

PROJETO SONDA – REDE NACIONAL DE ESTAÇÕES PARA COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS APLICADOS AO SETOR DE ENERGIA.

Fernando Ramos Martins – fernando@dge.inpe.br

Ricardo André Guarnieri – ricardog@cptec.inpe.br

Rafael Carvalho Chagas – rafael@dge.inpe.br

Sylvio Luis Mantelli Neto – sylvio@labsolar.ufsc.br

Enio Bueno Pereira – eniobp@cptec.inpe.br

Eliana Andrade – elian@cptec.inpe.br

Celso Thomaz – celso@lim.cptec.inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos –
Divisão de Clima e Meio Ambiente (DMA/CPTEC/INPE)

1.2 Potencial Solar e Eólico

Resumo. Este artigo apresenta os resultados e produtos oferecidos pelo Projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais voltado para o setor de energia), muitos deles já disponíveis para acesso público na INTERNET. O Projeto SONDA é desenvolvido pelo CPTEC/INPE com financiamento FINEP e PETROBRÁS. O objetivo principal do projeto é prover dados de alta qualidade para a validação de modelos físicos ou empíricos utilizados em diversas áreas da atividade humana para estimativa de potencial energético de fontes renováveis. Para isso, o projeto configurou, instalou e opera uma rede de estações de superfície espalhadas pelo território nacional utilizando equipamentos de primeira linha para aquisição de dados de direção e velocidade do vento em 10m, 25m e 50m de altura; e das componentes global, difusa, direta e PAR do fluxo de radiação solar incidente. Além disso, iluminância e dados meteorológicos básicos como temperatura, pressão atmosférica, umidade e cobertura de nuvens também são coletados. Os critérios básicos que nortearam a seleção dos locais das estações foram a coleta de dados nos diversos microclimas existentes no Brasil, o potencial de exploração de energia solar e eólica em função de resultados apresentados por estudos ou experimentos anteriores e a presença de instituições e/ou pesquisadores que possam colaborar com a operação e manutenção de estações nas localidades onde a infraestrutura do INPE não está presente. Este artigo apresenta a configuração de cada uma das quatro classes de estações do projeto SONDA descrevendo os equipamentos e dados coletados. Discute também o procedimento empregado para a qualificação e controle de qualidade desses dados. A qualificação visa oferecer dados com maior confiabilidade, baseando-se nos critérios definidos pela WMO. Códigos de qualidade são atribuídos aos dados coletados na rede SONDA com intuito de indicar a que procedimentos de controle de qualidade foram submetidos e a avaliação encontrada.

Palavras-chave: Energia Solar, Energia Eólica, Sensoriamento Remoto, Projeto SONDA.

1. INTRODUÇÃO

O estilo de vida moderno demanda um fornecimento de energia contínuo e confiável. O desenvolvimento humano, medido por parâmetros sócio-econômicos, está fortemente relacionado ao consumo per capita de energia de forma que um crescimento da demanda energética é esperado em função da melhoria das condições de vida nos países em desenvolvimento como o Brasil.

Esse crescimento da demanda de energia traz a tona discussões em diversas áreas do conhecimento humano, desde a economia, o desenvolvimento tecnológico até a preocupação com as consequências ambientais que o atendimento dessa demanda irá provocar. Nesse sentido, as fontes alter-

nativas de energia renováveis vem recebendo forte estímulo uma vez que apresentam os menores impactos no meio ambiente. Estudos relatados pelo IPCC (2001) atestam a necessidade de adoção de fontes renováveis de energia nas próximas décadas com o intuito de reduzir as emissões de gases do efeito estufa em consequência da queima de combustíveis fósseis.

No entanto, o desenvolvimento de projetos, bem como o planejamento energético, necessita de informações e dados que forneçam o suporte necessário para o processo de tomada de decisões por investidores, empresas públicas e privadas e organizações governamentais ou não. Sem informação confiável sobre os recursos energéticos disponíveis e a variabilidade desses recursos em função de condições naturais ou antropogênicas, investidores potenciais tendem a evitar o risco econômico das atividades e projetos para a adoção das fontes de energia solar e eólica.

Com o intuito de atender parte dessa demanda, o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais vem contribuindo com o desenvolvimento de projetos que geram base de dados confiáveis sobre os recursos renováveis, com ênfase em energia solar e eólica. Um desses projetos tem como objetivo a instalação de uma rede de estações de coleta de dados meteorológicos e ambientais em superfície voltada a atender a demanda de informações do setor de energia. Este artigo tem como objetivo descrever sucintamente a rede SONDA, apresentando a localização e configuração das estações, a base de dados disponível e os testes e procedimentos empregados na qualificação dessa base de dados.

2. DESCRIÇÃO DA REDE SONDA

SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais para o setor de energia) é um projeto desenvolvido e coordenado pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) para implementação de uma rede de coleta de dados destinada levantar e melhorar a base de dados sobre os recursos de energia solar e eólica no Brasil. A base de dados gerada pelo projeto SONDA tem como objetivo principal dar suporte técnico-científico ao setor energético através do atendimento à demanda de informações confiáveis sobre os recursos renováveis de energia, e à capacitação de recursos humanos. O projeto SONDA possibilita a aquisição e aprimoramento do conhecimento científico sobre o potencial disponível dos recursos solar e eólico, bem como sobre a variabilidade dos recursos em função de causas naturais e antropogênicos.

A rede SONDA possui um total de 25 estações, sendo que algumas ainda se encontram em fase de implantação. As estações SONDA estão divididas em quatro categorias: estações de referência, estações solares avançadas, estações solares básicas e estações eólicas. A Tab. 1 apresenta uma descrição detalhada dos sensores utilizados em cada categoria de estações da rede SONDA e a Fig. 1 apresenta o mapa com a localização das estações. Informações mais detalhadas sobre a localização das estações (lat./long, imagens da região e outros dados geográficos) bem como acesso a base de dados coletados pode ser obtidos no sítio www.cptec.inpe.br/sonda.

Cinco estações de referência compõem a rede SONDA sendo que apenas a estação a ser localizada em Cachoeira Paulista ainda não se encontra em operação. A localização das cinco estações foi selecionada de modo a representar as principais regiões macroclimáticas do país: a região semi-árida do Nordeste, a região amazônica, a região do cerrado no Planalto Central, a região de clima temperado no sul do Brasil e a região Sudeste. Estas estações dispõem de sensores para a coleta de dados de todas as componentes da irradiação solar (difusa, direta e global); dados de iluminância e de radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Além dos dados relativos à radiação solar, as estações coletam dados meteorológicos básicos (temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica) e dados eólicos (direção e velocidade) com sensores dispostos a alturas de 25 e 50m em relação ao solo.

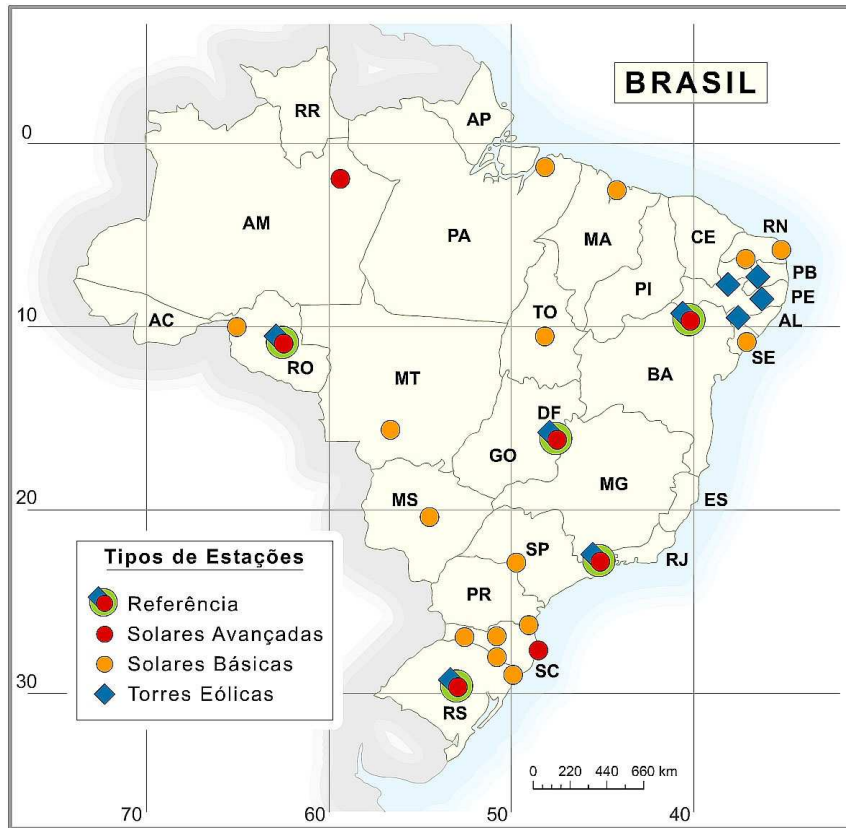


Figura 1. Localização das estações de superfície da rede SONDA.

Tabela 1. Configuração mínima para cada categoria das estações da rede SONDA.

Sensores	Categoria da Estação			
	Referência	Solar Completa	Solar Básica	Torres Eólicas
Fotômetro Solar	X			
Imageador do céu	X			
Solar Tracker	X	X		
Irradiação Global	X	X	X	
Irradiação Difusa	X	X	X	
Irradiação Direta	X	X		
Onda Longa	X	X		
PAR	X	X	X	
LUX	X	X	X	
Temperatura	X	X	X	
Umidade Relativa	X	X	X	
Pressão Atmosférica	X	X	X	
Precipitação	X	X	X	
Anemometro a 10m	X	X	X	
Anemometro a 25m	X			X
Anemometro a 50m	X			X
Temperatura a 1m	X			
Temperatura a 25m	X			X
Temperatura a 50m	X			X

A categoria “solares avançadas” possui duas estações que estão em operação desde a segunda metade da década passada e já integram a rede BSRN (Baseline Solar Radiation Network). Essas estações foram integradas ao Projeto SONDA a partir de agosto/2004 e apresentam os mesmos sensores que as estações de referência para medidas de irradiação solar, incluindo sensores de iluminação e radiação PAR. Estas estações não coletam dados eólicos, mas possuem os sensores para aquisição de dados meteorológicos básicos.

As estações “solares básicas” fornecem apenas dados de irradiação solar global e difusa em regiões de grande interesse do ponto de vista de desenvolvimento científico e validação de modelos de transferência radiativa como a região Nordeste que apresenta baixa cobertura de nuvens durante todo o ano e a região amazônica que apresenta condições de nebulosidade persistente durante o verão e que pode ser um pólo importante para o desenvolvimento de projetos de aproveitamento da energia solar em função de aspectos ambientais e sócio-econômicos. Assim como nas estações das categorias anteriores, os dados de irradiação solar e iluminação são coletados a cada segundo e valores médios são armazenados com a resolução temporal de um minuto.

As estações eólicas foram configuradas para fornecer dados para comparação com estimativas fornecidas por modelos climáticos e validação de mapas eólicos. Estas estações dispõem de sensores para coleta de temperatura, direção e velocidade do vento a 25 e 50m do solo. Os dados são medidos a cada segundo, mas são armazenados os valores médios com resolução temporal de 10 minutos, além dos valores máximos e mínimos nesse mesmo período.

3. CONTROLE DE QUALIDADE DOS DADOS COLETADOS

Com o intuito de garantir a qualidade e a confiabilidade da base de dados disponibilizada pela rede SONDA, está em fase de implantação um programa de controle de qualidade que estabelece testes e critérios que os dados coletados devem atender. A adoção desses critérios tem como objetivo, além de garantir a qualidade dos dados coletados, a inclusão das estações SONDA na rede BSRN em um futuro breve. A qualificação dos dados também serve como referência para a necessidade de manutenção e ajustes nos sensores de uma estação específica.

3.1 Qualificação das medidas radiométricas e fotométricas

O processo de qualificação dos dados obtidos pelas estações SONDA baseia-se na estratégia de controle de qualidade adotada pela BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*). Assim como o WRMC (*World Radiation Monitoring Center*) procede com relação aos dados da BSRN, o projeto SONDA não altera sua base de dados original, mas sim executa um método de controle de qualidade que não corrige os dados, apenas sinaliza aqueles suspeitos de estarem incorretos, gerando um código de qualificação para cada dado coletado. Os códigos de qualidade são armazenados em arquivos que podem ser obtidos e consultados pelos usuários, ficando a seu critério a utilização ou não do dado suspeito.

O programa de controle de qualidade é composto de quatro procedimentos seqüenciados em função do grau de complexidade, isto é, o procedimento menos complexo é executado antes do mais complexo. Os procedimentos têm como objetivo avaliar: (1) se o dado coletado é “*fisicamente possível*”, (2) se o dado coletado é “*extremamente raro*”, (3) se há “*consistência*” entre os dados coletados por vários sensores, e (4) resultados de “*comparação com modelo*”. O código de qualidade aplicado a um registro da base de dados é composto de um valor numérico de 4 dígitos onde cada um representa o resultado dos procedimentos de qualidade mencionados acima. Em resumo, o primeiro dígito (da direita para a esquerda) sinaliza se o valor medido é fisicamente possível (dígito recebe o valor “9”) ou se é suspeito de erro (dígito recebe o valor “2”). Da mesma forma o segundo dígito representa o resultado obtido na avaliação “*extremamente raro*”, e assim por diante. A Tab. 2 apresenta os valores que podem assumir cada um dos quatro dígitos do código de qualidade. No momento, o quarto procedimento ainda não foi implantado no programa de qualidade da rede SONDA e, dessa forma, o quarto dígito do código de qualidade recebe o valor “0” (zero). A Fig. 2

apresenta o diagrama em blocos do programa de qualificação dos dados de irradiação solar e iluminação.

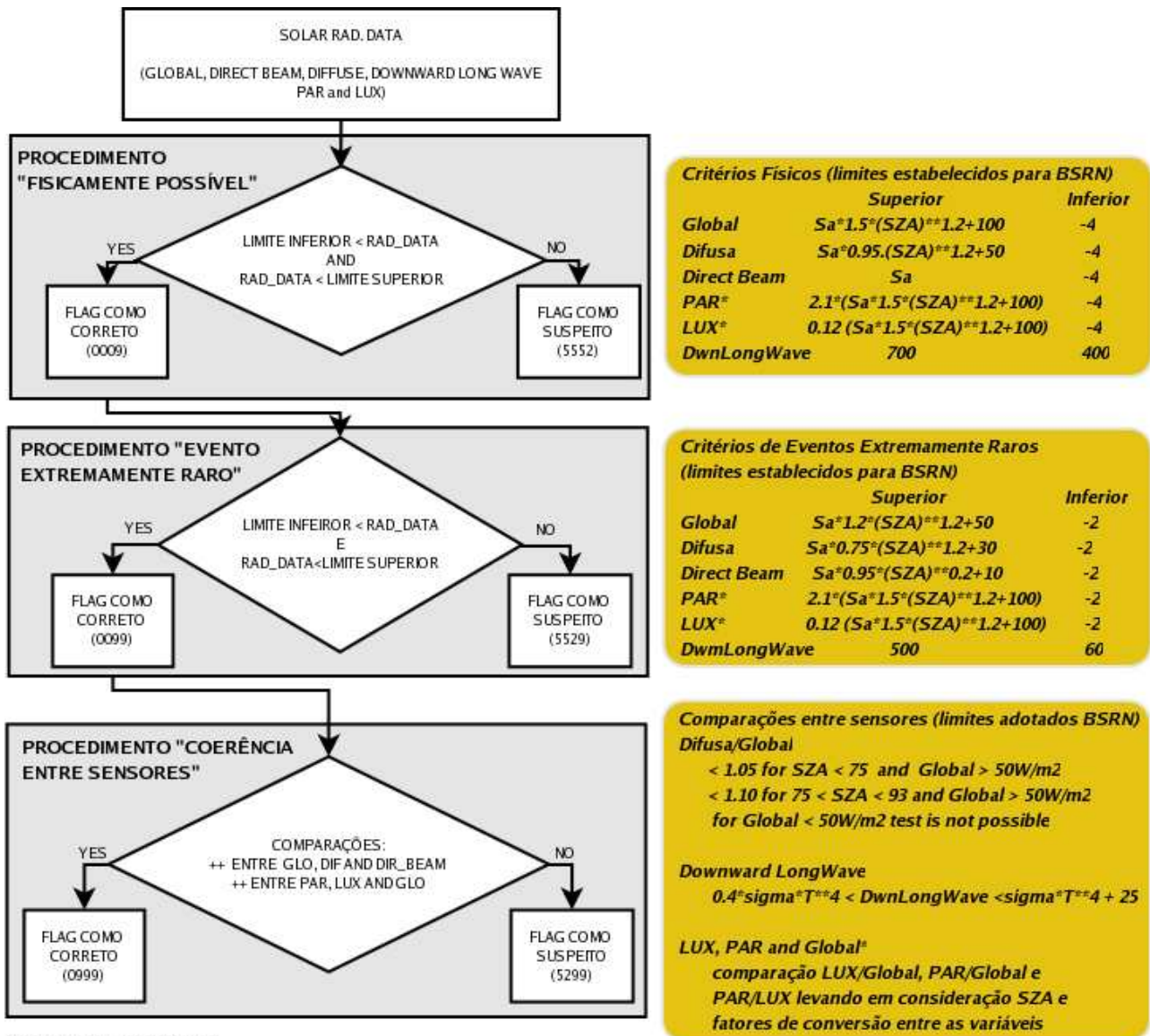
Tabela 2. Definição dos valores dos algoritmos presentes no código de validação de cada dado coletado em uma estação da rede SONDA.

Procedimento	Dígito	Não Executado	Não pode ser Executado	Dado Suspeito	Dado Correto	Exemplo
Fisicamente Possível	1	0	5	2	9	0009
Extremamente Raro	2	0	5	2	9	0099
Consistência entre Sensores	3	0	5	2	9	0299
Comparação com Modelo	4	0	5	2	9	5299

Com a finalidade de verificar a aplicação e avaliar os resultados da aplicação dos procedimentos de controle de qualidade adotado para a rede SONDA, utilizou-se dados coletados mês de novembro de 2005 na estação localizada em São Martinho da Serra (RS). A Fig. 3 apresenta um gráfico da estatística dos resultados obtidos no processo de qualificação dos dados. Todos os dados medidos de irradiação solar global foram rotulados como corretos nos procedimentos “Fisicamente Possível” (Teste 1) e “Extremamente Raro” (Teste 2) e cerca de 20% foram classificados como suspeito no teste de “Consistência entre Sensores”. É importante ter em mente que o terceiro procedimento (“Consistência entre Sensores”) do programa de qualificação só é aplicado aos dados medidos que foram classificados corretos pelos procedimentos anteriores.

Os valores de temperatura do ar, necessários para aplicação do terceiro procedimento aos dados coletados pelo sensor de radiação de onda longa (Fig. 2), também estão sujeitos a testes de qualidade antes de serem utilizados. O terceiro procedimento só é executado se os dados coletados de radiação de onda longa e temperatura do ar forem classificados como corretos nos procedimentos anteriores de avaliação da qualidade. Os testes de qualidade aplicados aos dados de temperatura do ar estão descritos no próximo tópico.

É importante comentar que os resultados obtidos no processo de qualificação dos dados coletados podem indicar a necessidade de manutenção dos equipamentos instalados em estações que estão operando em locais onde o INPE não possui infra-estrutura própria para a manutenção rotineira dos equipamentos. Um exemplo a ser citado ocorreu com os dados de irradiação solar difusa e direta coletados na estação de referência de Ouro Preto d’Oeste situada na região Amazônica. A aplicação dos procedimentos de controle de qualidade mostrou que esses dados estavam suspeitos de erro, apesar de atenderem os limites estabelecidos para os procedimentos de fisicamente possível e eventos extremamente raros. A causa provável, e posteriormente comprovada, foi o desalinhamento do “tracker” que era responsável pelo posicionamento pirheliometro e do ocultador do disco solar para o piranômetro utilizado para medida de irradiação difusa.



RAD_DATA - dado medido
 SZA - Coseno do Ângulo Zenital Solar
 LUX - Iluminância
 PAR - Radiação Fotosinteticamente Ativa
 Glo - Radiação Solar Global
 Dif - Radiação Solar Difusa
 Dir - Radiação Solar Direta
 sigma - Constante de Boltzmann
 T - Temperatura do Ar
 Sa - Constante Solar corrigida para distância Terra/Sol
 Unidades de todos os limites estão em Watt por metro quadrado

Figura 2. Diagrama em blocos do programa de controle de qualidade de dados radiométricos e fotométricos coletados nas estações da rede SONDA.

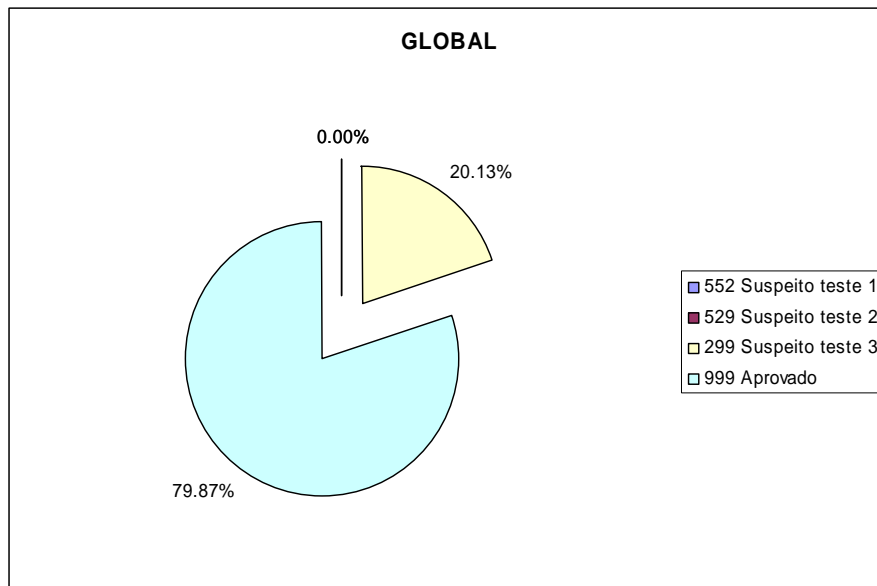


Figura 3. Estatística da classificação dos dados de irradiação solar global coletados na estação de São Martinho da Serra (RS) após a aplicação dos procedimentos de controle de qualidade.

3.2 Qualificação dos dados meteorológicos (dados eólicos, temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade relativa e precipitação pluviométrica)

O processo de controle de qualidade dos dados meteorológicos engloba os testes aplicados aos dados coletados pelos sensores de direção e velocidade do vento em todas as altitudes disponíveis na estação em consideração, dados de temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica. Quando sensores de precipitação pluviométrica estão disponíveis, os dados coletados também são submetidos aos testes de controle da qualidade.

O controle de qualidade aplicado aos dados meteorológicos segue a mesma metodologia empregada para a qualificação dos dados radiométricos e fotométricos. Os critérios e limites adotados em cada um dos procedimentos de controle de qualidade estão baseados na metodologia estabelecida pelo Meteorological Research Center (MRC) e publicados na INTERNET (WEBMET, 2006). No momento, três procedimentos são aplicados para a qualificação dos dados meteorológicos. O primeiro procedimento visa avaliar se o valor coletado é “Fisicamente Possível” de ocorrer. Os dois procedimentos seguintes tem como finalidade avaliar a variabilidade dos dados coletados de uma dada variável num determinado período de tempo. Caso a variabilidade dos dados coletados apresente valores muito baixos ou muito elevados e fisicamente impossíveis de ocorrer, os dados serão classificados como suspeitos.

Os critérios estabelecidos para os dados de “Temperatura do Ar” e “Pressão Atmosférica” no primeiro procedimento “Fisicamente Possível” estão baseados em climatologia local. Quando dados de normais climatológicas não estão disponíveis para a região onde a estação SONDA está localizada, procura-se utilizar dados históricos de estações meteorológicas próximas, como por exemplo, dados coletados em aeroportos, que mantenham as características físicas semelhantes (altitude, latitude, vegetação e uso do solo, etc.) ao local onde a estação está localizada.

No momento, os dados de umidade relativa estão sendo avaliados apenas no procedimento “Fisicamente Possível”. Os dados de pressão atmosférica são avaliados apenas nos dois primeiros procedimentos. Estudos estão em andamento a fim de verificar a adequação e estabelecer os limites dos demais procedimentos para essas variáveis.

A Fig. 4 apresenta o diagrama em blocos do programa de controle de qualidade com uma descrição sucinta dos critérios adotados para a classificação dos dados como corretos ou suspeitos. Os códigos de qualidade atribuídos para cada dado coletado são formados com quatro dígitos, sendo

que cada um representa um procedimento do programa de controle de qualidade. Novamente, o algarismo mais a direita do código de qualidade representa o primeiro procedimento, e assim por diante.

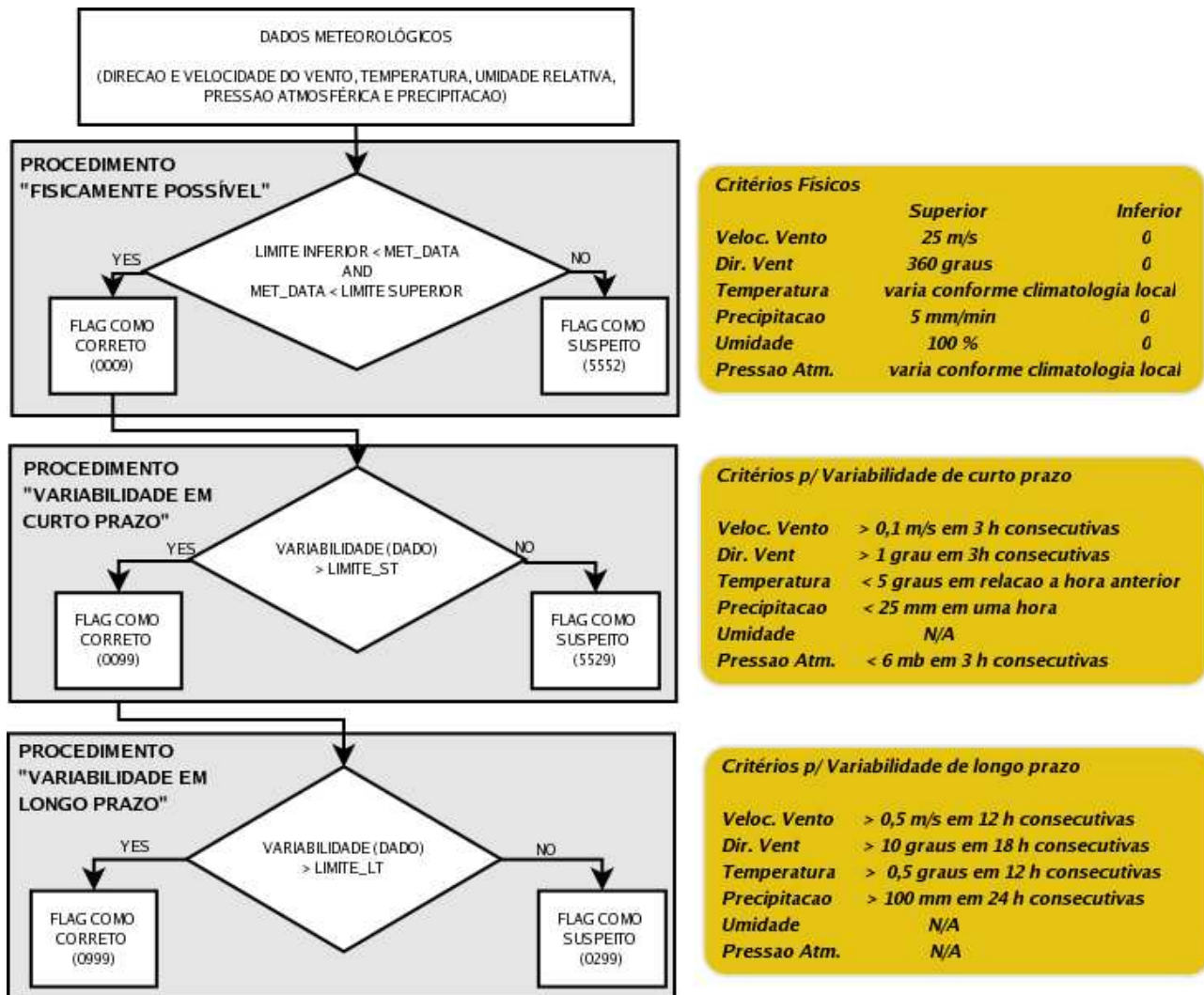


Figura 4. Diagrama em blocos do programa de controle de qualidade de dados eólicos e meteorológicos coletados nas estações da rede SONDA.

4. CONCLUSÕES

A implantação da rede SONDA teve como objetivo atender a demanda por uma base de dados eólicos e de radiação solar com a confiabilidade necessária para dar suporte ao desenvolvimento de projetos de aproveitamento das fontes renováveis de energia, principalmente, a energia solar e eólica. Quatro diferentes categorias de estações estão sendo implantadas em diversos pontos do território brasileiro de modo a cobrir as diferentes condições climáticas presentes no Brasil. Dessa forma, será possível avaliar a confiabilidade dos mapeamentos dos recursos renováveis hoje disponíveis e aperfeiçoar os modelos climáticos e de transferência radiativa em uso na atualidade. Um programa de controle de qualidade dos dados coletados na rede SONDA está em implantação com o objetivo de estabelecer níveis de confiabilidade, de modo que o usuário da base de dados possa avaliar a utilidade do dado para sua aplicação. Além disso, os resultados apresentados pelo programa de controle de qualidade são indicativos da existência de problemas operacionais nas estações de coleta de dados permitindo uma maior agilidade na manutenção e redução das janelas temporais em que nenhum dado correto foi coletado.

Esse programa de controle de qualidade dos dados segue a metodologia estabelecida pela WMO para a rede internacional de coleta de dados de radiação solar BSRN e critérios estabelecidos pela MRC para qualificação de dados meteorológicos coletados em superfície. Os resultados do programa de qualidade ainda são preliminares, mas já apresentaram resultados práticos satisfatórios. Os dados qualificados foram utilizados com sucesso na etapa de validação das estimativas de irradiação solar apresentadas no Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006). Além disso, os resultados do programa de qualidade dos dados indicaram a necessidade de manutenção corretiva em algumas estações da rede SONDA situadas em locais distantes da infra-estrutura do CPTEC/INPE.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP (projeto SONDA – 22.01.0569.00) e ao CNPq pelo suporte financeiro aos pesquisadores e estudantes envolvidos no Projeto SONDA. Agradecimento especial a toda a equipe do Laboratório de Instrumentação Meteorológica pelo suporte e apoio no desenvolvimento das atividades de implantação, operação e manutenção das estações SONDA.

REFERÊNCIAS

- CPTEC/INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: PNUMA, 2006.
- BSRN, Baseline Solar Radiation Network – Quality Assurance of Database. World Meteorological Organization. [online]: <http://bsrn.ethz.ch/>, 2006.
- SONDA, Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – CPTEC/INPE. [online]: <http://www.cptec.inpe.br/sonda/>, 2006.
- WEBMET, Quality Assurance and Quality Control. The Meteorological Resource Center. [online]: http://webmet.com/met_monitoring/8.htm, 2006.

SONDA NETWORK – BRAZILIAN SYSTEM TO ACQUIRE METEOROLOGIC AND ATMOSPHERIC DATA TO THE ENERGY SECTOR

Abstract. *This article aims presenting the set up and quality control program established to solar and aeolic data acquired in SONDA (Brazilian Environmental Database System for energy sector) network. The main goal of SONDA network is to provide reliable ground data using high quality equipament and quality codes for each collected data. SONDA sites are categorized in four groups: reference sites, full-data solar site, and basic-data solar site and aeolic towers. The solar data quality control program is based on similar criteria and bounds established by WMRC for BSRN. Meteorological and wind data (wind direction and velocity, air temperature, relative humidity, atmospheric pressure and precipitation) are submitted to quality control using criteria adopted by WMO. Measured data receive a quality code in order to indicate if a ground data is trustworthy. Until now, three procedures are being applied to the SONDA database: physically possible, extremely rare events and across quantities verification. Preliminary results are shown for SONDA site operating in São Martinho da Serra (RS). All the information on the SONDA sites and access to the SONDA database are available to the public in www.cptec.inpe.br.*

Key words: Solar Energy, Wind Energy, Remote Sensing, SONDA project.