFERA TERRESTRE	19
3.4 – EFEITO DAS NUVENS SOBRE A RADIAÇÃO SOLAR.....	23
3.5 – ESQUEMAS COMPUTACIONAIS PARA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE.....	24
CAPÍTULO 4	26
METODOLOGIA	26
4.1 – MEDIDAS DE RADIAÇÃO.....	26
4.2 – ANÁLISE DOS DADOS DE RADIAÇÃO	28
CAPÍTULO 5	34
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PRÓPRIO PARA OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CRSPE/INPE – MCT	34
CAPÍTULO 6	37
VISITA TÉCNICA.....	37
6.1 – VISITA TÉCNICA – CIENTIFICA AS INSTALAÇÕES DO INPE/MCT E DO CPTEC/INPE – MCT.....	37
6.2 – PALESTRAS TÉCNICAS COM TODA A EQUIPE DA DIVISÃO DE CLIMA E MEIO AMBIENTE.....	37
6.3 – TREINAMENTO PARA UTILIZAR O MODELO DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA BRASIL-SR.	38
6.4 – TREINAMENTO PARA QUALIFICAR OS DADOS GERADOS PELAS ESTAÇÕES SONDA.	38
CAPÍTULO 7	40
CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
APÊNDICE A	44
ATERRAMENTO DA PLATAFORMA DA ESTAÇÃO SONDA DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CRSPE/INPE – MCT.	44



APÊNDICE B.....	49
MODELO DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA BRASIL-SR.....	49
B.1 – METODO DOS DOIS FLUXOS (“TWO-STREAM METHOD”).....	49
APÊNDICE C.....	53
TRABALHOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS APRESENTADOS EM EVENTOS	53
APÊNDICE D	56
CERTIFICADOS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Matrizes de energia elétrica mundial e brasileira. Fonte dos dados: IEA (2001) e MME (2004).....	12
Figura 2.1 – Esquema de configuração dos equipamentos da estação SONDA do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.	17
Figura 3.1: Espectro solar no topo da atmosfera, comparado com o espectro de um corpo negro a 6000 K e com o espectro solar a nível do mar. Fonte: Modificado de Robinson (1966).....	20
Figura 3.2: (a) Curvas de corpo negro para a radiação solar (6000 K) e radiação terrestre (255 K). (b) Espectro de absorção para toda a extensão vertical da atmosfera. (c) Espectro de absorção para a atmosfera acima de 11 km. (d) Espectros de absorção para vários gases atmosféricos entre o topo da atmosfera e a superfície da Terra. Fonte: Modificado de Peixoto e Oort (1992).	21
Figura 4.1: (a) Vista geral da Estação SONDA do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS; (b) Vista do <i>Piranômetro CM22</i> ; (c) Vista do <i>Piranômetro CM21</i>	27
Figura 4.3: Integrais diárias de irradiância solar global e difusa no TOA observadas na Estação SONDA localizada no Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT entre 08/2004 a 12/2005.....	30
Figura 4.4: Fração de radiação difusa (K), com relação ao índice de nebulosidade (K_T) e as correlações RC e CPR para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS.....	31
Figura 4.5: Variação da radiação difusa diária em função de K_T segundo Iqbal (1983) – curva – e dados diários de K_d e K_T para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT – pontos.....	32
Figura 4.6: Numero de dias compreendidos em cada intervalo de K_T , para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT.....	33
Figura 4.7: Porcentagem de dias compreendidos em cada intervalo de K_T , para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT.....	33
Figura 5.8: Fração de radiação difusa (K), com relação ao índice de nebulosidade (K_T) e as correlações RC e CPR e SMS para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT.....	35
Figura A.1 – Esquema de um local aterrado, com o fluxo da descarga elétrica	44
Figura A.2 – Esquema de aterramento da Estação SONDA do Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. Incluindo a Plataforma e a Torre Anemométrica.....	45
Figura A.3 – Detalhes do aterramento da Estação SONDA SONDA do Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.....	46



- Figura A.4** – Caixas de controle, tanto do aterramento com para a passagem de cabos no Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. 47
- Figura A.5** – Vista das vias de aterramento até a torre anemométrica no Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 47

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Estudar radiação solar incidente na superfície terrestre tem implicações diretas na meteorologia, especialmente nos estudos sobre o clima e suas mudanças. Informações oriundas do estudo da radiação solar são importantes para atividades econômicas como a agropecuária (seleção dos produtos a serem cultivados, processo de irrigação, períodos de plantio e colheita, etc.), a arquitetura (eficiência energética, conforto térmico e iluminação de ambientes), e diversos outros setores do conhecimento. O enfoque que foi dado no presente projeto de pesquisa, contudo, contemplará a radiação solar como fonte de energia natural e renovável.

Informações provenientes da previsão de radiação solar incidente são de vital importância na operação de sistemas híbridos de geração de eletricidade, permitindo um gerenciamento mais eficiente das fontes de energia e o emprego otimizado de energia solar-fotovoltaica, em prol da economia de outros recursos. Além de permitir o conhecimento antecipado da disponibilidade de energia solar para geração fotovoltaica em locais isolados, as previsões de radiação solar permitem estimar a demanda por aquecimento resistivo complementar em sistemas solar-térmicos.

1.1 JUSTIFICATIVA PARA SE ESTUDAR RADIAÇÃO SOLAR

A demanda energética mundial depende quase que na sua totalidade na queima de combustíveis fósseis. Os impactos dessa queima tem implicações a curto prazo – chuva-ácida, acidez do solo e de rios – bem como a longo prazo – efeito estufa, deteriorização na construção civil.

A maior e mais importante fonte de energia convencional desde o do século passado tem sido, sem dúvida, o petróleo. Segundo Geller (2003), num cenário otimista, a depleção desse recurso energético deverá iniciar a partir de um pico de produção/demanda por volta de 2030 quando, então, terá início o seu esgotamento

gradual a nível mundial. Contudo, estudos mais pessimistas antecipam esse pico de produção para 2010 e, portanto, antecipam o processo de esgotamento dos recursos (Bentley, 2002). Ainda segundo estudos compilados por Bentley, o declínio na produção do petróleo deverá ser superior a 3-5% ao ano após o seu apogeu de produção. Raciocínio análogo pode ser feito para as outras fontes não-renováveis de energia, como o carvão e o gás natural, mas obviamente com escalas bem diferentes de apogeu e declínio.

Assim, uma nova consciência mundial, quanto à utilização dos recursos naturais e energéticos, têm apontado para a inserção de fontes de energia alternativas, que não apenas apresentem reduzido impacto ambiental, mas que também venham a ser economicamente viáveis e que sejam renováveis. Entende-se por “energias renováveis” todas as formas de energia cuja taxa de utilização é inferior a sua taxa de renovação, podendo-se citar a energia solar, eólica, da biomassa, geotérmica e hidroelétrica. No caso do Brasil, sua matriz energética já contempla de forma exemplar o emprego das energias renováveis, principalmente através da hidroeletricidade e da biomassa (emprego do álcool no setor de transporte automotivo). A Figura 1.1 apresenta a matriz de energia elétrica do Brasil, comparativamente à matriz mundial.

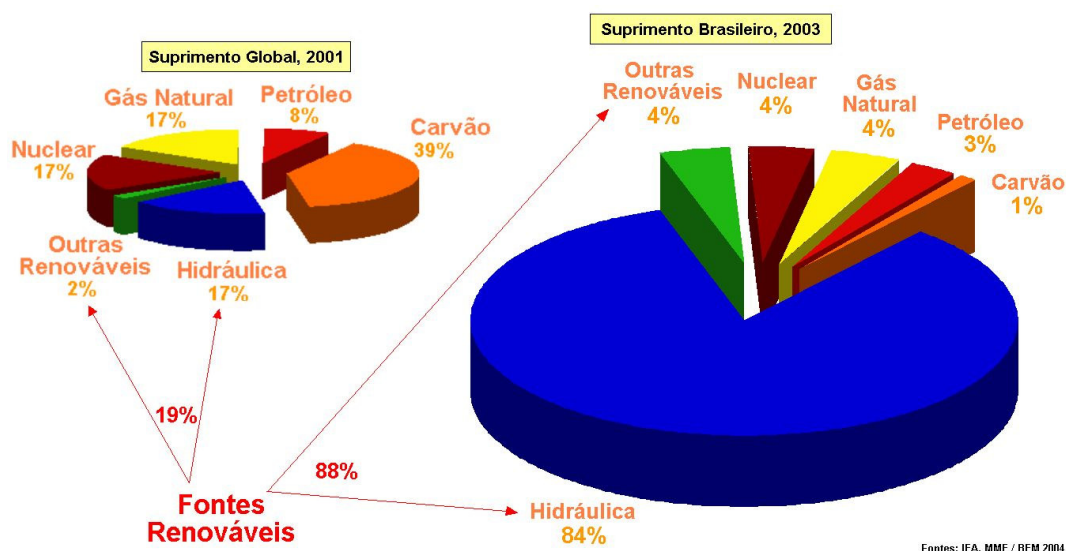


Figura 1.1: Matrizes de energia elétrica mundial e brasileira. Fonte dos dados: IEA (2001) e MME (2004).

Com a atual perspectiva de crescimento para a economia brasileira, haverá uma demanda crescente por energia (Goldemberg e Villanueva, 2003). As fontes de energias “limpas” como a solar e eólica representam uma importante saída, mostrando uma complementaridade no atual modelo energético brasileiro (hidroelétrico) e uma estabilidade nas emissões de carbono na atmosfera.

Como citado, o modelo energético brasileiro é basicamente hidroelétrico, embora seja uma fonte renovável de geração de energia, os impactos para o meio-ambiente na construção dos lagos ainda não é totalmente conhecido e economicamente avaliado. Além disso, essa fonte energética apresenta grande vulnerabilidade a grandes períodos de estiagem, como ocorreu principalmente em 1999/2001.

A energia solar encontra-se em fase de estudo no cenário brasileiro, mas com a demanda tecnológica atual, e o local privilegiado (maior parte na região intertropical) o Brasil certamente poderá usufruir dessa forma alternativa de geração de energia (Tiba, 2000; Colle e Pereira, 1998). Outro benefício que a geração de eletricidade através de painéis fotovoltaicos para o Brasil é o atendimento de locais remotos, onde seria inviável, física e economicamente, conduzir vias elétricas, visto o tamanho territorial brasileiro. Nesse contexto, o Governo Federal iniciou em 2004 o desafio de acabar com a exclusão elétrica no país e lançou o programa *Luz Para Todos*, que tem o objetivo de levar energia elétrica para 10 milhões de pessoas do meio rural até 2008, incluindo a energia solar-fotovoltaica nos locais mais remotos e distantes das vias de transmissão (MME, 2006).

No entanto, a base de dados e informações cientificamente embasadas sobre radiação solar no território brasileiro ainda é pequena, dificultando o desenvolvimento e implantação de projetos de aproveitamento do recurso energético solar. Com o intuito de suprir essa deficiência, o INPE/MCT através do CPTEC/INPE – MCT desenvolve uma série de atividades e projetos dentro da linha de pesquisa “Energia e Recursos Renováveis”, e entre eles merecem destaques: o emprego de modelos de transferência de radiação baseados em imagens de satélite, como o BRASIL-SR (Pereira *et al.*, 1996; Martins, 2001) e a instalação de redes de medições de radiação solar de superfície, através do Projeto SONDA (<http://www.cptec.inpe.br/sonda/>). As bases de dados geradas por esses estudos estão disponibilizadas para acesso público com o intuito de

atender a demanda por informações confiáveis para investidores e organizações governamentais e não-governamentais que atuam no planejamento, operação e desenvolvimento do setor energético brasileiro.

O Projeto de Pesquisa desenvolvido no âmbito desta bolsa de Iniciação Científica está completamente inserido nos objetivos da Divisão de Clima e Meio Ambiente – DMA/CPTEC/INPE – MCT e tem como objetivo contribuir na avaliação do potencial de energia solar do Estado do Rio Grande do Sul a partir do uso e integração dos dados gerados pelo Projeto SONDA e outras fontes de dados de superfície com estimativas obtidas a partir de imagens de satélites ambientais.

Neste Relatório são demonstradas as atividades realizadas pelo Bolsista **Marcus Guedes**, durante o período em que participou do projeto **“Avaliação do Potencial Solar do Sul do Brasil”**, bem como uma revisão teórica sobre radiação solar e seus métodos de medição.

No Capítulo 2 faz-se uma breve descrição sobre o Laboratório de Recursos em Energias Renováveis do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais LRER/CPTEC/INPE – MCT em Santa Maria, e o Projeto SONDA. O Capítulo 3 apresenta uma revisão dos conhecimentos sobre radiação solar e seus processos de interação com a atmosfera terrestre. No Capítulo 4 é apresentada a metodologia utilizada pelo bolsista no desenvolvimento do presente Projeto de Pesquisa. O Capítulo 5 descreve as atividades desenvolvidas pelo bolsista no período em que esteve em visita técnica ao INPE/MCT e ao CPTEC/INPE – MCT. Finalmente, no Capítulo 7 é apresentada a conclusão do trabalho com uma análise dos resultados obtidos pelo bolsista durante o período de vigência da Bolsa do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT no CRSPE/INPE – MCT.

O Apêndice “A” apresenta o diagrama de instalação dos equipamentos da estação SONDA do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em São Martinho da Serra, RS, bem como a planta baixa da Plataforma onde estão instalados os equipamentos e seu esquema de aterramento. O Apêndice “B” faz-se uma descrição do modelo físico de transferência radiativa BRASIL-SR. O Apêndice “C” são apresentados os títulos de trabalhos científicos apresentados em eventos com a



autoria e/ou co-autoria do acadêmico. O Apêndice “D” contém resumos/textos dos trabalhos desenvolvidos e apresentados, de autoria e co-autoria do bolsista, em eventos nacionais e internacionais. Os certificados dos trabalhos apresentados como autor, co-autor e participação em eventos nacionais, internacionais e atividades de extensão se encontram no Apêndice “D”.

CAPÍTULO 2

LABORATÓRIO DE RECURSOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS DO CRSPE/INPE – MCT PROJETO SONDA

No ano de 2003 foi criado o Laboratório Recursos de Energias Renováveis (LRER), no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT. Esse laboratório desenvolve uma parceria com o Projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais aplicado para o setor de Energia) coordenado e executado pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos CPTEC/INPE – MCT. O Coordenador Nacional do Projeto SONDA é o Pesquisador Dr. Enio Bueno Pereira. O SONDA é financiado pela FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, através do Fundo Setorial de Energia – CT – ENERG, e pela PETRABRAS – Petróleo Brasileiro S/A, e visa implementar uma infra-estrutura física e de recursos humanos, destinada à geração e aperfeiçoamento da base de dados de superfície necessária ao levantamento e planejamento do uso dos recursos de energia solar e eólica no Brasil.

No mês de Julho/2004 foi instalada uma Estação de coleta de dados, classificada como “Referência SONDA” no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT (29,4 S, 53,8 O) localizado no município de São Martinho da Serra, RS.

A estação de Referência SONDA conta com equipamentos para aquisição de dados de irradiação solar, de velocidade e direção do vento e de dados meteorológicos básicos, conforme Figura 2.1. Os equipamentos iniciaram a coleta de dados no dia 1º de Agosto de 2004, e permaneceram em operação todos os dias sem interrupções além daqueles necessários para manutenção. As atividades semanais de manutenção em todos os equipamentos são realizadas pelos alunos do LRER/CRSPE/INPE – MCT.

A implantação da estação de coleta de dados do Projeto SONDA no Observatório Espacial do Sul vem propiciando a formação de Recursos Humanos e o desenvolvimento de pesquisas cujos resultados vem sendo apresentados tanto em eventos científicos nacionais como internacionais pelos alunos do LRER.

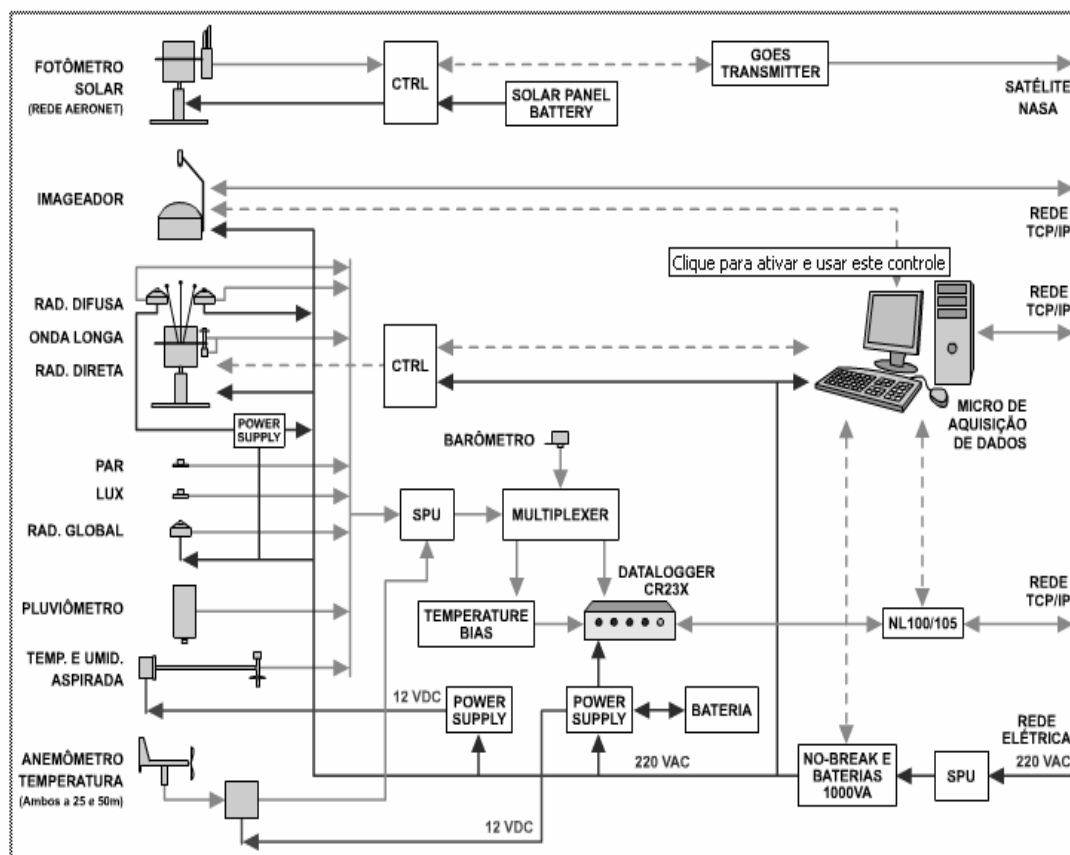


Figura 2.1 – Esquema de configuração dos equipamentos da estação SONDA do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

CAPÍTULO 3

RADIAÇÃO SOLAR E A ATMOSFERA TERRESTRE

A transferência radiativa é o mecanismo pelo qual o sistema Terra-Atmosfera realiza praticamente toda a troca de energia com o resto do Universo (Wallace e Hobbs, 1977). O Sol pode ser considerado como a fonte de toda energia que entra no Planeta, e a radiação solar constitui a força motriz para os movimentos atmosféricos e para outros processos térmicos, dinâmicos e químicos que ocorrem na atmosfera e camadas superficiais da crosta terrestre (Brasseur e Solomon, 1986; Kondratyev, 1969).

A radiação solar chega até nós na forma de ondas eletromagnéticas, estas exibem uma faixa contínua de comprimentos de onda (λ), sendo o espectro eletromagnético a totalidade de todos os possíveis comprimentos de onda (Wallace e Hobbs, 1977).

3.1 – DESCRIÇÃO QUANTITATIVA DA RADIAÇÃO

A taxa de transferência de energia por radiação eletromagnética é chamada de fluxo radiante, expresso em unidades de energia por unidade de tempo: joules por segundo ($J \cdot s^{-1}$) ou watts (W). A densidade de fluxo radiante é o fluxo radiante que atravessa uma unidade de área, expressa em watts por metro quadrado ($W \cdot m^{-2}$) e sendo também denominada emitância ou irradiância (E) quando representa, respectivamente, o fluxo emergindo ou incidindo em uma área (Kidder e Vonder Haar, 1995).

A irradiância incidente sobre um elemento de área superficial pode consistir de contribuições oriundas de uma infinidade de diferentes direções, sendo necessário, às vezes, identificar a parte da irradiância que provém de direções dentro de um determinado arco infinitesimal de ângulo sólido $d\Omega$. Define-se, assim, a radiância (L), que é a irradiância por unidade de ângulo sólido, expressada em watts por metro quadrado por esterradiano ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$) (Wallace e Hobbs, 1977).

3.2 – RADIAÇÃO SOLAR E RADIAÇÃO TERRESTRE

O Sol emite um espectro contínuo, com uma distribuição espectral similar a da radiação de um corpo negro a 6000 K, seguindo aproximadamente a lei de Plank para a emissão de radiação (Coulson, 1975; Brasseur and Solomon, 1986; Lenoble, 1993). A radiação solar cobre todo o espectro eletromagnético, mas a porção mais significativa do espectro, associada com transferência de energia radiativa no sistema climático, é compreendida entre o ultravioleta e o infravermelho próximo (Peixoto e Oort, 1992).

A média anual da irradiância solar total, no topo da atmosfera (TOA), é conhecida como constante solar (S). O valor de S, foi convencionado em $1368 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Uma vez que as temperaturas da atmosfera e dos materiais da superfície terrestre são bastante menores quando comparadas com a elevada temperatura do Sol, suas emissões de radiação ocorrem em comprimentos de onda maiores, entre 4 e 100 μm (Coulson, 1975). O pico das emissões da superfície terrestre para a atmosfera ou da Terra como um todo para o espaço, ocorre entre 10 e 12 μm . Assim, costuma-se dividir o espectro eletromagnético em aproximadamente 4 μm (Coulson, 1975). A radiação menor que 4 μm é chamada radiação de onda curta e a radiação maior que 4 μm é chamada radiação de onda longa. A radiação de onda longa é a emitida pela Terra para a atmosfera (Iqbal, 1983), embora se utilize também o termo radiação atmosférica.

3.3 – INTERAÇÕES DA RADIAÇÃO COM A ATMOSFERA TERRESTRE

A radiação solar, após atingir o topo da atmosfera e penetrá-la, sofre processos de absorção e o espalhamento (Liou, 1980).

O espectro de radiação solar que atinge o TDA e o espectro de radiação solar que atinge a superfície da Terra, em termos de irradiância são apresentados na Figura 3.1. A área entre as curvas representa a redução sofrida pela radiação solar incidente, durante sua passagem através da atmosfera. Essa redução é dividida em duas partes: a área não sombreada representa o espalhamento sofrido pela radiação e a área sombreada a absorção pelas moléculas do ar, primariamente por H₂O, CO₂, O₃ e O₂ (Robinson,

1966; Wallace e Hobbs, 1977; Liou, 1980). Para comparação é apresentada uma curva de emissão de um corpo negro a 6000 K (linha tracejada),

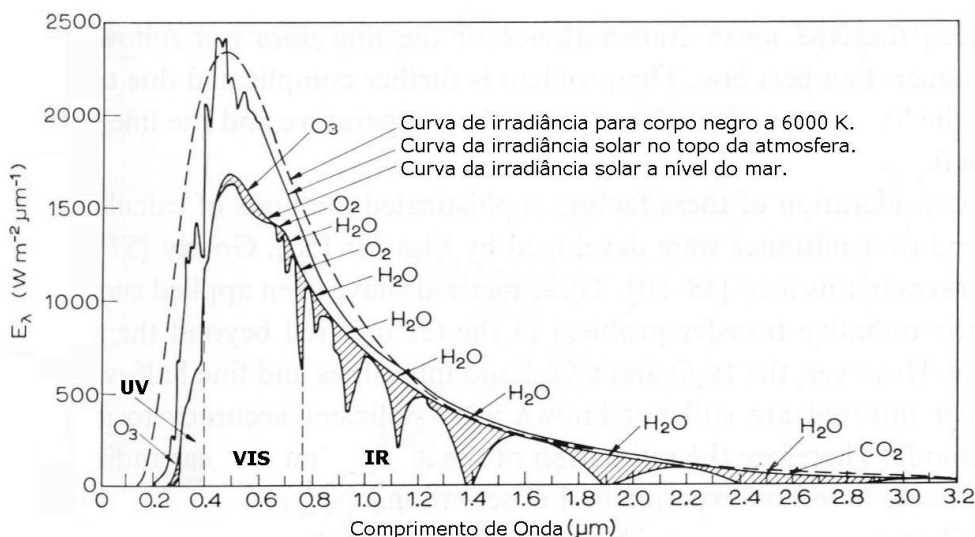


Figura 3.1: Espectro solar no topo da atmosfera, comparado com o espectro de um corpo negro a 6000 K e com o espectro solar a nível do mar. Fonte: Modificado de Robinson (1966).

Devido à absorção ineficiente em caso de ausência de nuvens, a atmosfera é considerada praticamente transparente à radiação solar, especialmente nos comprimentos de onda do visível.

Dependendo do tipo de transição ou interação, a absorção da radiação pode ocorrer num continuum de comprimentos de onda, ou em comprimentos de onda discretos. Os gases atmosféricos absorvem diferentemente os comprimentos de onda da radiação solar e da radiação terrestre como se observa na Figura 3.2.

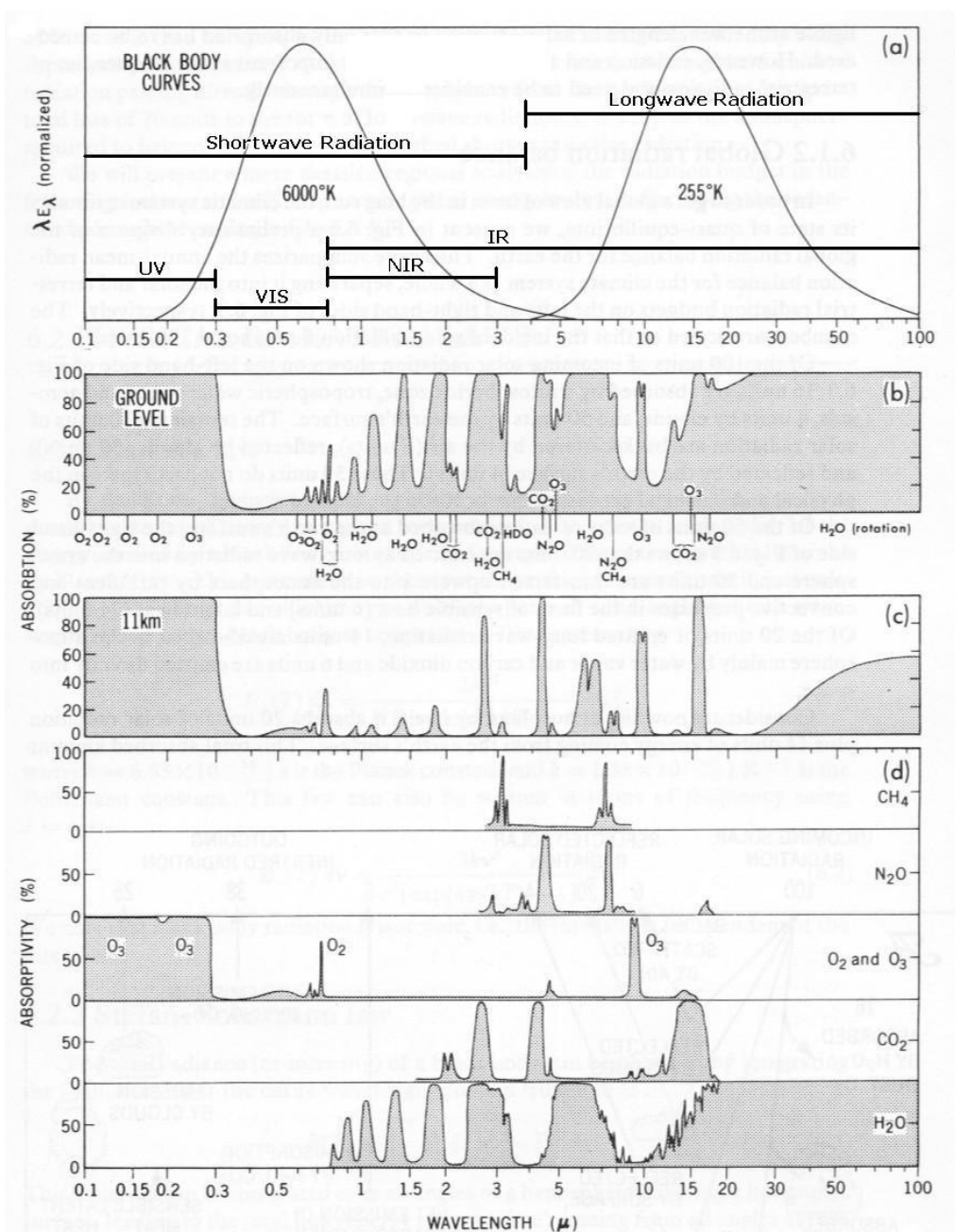


Figura 3.2: (a) Curvas de corpo negro para a radiação solar (6000 K) e radiação terrestre (255 K). (b) Espectro de absorção para toda a extensão vertical da atmosfera. (c) Espectro de absorção para a atmosfera acima de 11 km. (d) Espectros de absorção para vários gases atmosféricos entre o topo da atmosfera e a superfície da Terra. Fonte: Modificado de Peixoto e Oort (1992).

Segundo Liou (1980), o espalhamento ocorre em todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Espalhamento é um processo físico no qual uma partícula no caminho da onda eletromagnética continuamente remove energia da onda incidente e dispersa essa energia em todas as direções. Uma vez que parte da energia solar é espalhada para trás e para os lados, a quantidade de energia que atinge a superfície da Terra, após atravessar a atmosfera, é atenuada (Peixoto e Oort, 1992).

No regime Mie a dispersão é menos seletiva ao comprimento de onda (van de Hulst, 1957) e ocorre predominância do pró-espalhamento sobre o retroespalhamento. Ocorre, neste regime, o espalhamento da luz do Sol por aerossóis, neblina, fumaça, smog e poeira (Wallace e Hobbs, 1977; Kidder e Vonder Haar, 1995). Aerossóis são definidos como suspensões de partículas líquidas ou sólidas no ar (excluindo-se as gotículas de nuvem e precipitação).

O espalhamento da radiação visível pelas gotículas de nuvens, gotas de chuva e partículas de gelo, é descrito pelos princípios da ótica geométrica. A ótica geométrica e o espalhamento Rayleigh são tomados como casos-limite da teoria de espalhamento Mie, considerada mais geral.

Após atravessar uma camada com agentes espalhadores, como é a atmosfera, a radiação de ondas curtas que atinge uma superfície pode ser subdividida entre uma componente proveniente da própria direção da fonte e uma componente que engloba a radiação vinda de todas as demais direções devido ao espalhamento. Segundo Planafattori e Ceballos (2005) podem-se definir as seguintes irradiâncias:

- Irradiância difusa: Consiste na irradiância descendente numa superfície horizontal, decorrente do espalhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens, etc.).
- Irradiância normal: Consiste na irradiância direta numa superfície normal à incidência do feixe direto, dada pela irradiância solar incidente no TDA (constante solar) que ainda resta no nível de observação, somados os efeitos de pró-espalhamento atmosférico.
- Irradiância direta: Consiste no produto entre a irradiância normal e o cosseno do ângulo zenital solar.

- Irradiância global: Consiste na irradiância descendente numa superfície horizontal, constituída pelo somatório das irradiâncias direta e difusa.

3.4 – EFEITO DAS NUVENS SOBRE A RADIAÇÃO SOLAR

Uma importante característica da Terra é sua cobertura de nuvens. A todo instante, cerca de 50% da superfície da Terra é coberta por nuvens que ocorrem de altitudes variáveis desde a superfície até aproximadamente 20 km (Wallace e Hobbs, 1977). As nuvens possuem um papel importante para o balanço radioativo terrestre, assim como para o clima como um todo, afetando o albedo, a absortividade e a transmissividade da radiação incidente (Peixoto e Oort, 1992).

Atingida a supersaturação da atmosfera, a água condensa-se na superfície de núcleos de condensação formando gotículas que compõe a nuvem (Wallace e Hobbs, 1977). Os aerossóis atuam como núcleos de condensação, sendo que suas características - tamanho, forma e solubilidade - influem diretamente na supersaturação necessária para que ocorra a condensação e formação da gotícula.

Dentro da nuvem, o espalhamento múltiplo é a forma de atenuação predominante da radiação solar. As nuvens são fortes absorvedores de radiação terrestre (onda longa), com absorção ocorrendo em gotas, cristais de gelo, e, em menor extensão, no vapor d'água. (Peixoto e Oort, 1992).

Considerando as propriedades óticas – elevado albedo e espalhamento eficiente – pode-se considerar as nuvens como o principal fator modulador da radiação solar que chega à superfície. O espalhamento da radiação solar por nuvens depende da espessura ótica, da distribuição de tamanhos das gotículas, do conteúdo e do estado físico da água (Paltridge e Platt, 1976), características estas que variam de acordo com o tipo de nuvem.

As nuvens são normalmente classificadas de acordo com características físicas como altitude e forma. A base para a classificação internacional de nuvens é o sistema proposto em 1803 por Howard (Luke Howard, 1772-1864) que utilizou quatro nomes latinos: cumulus (uma pilha ou monte) para nuvens convectivas; stratus (uma camada) para nuvens em camadas; cirrus (um filamento de cabelo) para nuvens fibrosas; e

nimbus para nuvens de chuva. Além dos tipos básicos, Howard utilizava combinações como cirrocumulus e cirrostratus. Na classificação internacional, nimbus, ou nimbo, é usado somente em nomes compostos para indicar nuvens de precipitação (nimbostratus e cumulonimbus), e utiliza-se o prefixo alto para indicar nuvens de níveis médios (Wallace e Hobbs, 1977).

3.5 – ESQUEMAS COMPUTACIONAIS PARA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE

A utilização de uma rede de radiômetros e de técnicas de interpolação das medidas de radiação obtidas permite o levantamento de diversas informações sobre a radiação solar incidente. Porém, os dados levantados teriam sua confiabilidade dependente de um grande número de radiômetros e pequenas distâncias entre eles, em muitos casos inviabilizando tal metodologia. A adoção de modelos computacionais para obter estimativas da radiação solar por meio de relações empíricas ou pela solução da equação de transferência radiativa (ETR) constitui-se uma alternativa à metodologia anterior. Para mapear a disponibilidade de energia solar no território brasileiro, a adoção de modelos computacionais que utilizam dados de satélite parece ser a melhor alternativa (Martins, 2001).

Os modelos computacionais podem ser classificados em modelos estatísticos e modelos físicos. Os modelos estatísticos caracterizam-se por utilizar expressões empíricas para estimativa da radiação incidente em função de alguma propriedade do sistema Terra-atmosfera medida por satélite ou por instrumentos de superfície. Os modelos físicos caracterizam-se por utilizar métodos matemáticos que visam simular os processos físicos atmosféricos e solucionar a ETR.

Os modelos estatísticos apresentam validade restrita à região para qual as expressões empíricas foram desenvolvidas. Os modelos físicos, por modelarem os processos físicos que ocorrem na atmosfera, podem ser utilizados sem a necessidade de serem adaptados ao local de interesse. Apesar da generalidade espacial dos modelos físicos, estes necessitam de informações confiáveis sobre as condições atmosféricas,

sendo que nem sempre tais informações são disponíveis ou apresentam a confiabilidade esperada.

O modelo BRASIL-SR, desenvolvido e atualmente em uso pela Divisão de Clima e Meio Ambiente do CPTEC/INPE – MCT, utiliza a aproximação de dois fluxos para solucionar a ETR e determinar estimativas da irradiação solar incidente na superfície (Colle e Pereira, 1998; Martins, 2001). Uma descrição do modelo BRASIL-SR está apresentada no **Apêndice B** deste trabalho.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

O estudo da disponibilidade de radiação solar pode ser feito através do uso de modelos computacionais baseados em dados de satélites, ou por meio de medidas em superfície. Modelos computacionais são utilizados para prover estimativas da distribuição espacial da radiação incidente. Estudos com estes modelos mostram que o Rio Grande do Sul, apesar de sua localização no extremo sul do Brasil, apresenta um grande potencial para aproveitamento da energia solar como fonte de energia renovável (Martins et al, 2006).

Quando o conhecimento de valores locais exige maior precisão, é necessário o uso de dados medidos em superfície. Grande parte das medidas de radiação em superfície contempla apenas a radiação solar global. Contudo, o conhecimento da componente difusa encontra aplicações em diversos ramos da atividade humana, dentre as quais aquelas mencionadas anteriormente.

4.1 – MEDIDAS DE RADIAÇÃO

Os dados de radiação solar utilizados nesse Projeto de Pesquisa foram coletados na Estação de Referência do Projeto SONDA, localizada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE–MCT, no município de São Martinho da Serra, região central do estado do Rio Grande do Sul. A Estação de Referência SONDA do Observatório, segue os padrões internacionais de medidas e instalação da sua rede de equipamentos.

Para as medidas de irradiação solar global é utilizado um piranômetro *Kipp & Zonen CM21* que opera na faixa espectral de 0,3 μm a 2,8 μm . Um piranômetro *Kipp & Zonen CM22* é utilizado em medidas de irradiação solar difusa (de 0,2 μm a 3,6 μm). Um pireliômetro *NIP (Epley Laboratory, Inc)* realiza as medidas de radiação solar direta e um pirgeômetro *PIR (Epley Laboratory, Inc)* é utilizado para as medidas de onda longa, operando na faixa de 3,5 μm a 50 μm .

O piranômetro *CM22*, o pireliômetro e pirgeômetro, operam em conjunto com um *TRACKER – 2AP – Two Axis Positioner* – que faz o rastreamento solar. O Tracker é responsável pelo posicionamento do pireliômetro na direção do Sol e dos ocultadores do disco solar. Ocultadores são esferas que efetuam o sombreamento dos domos dos equipamentos *CM22* e *Pirgeômetro*.

A plataforma de equipamentos da Estação no Observatório Espacial do Sul é mostrada na Figura 4.1, e no detalhe os respectivos piranômetros *CM21* e *CM22*.



Figura 4.1: (a) Vista geral da Estação SONDA do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS; (b) Vista do *Piranômetro CM22*; (c) Vista do *Piranômetro CM21*.

A Estação SONDA do Observatório Espacial do Sul também conta com um radiômetro *LUX Kipp & Zonen* que efetua medidas de radiação solar na faixa da luz visível tendo o seu resultado expresso em unidades de iluminância, e com um *PAR Kipp & Zonen* que realiza medidas de radiação solar fotossinteticamente ativa – faixa espectral da radiação solar utilizada pelas plantas para a realização da fotossíntese.

4.2 – ANÁLISE DOS DADOS DE RADIAÇÃO

Os radiômetros efetuam medidas a cada 1 segundo e armazenam uma média dos dados para cada 60 segundos, fornecendo 1440 medidas diárias. Neste Projeto de Pesquisa, os dados de irradiação solar global e difusa foram integrados ao longo do dia, fornecendo valores de energia total diária em Jm^{-2} (Joules por metro quadrado). As integrais de radiação global e radiação difusa serão daqui por diante referidas apenas como H e H_d , respectivamente.

Para obter a radiação incidente no topo da atmosfera (TDA), representada por H_0 , utilizou-se a expressão de Iqbal (1983):

$$H_0 = \frac{I_{sc}}{\pi} \left(\frac{d_m}{d} \right)^2 [h_0 \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(h_0)] \quad (1)$$

onde I_{sc} é a constante solar, convencionada em 1368 Wm^{-2} , $(d_m/d)^2$ é o fator de correção de excentricidade, d_m é a distância média entre o Sol e a Terra, d é distância entre o Sol e a Terra para o dia específico, φ representa a latitude do sítio observado, δ é a declinação solar e h_0 é o ângulo horário, definido como zero ao meio-dia.

De posse de H_0 , H e H_d foram calculados o índice de nebulosidade, K_T , e os parâmetros de radiação difusa, K_d e K , de acordo com Iqbal (1983):

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (2)$$

$$K_d = \frac{H_d}{H_0} \quad (3)$$

$$K = \frac{H_d}{H} \quad (4)$$

Ruth and Chant (1976) analisando dados de radiação solar global de estações localizadas no Canadá desenvolveram um modelo empírico aqui referenciado como RC e descrito pelas equações apresentadas em (5). Collares-Pereira and Rabl (1979) com dados também de radiação solar global coletados em estações solarimétricas nos Estados Unidos desenvolveram um modelo similar (CPR) descrito pelas equações em (6):

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0.98 & (K_T \leq 0.1) \\ 1.910 + 1.154K_T - 4.936K_T^2 - 2.848K_T^3 & (0.1 \leq K_T \leq 0.7) \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0.99 & (K_T \leq 0.17) \\ 1.188 - 2.272K_T + 9.473K_T^2 - 21.856K_T^3 + 14.648K_T^4 & (0.17 \leq K_T \leq 0.8) \end{cases} \quad (6)$$

O período de dados utilizado neste trabalho estendeu-se de 01/08/2004 a 31/12/2005. Após seleção dos dados, foi excluído o mês de Outubro de 2004 por constatar falha no ocultador do disco solar, comprometendo as medidas de radiação difusa. Foram analisados dados obtidos em 473 dias. Os parâmetros K_T , K e K_d , calculados com estes dados, foram comparados com as correlações RC e CPR.

As séries temporais das integrais diárias de irradiância global, irradiância difusa, e irradiação solar no topo da atmosfera são exibidas na Figura 4.3. A diferença entre as curvas de radiação no topo da atmosfera (TOA) e radiação global representa a fração de radiação solar refletida pela atmosfera para o espaço.

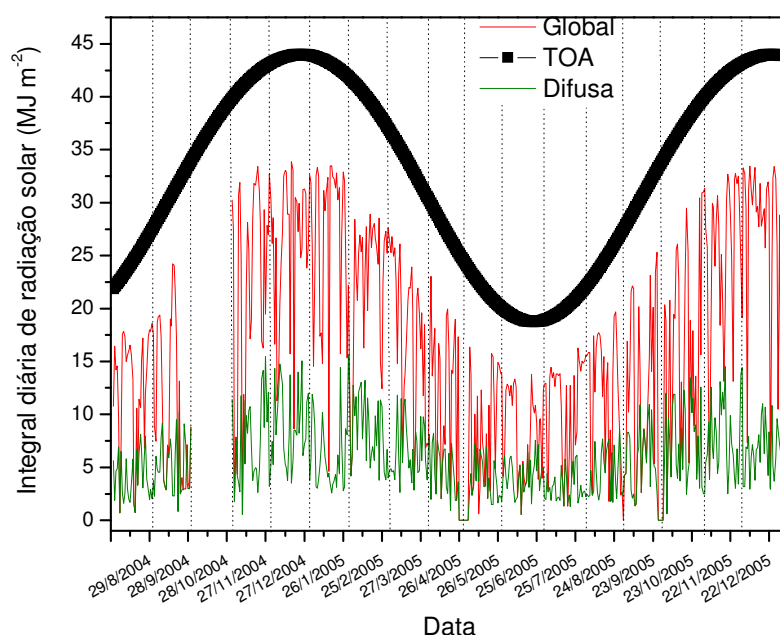


Figura 4.3: Integrais diárias de irradiância solar global e difusa no TOA observadas na Estação SONDA localizada no Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT entre 08/2004 a 12/2005.

Para todos os dias válidos foram calculados os parâmetros K_T , K_d e K . O parâmetro K em função de K_T é apresentado na Figura 4.4. As curvas dos modelos estocásticos RC e CPR são apresentadas para comparação. Verifica-se grande semelhança de comportamento entre os dados experimentais em ambos os modelos. Os dias de céu claro ($K_T > 0.7$) apresentaram valores de K menores que os estimados pelos modelos RC e CPR. Assim, os dois modelos estimam maiores valores de radiação difusa do que os valores medidos em superfície para os mesmos valores de K_T . Apesar da semelhança, alguns pontos (indicados por setas) apresentaram grandes desvios em relação aos valores estimados pelos modelos estocásticos.

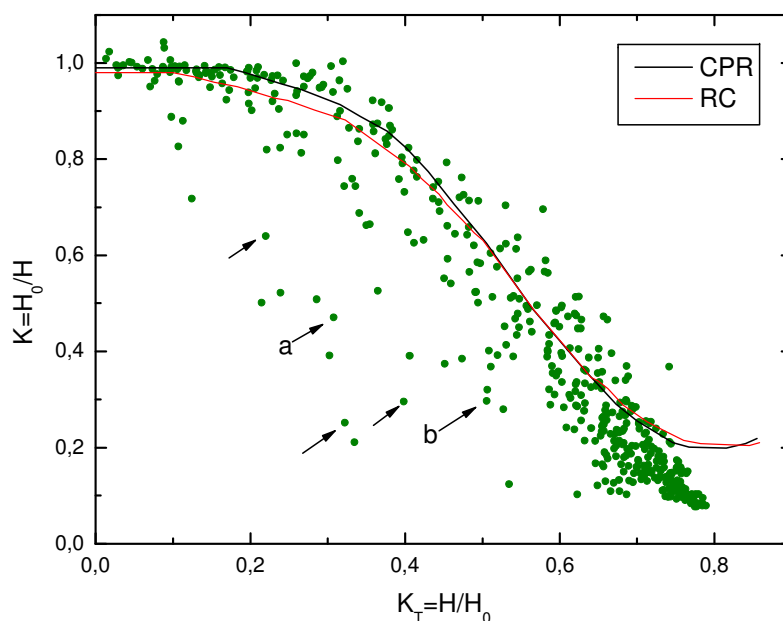


Figura 4.4: Fração de radiação difusa (K), com relação ao índice de nebulosidade (K_T) e as correlações RC e CPR para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS.

Os valores de K_d em função de K_T são apresentados na Figura 4.5, bem como a curva da variação da radiação difusa diária em função de K_T determinada por Iqbal (1983). Verifica-se grande semelhança entre os valores experimentais e a curva teórica, exceto para os valores de K_T maiores que 0,7. Os pontos destacados por setas são os mesmos dias indicados na Figura 4.4.

As disparidades observadas entre as medidas de superfície e os modelos, para $K_T > 0.7$ nas Figuras 4.4 e 4.5, podem estar relacionadas à diferença de latitude entre a estação de São Martinho da Serra (29.44° S) e as estações empregadas no desenvolvimento das correlações RC e CPR (31° a 53° N). Essa diferença de latitude poderia ocasionar um maior espalhamento da radiação solar, uma vez que o caminho ótico na atmosfera é maior para latitudes maiores. Outra possível razão para as

diferenças são as distintas características atmosféricas (poluição, aerossóis) entre os locais estudados.

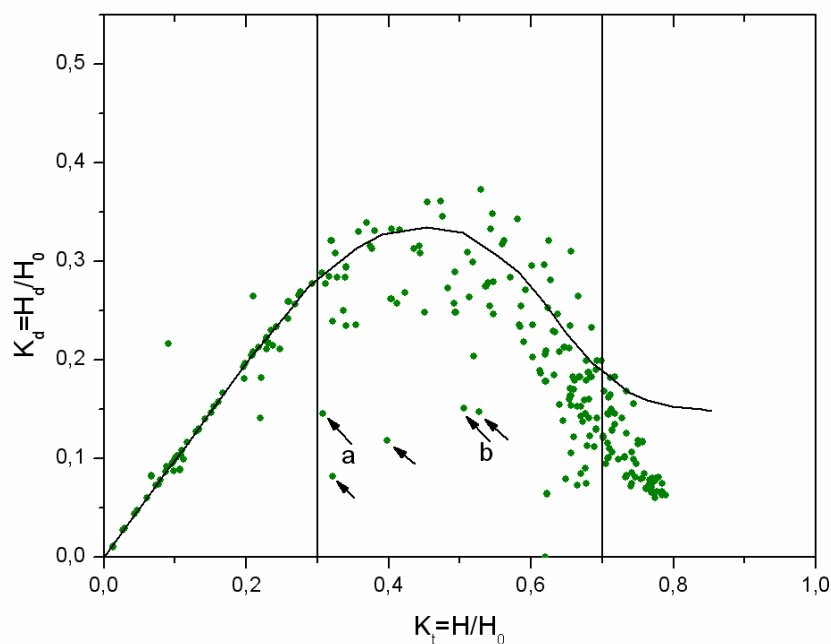


Figura 4.5: Variação da radiação difusa diária em função de K_T segundo Iqbal (1983) – curva – e dados diários de K_d e K_T para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT – pontos.

O número de dias e a porcentagem de dias que ocorrem em cada faixa de valores de K_T são apresentados nos histogramas das Figuras 5.6 e 5.7, respectivamente, onde são indicados o número de dias que compreendem os intervalos de $K_T > 0.3$ (dias completamente nublados), $0.3 < K_T < 0.7$ (dias parcialmente nublados) e $K_T > 0.7$ (dias de céu claro).

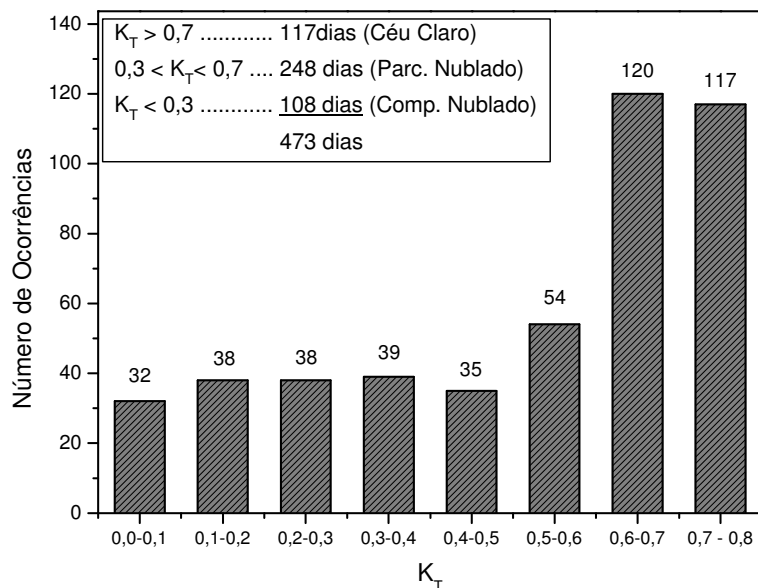


Figura 4.6: Numero de dias compreendidos em cada intervalo de K_T , para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT.

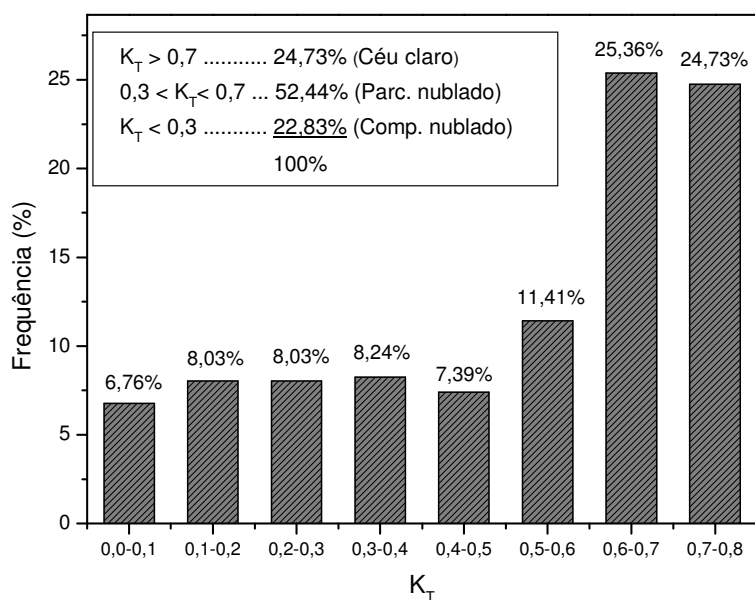


Figura 4.7: Porcentagem de dias compreendidos em cada intervalo de K_T , para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT.

CAPITULO 5

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PRÓPRIO PARA OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CRSPE/INPE – MCT

Com as análises de dados de radiação solar observados e comparados com os modelos RC e CPR, achou-se necessário desenvolver um modelo específico que estimasse com grande confiabilidade a região central do Estado do Rio Grande do Sul, visto o pequeno desvio observado nos modelos para dias com $K_T > 0.7$ (céu claro).

Para desenvolver tal modelo, foi observada a mesma metodologia utilizada no desenvolvimento de RC e CPR. O modelo desenvolvido foi denominado SMS – São Martinho da Serra, para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT.

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 1,0008 - 0,22717K_T + 1,0679K_T^2 - 7,80993K_T^3 + 6,32756K_T^4 \\ 0.1 \leq K_T \leq 0.78 \end{cases} \quad (7)$$

O Modelo SMS assim como os demais foi ajustado através de regressão polinomial, de maneira a estimar o valor de K (razão entre radiação difusa e radiação global) a partir de K_T (razão entre radiação global e radiação incidente no topo da atmosfera). Os valores de K e K_T são adimensionais, variando entre 0 e 1.

Com a finalidade de comparar o comportamento e a performance dos modelos RC, CPR e SMS utilizou-se a análise estatística dos desvios apresentados pelas estimativas de irradiação fornecidas por cada modelo. Os parâmetros utilizados foram: o desvio médio (ou “mean bias error” – MBE) e o desvio quadrático médio (ou “root mean square error – RMSE) definidos pelas equações (8) e (9). O Modelo SMS, desenvolvido durante esta pesquisa, apresentou uma melhor performance na estimativa de K , conforme mostrado na Figura 4.8.

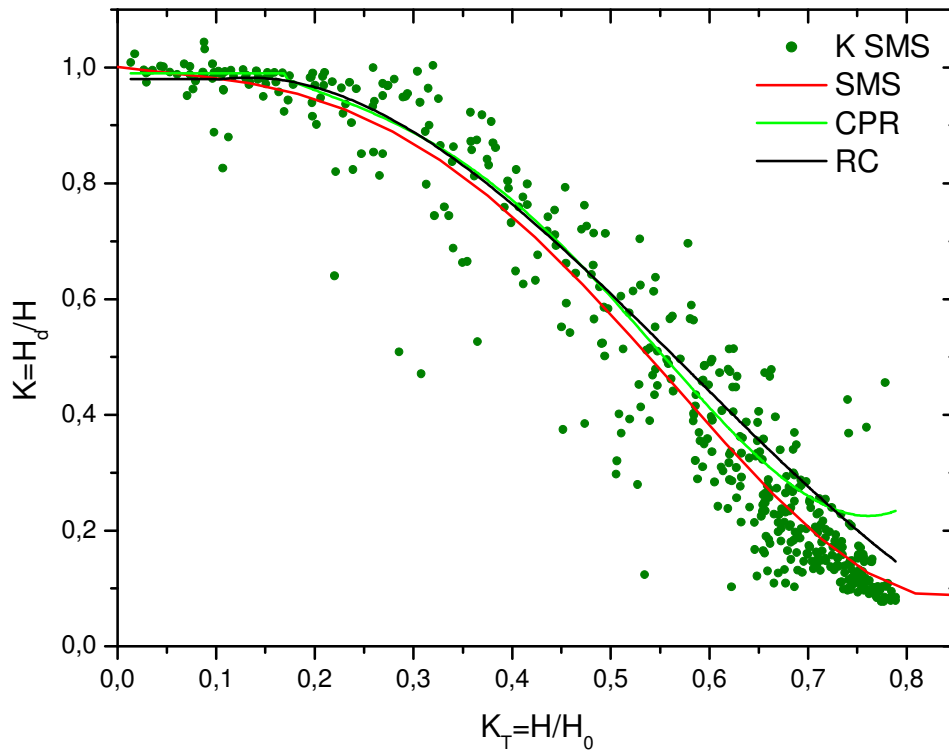


Figura 5.8: Fração de radiação difusa (K), com relação ao índice de nebulosidade (K_T) e as correlações RC e CPR e SMS para o Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N} \quad (8)$$

$$RMSE = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

O Modelo SMS apresentou RMSE de 0,096 e MBE inferior a -0,001, enquanto os demais modelos apresentaram RMSE entre 0,108 e 0,111, e MBE entre 0,043 e 0,048.



Com a continuidade do projeto, pretende-se prolongar a série de dados e aumentar a confiabilidade do modelo. Com este aperfeiçoamento, almeja-se, posteriormente, realizar comparações com as estimativas de modelos baseados em dados de satélite, como o modelo físico de transferência radiativa BRASIL-SR.

CAPÍTULO 6

VISITA TÉCNICA

Este Capítulo tem como principal objetivo, descrever brevemente as atividades realizadas pelo bolsista de Iniciação Científica, Marcus Guedes no período em que esteve em visita técnica a Divisão de Clima e Meio Ambiente, na sede do INPE/MCT em São José dos Campos – SP e no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos no Centro Espacial em Cachoeira Paulista – SP, durante o período de 05/02/06 à 11/02/06:

6.1 – VISITA TÉCNICA – CIENTIFICA AS INSTALAÇÕES DO INPE/MCT E DO CPTEC/INPE – MCT

Os alunos do LRERCRSPE/INPE – MCT estiveram em visita técnica à Divisão de Clima e Meio Ambiente, do CPTEC/INPE – MCT com sede em São José dos Campos, SP.

No primeiro dia na parte da manhã, os alunos visitaram as instalações do INPE/MCT em São José dos Campos, conhecendo toda a estrutura e o modo de funcionamento do Instituto.

Na parte da tarde os alunos viajaram até Cachoeira Paulista, SP, juntamente com o Dr. Enio Bueno Pereira, que nos apresentou as instalações do CPTEC/INPE - MCT, em todos os seus setores. Conhecemos o LIM – Laboratório de Instrumentação e Calibração Meteorológica – que é responsável pelas atividades de manutenção e calibração dos equipamentos que compõem a Rede SONDA.

6.2 – PALESTRAS TÉCNICAS COM TODA A EQUIPE DA DIVISÃO DE CLIMA E MEIO AMBIENTE

No segundo dia de visita, os membros da Divisão de Clima e Meio Ambiente apresentaram palestras técnicas dando uma visão para os alunos do LRER/CRSPE/INPE – MCT, de todas as atividades que estão sendo desenvolvidas pela equipe. As palestras foram abertas pelo Dr. Enio Bueno Pereira, que no cargo de líder do grupo deu as boas vindas aos alunos, esclarecendo dúvidas e expondo os planos para atividades futuras a serem realizadas no âmbito da Parceria LRER/CRSPE/INPE – MCT.

6.3 – TREINAMENTO PARA UTILIZAR O MODELO DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA BRASIL-SR.

No terceiro dia de visita, o bolsista teve um contato mais direto com o seu Orientador Dr. Fernando Ramos Martins. Onde em reunião ficaram acertadas as atividades futuras que o bolsista deveria desenvolver no CRSPE/INPE – MCT. Foi-lhe apresentado o modelo físico de transferência radiativa BRASIL-SR, que será utilizado na segunda parte desse Projeto de Pesquisa. Os dados gerados pelo modelo BRASIL-SR a partir de dados de satélite será utilizado para validação dos dados de radiação solar incidente em superfície, estimado pelo Modelo SMS.

6.4 – TREINAMENTO PARA QUALIFICAR OS DADOS GERADOS PELAS ESTAÇÕES SONDA.

No quarto dia de visita, os alunos tiveram um treinamento para fazer a qualificação dos dados gerados pelas Estações SONDA.

O procedimento para qualificação dos dados meteorológicos do Projeto SONDA adota os critérios estabelecidos pela WMO e publicados na pagina Webmet.com. uma classificação dos dados como suspeitos ou corretos foi desenvolvida com base no procedimento estabelecido pela WMO para a rede BSRN (Baseline Solar Radiation Network).

Os códigos correspondem a quatro níveis de qualificação (0, 1, 2 e 3) sendo que cada nível corresponde a uma avaliação do dado medido com relação a um critério estabelecido. Começando da direita para esquerda, o nível zero estabelece se o desvio padrão dos valores médios do minuto são diferentes de zero e, portanto, o valor máximo e mínimo desse minuto são diferentes. Os níveis 1 e 2 avaliam o dado medido com relação a possibilidade de ocorrer sob o ponto de vista físico. Nesses níveis os dados são comparados com valores limites máximo e mínimo que dependem do ângulo zenital solar no momento da medida. O nível 3 avalia a relação entre as diversas variáveis medidas a fim de verificar inconsistências em algumas dessas variáveis.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Durante o período de vigência da Bolsa de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT no CRSPE/INPE – MCT, o bolsista realizou: estudos teóricos sobre radiação solar, com um enfoque no setor energético; pesquisou e estudou os métodos de medição de radiação, bem como modelos de transferência radiativa. Estudou a aplicabilidade de modelos empíricos de transferência radiativa desenvolvidos na América do Norte para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Desenvolveu um modelo empírico para estimar irradiação solar difusa próprio para região do Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT, com a mesma metodologia aplicada no desenvolvimento dos modelos de Ruth and Chant (1976) e Collares-Pereira and Rabl (1979). O bolsista também atuou na manutenção semanal da estação SONDA instalada no OES e participou efetivamente na instalação de um anemômetro na altura de 10 m na torre anemométrica da estação.

O bolsista do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, cumpriu a primeira parte do cronograma estabelecido no Projeto. Os próximos passos a serem seguidos no desenvolvimento do projeto são o aperfeiçoamento do modelo SMS e o estudo de sua aplicabilidade a outros dados coletados no estado do Rio Grande do Sul. A seguir, serão realizadas comparações dos dados estimados pelo Modelo SMS com estimativas fornecidas por modelos físicos de transferência radiativa como o BRASIL-SR.

Os conhecimentos adquiridos possibilitaram ao bolsista participar em congressos de Iniciação Científica, totalizando nove trabalhos apresentados, sendo quatro destes como autor principal. Por fim, é importante ressaltar que este trabalho propiciou ao bolsista uma oportunidade única até o momento no campo do estudo de radiação solar voltado ao setor energético, trazendo ao aluno conhecimentos teóricos sobre radiação



solar, modelagem atmosférica e análise estatística. Desta forma, o bolsista adquiriu um embasamento importante para o desenvolvimento de futuros trabalhos nesta área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Wallace, J. M.; Hobbs, P. V. **Atmospheric Science: an introductory survey**, San Diego, Academic Press, 467p. 1977.
- Brasseur, G. and Solomon, S. **Aeronomy of the Middle Atmosphere**, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 452p. 1986.
- Kidder, S. Q.; Vonder Haar, T. H. **Satellite Meteorology: an introduction**, San Diego, Academic Press, 466p. 1995.
- Coulson, K. L.. **Solar and Terrestrial Radiation: Methods and Measurements**, New York, Academic Press, 1975, 322 p.
- Lenoble J. **Radiative transfer in scattering and absorbing atmospheres: standard computational procedures**. A. DEEPAK Publishing, Hampton, Virginia, USA, 300p. 1985.
- Iqbal, M. **An Introduction to Solar Radiation**, Toronto, Academic Press Canada, 390p., 1983.
- Liou, K. N. **An Introduction to Atmospheric Radiation**, New York, Academic Press Inc., 392p., 1980.
- Peixoto J. P.; Oort, A. H. **Physics of Climate**, American Institute of Physics, AIP Press, 520p., 1992.
- Robinson, N. (Ed.) **Solar Radiation**, Amsterdam, Elsevier Publishing Company, 347p., 1966.
- van de Hulst, H. C. **Light Scattering by Small Particles**, New York, Wiley, 470p., 1957.
- Paltridge, G. W.; Platt, C. M. R. **Radiative processes in meteorology and climatology**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1976.
- Martins, F. R. **Influência do Processo de Determinação da Cobertura de Nuvens e dos Aerossóis de Queimada no Modelo Físico de Radiação BRASIL-SR**. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 330p. 2001.
- Colle, S.; Pereira, E. B. **Atlas de irradiação solar do Brasil (primeira versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície)**. Brasília: INMET, Outubro, 1998.
- Geller, H. S. **Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável**, Rio de Janeiro, Relume Dumará, 299p., 2003.
- Bentley, R.W., Global Oil and Gas Depletion: An Overview, **Energy Policy**. v. 30, p.189-205, 2002.
- Goldenberg, J.; Villanueva, L. D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**, 2ª Edição, São Paulo: Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, 232p., 2003.

- Tiba, C. (ed). **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres**. Editora Universitária da UFPE, Recife, 111p., 2000.
- MME – Ministério de Minas e Energia. **Programa Luz para Todos**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programs_display.do?prg=8>. Acessado em junho. 2006.
- IEA – International Energy Agency. Disponível em:< <http://www.iea.org/>>. Acessado em 2001.
- Pereira, E. B.; Abreu, S. L.; Stuhlmann, R.; Rieland, M.; Colle, S. Survey of the incident solar radiation in Brazil by the use of the METEOSAT satellite data. **Solar Energy**, 57 (2), 125-132, 1996.
- GUARNIERI, R. A., BIAZI, L., SCHUCH, N. J., PEREIRA, E. B., Preliminary study of global and diffuse solar radiation data from a SONDA station located in São Martinho da Serra, RS – Brazil (29.44° S, 53.82° W) In: Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2005, Salvador, BH.
- R. Stuhlmann, M. Rieland and E. Raschke, journal of Applied Meteorology 29, 586, (1990)

APÊNDICE A

ATERRAMENTO DA PLATAFORMA DA ESTAÇÃO SONDA DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CRSPE/INPE – MCT.

O aterramento tem o objetivo de proteger pessoas, equipamentos elétricos e eletrônicos de fenômenos atmosféricos, como raios, ou de um curto circuito provocado pelos próprios equipamentos. A idéia do aterramento consiste em criar um ou mais pontos de baixa resistência para atrair e dispersar uma eventual sobrecarga isolando e protegendo os equipamentos e pessoas, sem que os mesmos provoquem danos e prejuízos.

Porem no caso em que vários pontos estão interligados por cabos de sinais ou até mesmo muito próximos, uma descarga elétrica em qualquer um desses pontos pode causar uma diferença de potencial através da resistência do solo, que provocará uma corrente elétrica danificando os equipamentos.

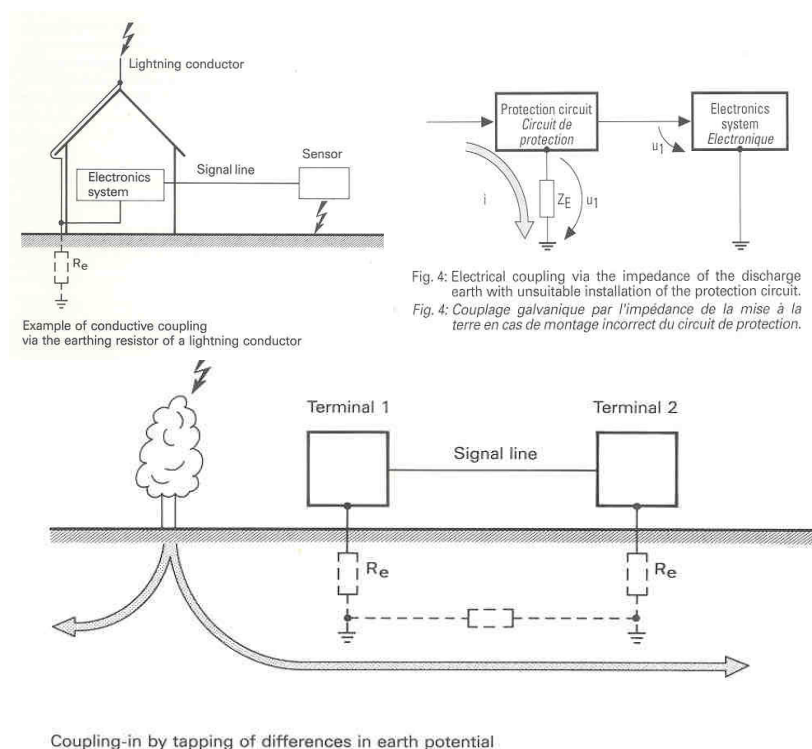


Figura A.1 – Esquema de um local aterrado, com o fluxo da descarga elétrica.

Por isso necessita-se criar um mesmo potencial elétrico em todos os pontos que de certa forma poderão causar alguma avaria em caso de uma descarga elétrica. A equalização ou equipotencialização consiste em criar um mesmo potencial elétrico, entre esses pontos, ligando-os a um único cabo principal de cobre. Evitando assim uma diferença de potencial e em consequência a geração de corrente elétrica entre quaisquer pontos que estiverem ligados ao Cabo Principal.

O aterramento da Plataforma, no Observatório Espacial do Sul CRSPE/INPE – MCT, foi projetada pela Divisão de Engenharia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE/MCT– com uma forte participação dos alunos de Engenharia do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT – e executada pela Cerro Engenharia de Santa Maria – RS.

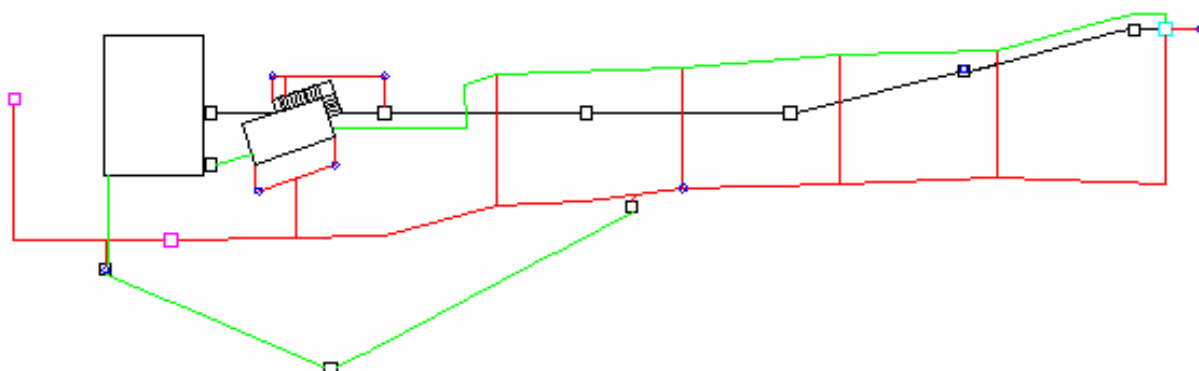


Figura A.2 – Esquema de aterramento da Estação SONDA do Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. Incluindo a Plataforma e a Torre Anemométrica.

A aterragem se deu em duas etapas: o aterramento da plataforma e a equalização de todo o sistema.

No aterramento da plataforma foram usadas quatro hastes de cobre com 2,4 metros de comprimento e 1,5 centímetro de diâmetro. As hastes foram enterradas e interligadas através de um cabo de aterramento, também de cobre, de forma que formaram entorno da plataforma uma cerca. No local onde as hastes foram fixadas o solo foi tratado com uma substância química, um talco vegetal na forma de gel, que tem

a finalidade de diminuir a resistividade do solo em consequência aumentando o potencial elétrico no ponto, e assim proporcionando uma maior eficiência ao aterramento.

Além disso, o cabo de aterramento que interliga as hastes também foi conectado diretamente com a plataforma, passando pelos pés da plataforma e seguindo entre as bancadas para que os equipamentos também fossem ligados diretamente ao cabo.



Figura A.3 – Detalhes do aterramento da Estação SONDA SONDA do Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

Com a plataforma devidamente aterrada a próxima etapa foi a equalização de todo o sistema. O sistema é todos aqueles locais que estão ligados por cabos de força ou de sinal ou são aqueles locais que podem, pela distância, interagir um com o outro caso haja um raio ou um curto. Nesse caso, o sistema é composto pela plataforma metálica, a torre anemométrica, prédio 1, antena de GPS, antena RADIOSONDA e as canalizações metálicas que ligavam a plataforma e a torre anemométrica ao prédio 1.

A equalização foi feita, ligando a um cabo de aterramento de 80 metros e enterrado cerca de 20 centímetros, todos os pontos do sistema. E ainda colocando mais uma haste de aterramento entre a plataforma e a torre e outro em entre as intersecções da canalização metálica.



Figura A.4 – Caixas de controle, tanto do aterramento com para a passagem de cabos no Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.



Figura A.5 – Vista das vias de aterramento até a torre anemométrica no Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.



Com todo o sistema ligado o aterramento foi concluído, medindo ao termino uma resistência de aproximadamente 5 Ohms. Um resultado muito satisfatório uma vez que o recomendável é abaixo de 10 Ohms.

APÊNDICE B

MODELO DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA BRASIL-SR

O Modelo BRASIL-SR é um modelo físico para obtenção de estimativas de radiação solar incidente em superfície, que combina a utilização da aproximação de “Dois Fluxos” na solução da equação da transferência radiativa com o uso de parâmetros determinados de forma estatística a partir de imagens de satélite. Foi desenvolvido no Brasil através de um convenio estabelecido entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – MCT e a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC com base no modelo alemão GKSS (R. Stuhlmaznn, 1990). A cobertura de nuvens é considerada como principal fator de modulação de transmitância atmosférica e as demais propriedades ópticas da atmosfera são parametrizadas a partir de seus valores climáticos.

B.1 – METODO DOS DOIS FLUXOS (“TWO-STREAM METHOD”)

Vários métodos foram desenvolvidos para solucionar numericamente a equação de transferência radiativa de forma precisa. Dentre eles pode-se citar os métodos que utilizam harmônicos esféricos (J. V. Dave e Z. Canos, 1974), ordenadas discretas (K. Liou, 1976), ordens sucessivas de espalhamento (E. Raschke, 1972), Monte Carlo e diferenças finitas. Estas técnicas necessitam de um tempo computacional elevado para a obtenção das estimativas de irradiância solar, principalmente em condições de céu com nuvens de elevada espessura óptica (M. Kerschgens, 1978).

Como alternativa a esses métodos, foram desenvolvidos métodos aproximados que demandam de tempo computacional muito menor para a obtenção de estimativas de irradiação confiáveis por meio da resolução numérica da equação de transferência radiativa. Dentre eles destaca-se o Método de Dois Fluxos e a Aproximação de Eddington bastante utilizados em modelos em uso na atualidade (J. Lenoble, 1985).

O método de Dois-Fluxos se baseia na decomposição do fluxo de radiação em dois sentidos de propagação opostos e na direção perpendicular à superfície – um fluxo de radiação no sentido do topo da atmosfera e o outro incidente na superfície.

Para descrever matematicamente o método, assume-se a geometria mais simples para o meio observador/espalhador (geometria plano-paralela) onde as prioridades do meio são constantes num plano paralelo ao seu contorno e a radiação incidente é constante nesses contornos. Esta é uma boa aproximação para a atmosfera planetária onde as variações verticais de todas as propriedades são muito mais rápidas do que as suas variações horizontais. Nesta geometria, a posição do ponto “M” é descrita apenas por 3 variáveis: a altitude “z”, o ângulo zenital “ θ ” e o ângulo azimutal “ ϕ ”. Dessa forma, a equação de transferência radiativa descrita na equação B.1. pode ser reescrita como:

$$\mu \frac{dL_\lambda(z; \mu; \phi)}{dz} = -\sigma_{e\lambda}(z) [L_\lambda(z; \mu; \phi) - J_\lambda(z; \mu; \phi)] \quad \text{B.1}$$

E os termos das equações B.2. e B.3. como:

$$J_\lambda^{sc}(z; \mu; \phi) = \frac{w_\lambda(z)}{4\pi} \iint_{\text{espaço}} P_\lambda(z; \mu; \phi; \mu'; \phi') L_\lambda(z; \mu'; \phi') d\mu' d\phi' \quad \text{B.2}$$

$$J_\lambda^{em}(z; \mu; \phi) = [1 - w_\lambda(z)] L_\lambda^B(T(z)) \quad \text{B.3}$$

onde $\mu = \cos(\theta)$. As condições de contorno são dadas para a radiância incidente no topo da atmosfera e para a radiância na superfície que “retorna” para o espaço. É conveniente reescrever a equação B.1. utilizando a espessura óptica definida como $d\tau = \sigma_e \lambda dz$.

$$\mu \frac{dL_\lambda(\tau; \mu; \phi)}{d\tau} = -[L_\lambda(\tau; \mu; \phi) - J_\lambda(\tau; \mu; \phi)] \quad \text{B.4}$$

A simplificação que torna a solução da equação de transferência radiativa mais simples sob o ponto de vista matemático é assumir que o fluxo de radiação vertical é independente do ângulo de azimute. Essa hipótese é válida quando a espessura óptica do meio é alta de modo que o feixe de radiação direta perde sua identidade devido ao espalhamento intenso. Esse é o caso da atmosfera com nuvens espessas.

$$F(\tau) = 2\pi \int_0^1 L(\tau, \mu) \mu d\mu \quad \text{B.5}$$

A fim de minimizar os erros causados por essa simplificação, algumas alterações precisam ser feitas como a introdução da razão de retro-espalhamento, β , para parametrizar a função de fase do espalhamento. Dessa forma, a equação de transferência radiativa escrita para fluxos verticais é escrita por:

$$\frac{dF^+(\tau)}{d\tau} = \alpha_1 F^+(\tau) - \alpha_2 F^-(\tau) - \alpha_3 w \pi F e^{-\tau/\mu} \quad \text{B.6}$$

$$\frac{dF^-(\tau)}{d\tau} = \alpha_4 F^+(\tau) - \alpha_5 F^-(\tau) - \alpha_6 w \pi F e^{-\tau/\mu}$$

Onde

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{(1 - w(1 - \beta))}{\mu^+} & \alpha_4 &= \frac{w\beta}{\mu^+} \\ \alpha_2 &= \frac{w\beta}{\mu^-} & \alpha_5 &= \frac{(1 - w(1 - \beta))}{\mu^-} \\ \alpha_3 &= \beta_0 S_0 & \alpha_6 &= (1 - \beta_0) S_0 \end{aligned}$$

Sendo que β_0 é o coeficiente de retro-espalhamento para o sentido contrario ao da incidência da radiação.

Um dos primeiros modelos para estimativa da irradiância solar na superfície a utilizar o método dos Dois-Fluxos na solução da equação de transferência radiativa foi desenvolvido por (M. Kerschgens, 1978).

O modelo de transferência radiativa BRASIL-SR tem auxiliado muito na previsão de radiação, sendo já utilizado na elaboração do Atlas de irradiação Solar do Brasil, que deve ter sua ultima versão apresentada pela Divisão de Clima e Meio Ambiente até o final de Agosto.

APÊNDICE C

TRABALHOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS APRESENTADOS EM EVENTOS

Neste Apêndice estão enumerados os trabalhos, de autoria e co-autoria do bolsista, apresentados em eventos nacionais e internacionais, durante o período de vigência da bolsa PIBIC/INPE – CNPq/MCT no CRSPE/INPE – MCT.

EVENTO: 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

1 – ANÁLISE DA VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS NA REGIÃO DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL: ESTUDO PRELIMINAR.

Autores: Marcelo P. Pes, Leonardo A. Biazzi, **Marcus Guedes**, Sylvio L. Mantelli Neto, Ricardo A. Guarnieri, Enio B. Pereira, Nelson J. Schuch.

2 – COMPORTAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR NO PERÍODO DE AGOSTO/2004 A MARÇO/2005 NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.

Autores: **Marcus Guedes**, Marcelo P. Pes, Leonardo A. Biazzi, Ricardo A. Guarnieri, Sylvio L. Mantelli Neto, Enio B. Pereira, Nelson J. Schuch.

EVENTO: II Deutsch – Brasilianisches Symposium, Santa Maria, Brazil, 12 – 15 September 2005.

1 – THE SONDA PROJECT STATION IN THE INPE’S SOUTHERN SPACE OBSERVATORY IN SOUTH BRAZIL”.

Autores: Jefferson G. Rosetto, Leonardo A. Biasi, Marcelo P. Pes, **Marcus Guedes**, Ricardo A. Guarnieri, Enio B. Pereira, Sylvio Mantelli, Nelson J. Schuch.

EVENTO: XX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2005, de 5 a 9 de Novembro de 2005 – Foz do Iguaçu – Paraná.

1 – AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO DADOS SOLARIMÉTRICOS NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, COM A UTILIZAÇÃO DO ATLAS DE IRRADIAÇÃO SOLAR PARA VALIDAÇÃO, NO PERÍODO DE AGOSTO DE 2004 A JULHO DE 2005.

Autores: Marcus Guedes, Marcelo Pizzuti Pes, Leonardo Artur Biazi, Fernando Ramos Martins, Enio Bueno Pereira, Nelson Jorge Schuch.

EVENTO: IV Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, Santa Maria, RS, 14 – 16 de Dezembro 2005 .

1 – DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA PARCIAL DOS VENTOS NA REGIÃO DE SÃO MARTINHO DA SERRA POR MEIO DA FUNÇÃO DE WEIBULL: DADOS DE AGOSTO DE 2004 A JULHO DE 2005.

Autores: Pes, M.P.; Guedes, M.; Rosetto, J.G.; Biazi, L.A.; Guarnieri, R.A.; Martins, F.R.; Pereira, E.B.; Schuch, N.J.

2 – CORRELAÇÕES ENTRE UMIDADE RELATIVA, NEBULOSIDADE E IRRADIÂNCIA SOLAR NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.

Autores: Guedes, M.; Pes, M. P.; Biazi, L. A.; Rosetto, J. G.; Martins, F. R.; Guarnieri, R. A.; Pereira, E. P.; Schuch, N. J.

EVENTO: XX Jornada Acadêmica Integrada – Santa Maria – Março de 2006.

1 – SISTEMA DE FUNCIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PAR LITE E LUX LITE DO PROJETO SONDA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.

Autores: Jefferson G. Rosetto, Marcelo P. Pes, Leonardo A. Biazi, Marcus Guedes, Ricardo A. Guarnieri, Enio Pereira, Sylvio Mantelli, Nelson J. Schuch.

2 – CÁLCULO DO COMPRIMENTO DE RUGOSIDADE PARA FINS EÓLICOS DA REGIÃO DE SÃO MARTINHO DA SERRA: DADOS DE AGOSTO DE 2004 A JULHO DE 2005.

Autores: Marcelo P. Pes, **Marcus Guedes**, Jefferson G. Rosetto, Leonardo A. Biazzi, Ricardo A. Guarnireri, Fernando R. Martins, Enio B. Pereira, Nelson J. Schuch.

EVENTO: I Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia e III Jornada de Palestras dos Estudantes de Meteorologia – UFPel – Pelotas, RS – Junho de 2006.

1 – ANÁLISE DE DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E DIFUSA DA ESTAÇÃO SONDA DE SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, BRASIL (29,4° S, 53,8° O).

Autores: **Guedes, M.**; Fiorin, D. V.; Pes, M. P.; Bertagnolli, R. F.; Schuch, N. J.; Guarnieri, R. A.; Martins, F. R.; Pereira, E. B.



APÊNDICE D

CERTIFICADOS

Este Apêndice apresenta os certificados dos trabalhos apresentados como autor, co-autor e participação em eventos nacionais, internacionais e atividades de extensão dos quais o aluno participou durante o período de vigência da Bolsa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, no CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria.

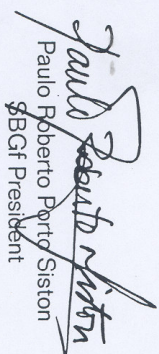
9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXP0GCF

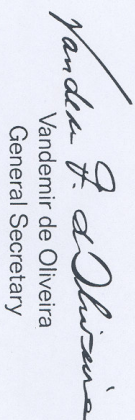
Salvador 2005

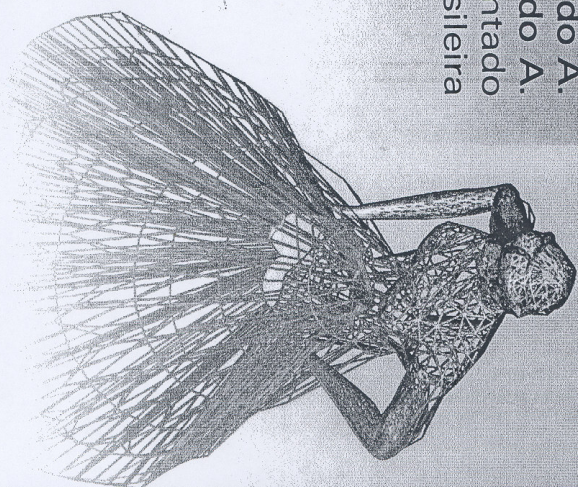


Certificamos que o trabalho intitulado Análise da Velocidade Média dos Ventos na Região do Observatório Espacial do Sul: estudo preliminar, de autoria de "Marcelo P. Pes, "Leonardo A. Biazzi", "Marcus Guedes", "Sylvio L. Mantelli Neto", "Ricardo A. Guarnieri", Enio B. Pereira, Nelson J. Schuch foi apresentado durante o 9^o Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica.

Salvador, 14 de setembro de 2005.


Paulo Roberto Porto Siston
SBGf President


Vandemir de Oliveira
General Secretary



Salvador, Bahia, Brazil – Bahia Convention Center – September 11-14, 2005

9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF

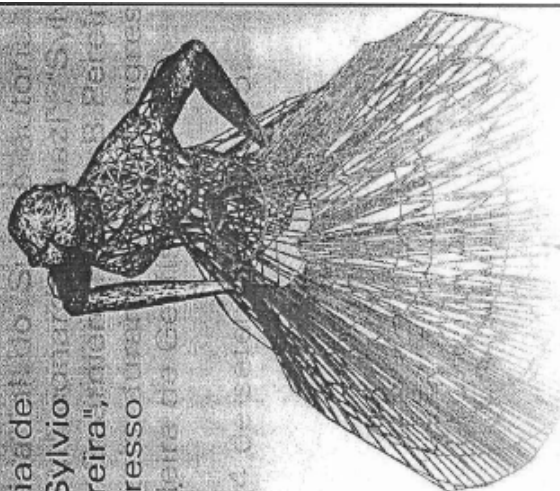


Certificamos que o trabalho intitulado "Comportamento da Radiação Solar observado no período de Agosto/2004 a Março/2005 no Observatório Espacial do Sul de autoria de: "Marcus Guedes, "Marcelo P. Pes", "Leonardo A. Biazzi", "Sylvio L. Mantelli Neto", "Ricardo A. Guarnieri", "Enio B. Pereira", "Nelson J. Schuch" foi apresentado durante o 9º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica e Geofísica do Brasil, Salvador, 14 de setembro de 2005.

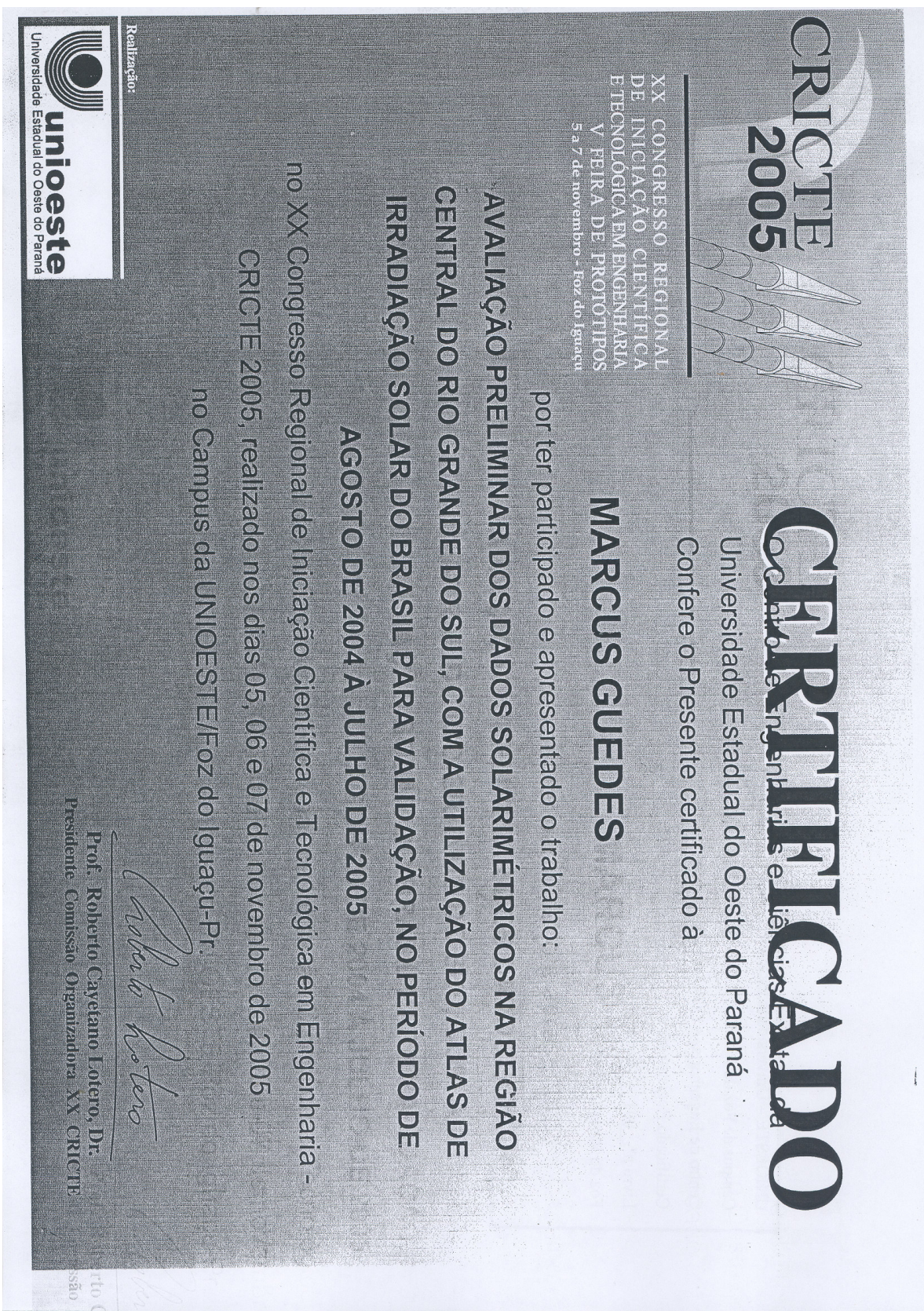
Salvador, 14 de setembro de 2005.

Paulo Roberto Porto Siston
Paulo Roberto Porto Siston
SBGf President

Vander F. de Oliveira
Vander F. de Oliveira
General Secretary



Salvador, Bahia, Brazil – Bahia Convention Center – September 11-14, 2005

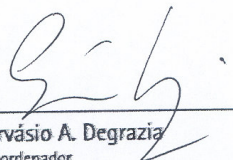


IV Brazilian Micrometeorology Workshop

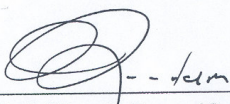
CERTIFICADO

Certificamos que **MARCELO PIZZUTI PES**

participou do IV Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, na Universidade Federal de Santa Maria, realizado entre os dias 14 e 16 de dezembro de 2005, com a apresentação de trabalho em painel.



Prof. Dr. Gervásio A. Degrazia
Coordenador



Prof. Edgardo Ramos Medeiros
Diretor do CCNE



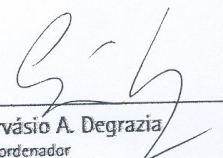
Patrocínio:



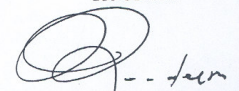
IV Brazilian Micrometeorology Workshop

CERTIFICADO

Certificamos que **MARCUS GUEDES**
participou do IV Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, na Universidade Federal
de Santa Maria, realizado entre os dias 14 e 16 de dezembro de 2005, com a
apresentação de trabalho em painel.



Prof. Dr. Gervásio A. Degrazia
Coordenador



Prof. Edgardo Ramos Medeiros
Diretor do CCNE



Patrocínio:





Certificado



Certificamos que
MARCELO PIZZUTI PES
ENIO BUENO PEREIRA
FERNANDO RAMOS MARTINS
MARCUS GUEDES
NELSON JORGE SCHUCH
RICARDO ANDRÉ GUARNIERI

Participou da XX Jornada Acadêmica Integrada da UFSM,
nos dias 8, 9 e 10 de março de 2006, com o trabalho
CÁLCULO DO COMPRIMENTO DE RUGOSIDADE
PARA FINS EÓLICOS DA REGIÃO DE SÃO
MARTINHO DA SERRA: DADOS DE AGOSTO DE
2004 A JULHO DE 2005

Comissão Executiva
Março de 2006



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO E CULTURA

O Pró-Reitor de Extensão e Cultura, no uso de suas atribuições, certifica que

MARCUS GUEDES

participou do “I Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia e III Jornada de Palestras dos Estudantes de Meteorologia – UFPel”, realizado de 05 a 09 de junho de 2006, promovido pelo Departamento de Meteorologia da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, apresentando o trabalho **Análise de Dados de Radiação Solar Global E Difusa da Estação Sonda de São Martinho da Serra, RS, Brasil (29,4°S; 53,8°O)** tendo como autores GUEDES, M.; FIORIN, D. V.; PES, M. P.; BERTAGNOLLI, R. F.; SCHUCH, N. J.; GUARNIERI, R. A.; MARTINS F. R.; PEREIRA E. B. sob a forma de Comunicação Oral e Pôster.

Pelotas, 09 de junho de 2006

Prof. Dr. Vitor Hugo Borba Manzke
Pró-Reitor de Extensão e Cultura

