

TRATAMENTO, DISPONIBILIDADE E UTILIZAÇÃO EM PROJETOS DE ENGENHARIA DE DADOS CLIMÁTICOS COLETADOS PELO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Fabio Scopinho Pancher

Instituto de Engenharia Mecânica, UNIFEI, Itajubá, MG

E-mail: scopinho@unifei.edu.br

Tel.: (0xx35) 8808-3061

Ricardo Dias Martins de Carvalho¹

Instituto de Engenharia Mecânica (IEM)

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Av. BPS, 1.303 – Bairro Pinheirinho

Itajubá, MG

E-mail: martins@unifei.edu.br

Tel.: (0xx35) 3629-1304

Flávio de Carvalho Magina

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)

Instituto Nacional de Estudos Espaciais (INPE)

Rodovia Presidente Dutra, Km 40 SP-RJ Cachoeira Paulista, SP

E-mail: magina@cptec.inpe.br

Tel.: (0xx12) 3186-8400

Resumo. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) dispõe de uma rede de plataformas de coleta de dados climáticos (PCDs) utilizados para previsão do tempo. Entre estes, encontram-se dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, fluxo de radiação solar e velocidade e direção dos ventos, variáveis estas de extrema importância também em trabalhos de engenharia (por exemplo, projetos de sistemas de condicionamento de ar e equipamentos solares). O presente artigo apresenta a rede de PCDs do INPE e discute os métodos de tratamento dos dados para aplicação em engenharia. São apresentados também modelos das planilhas e gráficos do Microsoft EXCEL que estarão disponíveis aos usuários pela Internet.

Palavras-chave. Dados climáticos, INPE, UNIFEI, planilhas, aplicações em engenharia.

1. INTRODUÇÃO

São inúmeros os processos e equipamentos cujo desempenho é diretamente afetado pelas condições climáticas locais. Sistemas de condicionamento de ar, aquecedores solares, painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas são apenas alguns exemplos. O projeto e a análise do desempenho destes equipamentos requer a disponibilidade de dados climáticos confiáveis. Das fontes de dados climáticos no Brasil a que se teve acesso, verificou-se que apenas o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) possuem redes de plataformas ou estações de coleta de dados espalhadas por todo o Brasil. Ainda assim, os dados climáticos colhidos no país por diferentes agências e institutos são geograficamente esparsos, geralmente não

¹ Autor para correspondência.

são horários e, muitas vezes, são relativamente recentes. Mais ainda, parece não haver até o momento um órgão centralizador e organizador destes dados.

Está em desenvolvimento na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) um estudo visando exatamente identificar em pormenores as fontes de dados climáticos no Brasil e verificar a possibilidade de compatibilização de dados de fontes distintas de modo a formar uma malha geograficamente mais fina. Posteriormente, pretende-se gerar dados climáticos sintéticos para localidades que não disponham de estações ou plataformas de coleta de dados. Este artigo representa o primeiro passo nesse sentido. Estabelecem-se aqui procedimentos padronizados e informatizados de organização e tratamento de dados climáticos e discute-se a disponibilidade dos dados tratados aos usuários. O INPE foi escolhido como ponto de partida para este estudo pelo fato de sua rede de coleta de dados ser toda informatizada e os dados coletados nos serem disponíveis por meio de uma cooperação UNIFEI/INPE.

2. O SISTEMA BRASILEIRO DE COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS (INPE)

No dia 09 de fevereiro de 1993, entrou em órbita o *Satélite de Coleta de Dados 1* (SCD-1) desenvolvido pelo INPE e com capacidade para coletar registros de até 500 PCDs. Estas plataformas abrigam instrumentos como termômetros, pluviômetros e anemômetros e possuem um dispositivo automático que transmite ao satélite as informações coletadas. A partir de 01 de março de 1993, a Estação Terrena de Cuiabá (INPE) começou a receber os dados coletados pelo SCD-1 das várias PCDs espalhadas pelo Brasil (116 PCDs, ver inserto). O SCD-1 passa pelo Brasil cerca de oito vezes ao dia, o que significa que os dados são coletados de três em três horas. Da Estação Terrena de Cuiabá, os dados são enviados ao Centro de Missão de Coleta de Dados (CMCD-INPE) localizado em Cachoeira Paulista, SP. O CMCD em seguida processa e distribui os dados brutos a usuários em todo o país. As medidas e os sensores de interesse neste trabalho são discutidos a seguir.



Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

O sensor de temperatura é um resistor de platina, que apresenta uma relação precisa e estável entre resistência elétrica e temperatura. O sensor de umidade relativa é um filme higroscópico posicionado entre dois eletrodos, constituindo um capacitor. A capacitância depende da umidade absorvida pelo filme higroscópico (o dielétrico do capacitor) e é função da umidade relativa do ar. Os elementos sensores são colocados dentro de um invólucro único protegido por um filtro poroso, o qual garante que ambos estejam amostrando as mesmas condições e protegidos contra poeira e água. A fim de evitar a exposição direta dos sensores à chuva e aos raios solares, mas ao mesmo tempo garantir que os mesmos recebam ventilação adequada para permitir o equilíbrio com a atmosfera à sua volta, o conjunto é protegido por uma espécie de chapéu de plástico ou alumínio. As temperaturas são coletadas a cada um minuto, com atualização a cada três horas, enquanto a umidade relativa do ar, em porcentagem (%), é medida instantaneamente a cada três horas. Em vista da geometria do sensor, conclui-se que se trata da umidade relativa coincidente com a temperatura de bulbo seco.



Sensor de Radiação Solar Global

Trata-se de um instrumento que fornece uma corrente elétrica proporcional à radiação recebida do hemisfério centrado na direção perpendicular ao eixo de montagem do sensor. O elemento sensor, uma junção semicondutora *p-n*, produz uma corrente elétrica proporcional à intensidade da radiação solar incidente nos seus terminais. O sensor é aferido para medir a radiação solar total recebida (direta mais difusa) na faixa de comprimentos de onda de 0,4 a 1,1 μm , possuindo ainda uma correção de co-seno de modo a torná-lo insensível à direção da radiação incidente. Os valores de radiação solar divulgados pelo INPE são: (1) Radiação Solar Global Máxima (RadSolGlob



Máxima) — Máximo valor instantâneo de um conjunto de três amostras tomadas em torno de cada três horas de intervalo (H-15 min, H e H+15 min); (2) Radiação Solar Global Média (RadSolGlob Média) — Valor médio de um conjunto de 1080 amostras tomadas a cada dez segundos durante as últimas três horas; (3) Radiação Solar Acumulada (RadSolAcum) — Radiação solar acumulada em MJ/m², havendo dois tipos de medida: Valores parciais diários a cada três horas, inicializando-se o acumulador uma vez ao dia às 05:00 GMT; valores totais a cada três horas, ou seja, inicializa-se o acumulador a cada três horas.

Sensor Ultra-Sônico de Vento

Trata-se este de um instrumento que determina a direção e a velocidade horizontal do vento. O sensor é composto por três transdutores ultra-sônicos que formam um triângulo equilátero no plano horizontal. O princípio de medida se baseia no tempo de trânsito, isto é, no tempo que a onda de ultra-som leva para se deslocar de um transdutor a outro. O tempo de trânsito é medido em ambos os sentidos, denominados então tempos de trânsito direto e reverso. O tempo de trânsito depende da velocidade do vento ao longo do caminho da onda de ultra-som. Para velocidade nula do vento, os tempos de trânsito direto e reverso são iguais. Por outro lado, se o vento estiver soprando na direção da onda de ultra-som, o tempo de trânsito direto é menor do que o tempo de trânsito reverso e vice-versa. Os valores registrados de velocidade e direção do vento representam a média de 600 medidas com um segundo de intervalo entre as mesmas, coletadas durante os dez minutos que precedem a hora inteira, a cada três horas. A velocidade é dada em m/s e a direção em graus no sentido horário com relação ao norte verdadeiro. O sensor é posicionado dez metros acima do solo. A direção do vento é sempre aquela da qual sopra o vento. Um vento especificado como a 0° significa, segundo alguns autores, condições calmas e um vento a 360°, um vento norte.



Os dados coletados segundo os procedimentos acima são transmitidos ao satélite em intervalos de três horas. Os horários indicados são GMT (*Greenwich Mean Time*), um padrão utilizado internacionalmente em meteorologia. Portanto, a análise correta dos dados para aplicação em engenharia requer a conversão dos horários indicados para a hora solar local. Em todas as planilhas a serem colocadas à disposição dos usuários, esta conversão foi realizada automaticamente para a localidade em questão.

3. METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS

Primeiramente, os dados brutos, previamente convertidos dos arquivos *txt* divulgados pelo INPE em arquivos *xls* (Microsoft EXCEL), foram divididos de modo a refletir a percepção cotidiana que se tem do clima e da passagem do tempo. Isto é, os dados foram primeiramente separados pelos anos do período amostrado e, dentro de cada ano, pelos meses. Em função das diferenças de tratamento requerido pelas diferentes variáveis meteorológicas, a organização dos dados tratados não seguiu exatamente a mesma estrutura em todos os casos. Abaixo discute-se o tratamento dado a cada variável, com exemplos das planilhas resultantes que se encontrarão disponíveis pela Internet. Um programa computacional desenvolvido pelos autores terá a função de executar e gerar todas as pastas descritas neste artigo; então um *link* que constará dos *websites* do INPE <<http://www.inpe.br>> e da UNIFEI <<http://www.unifei.edu.br>> dará acesso a uma página de pesquisas. O resultado será apresentado *online* ao usuário que poderá utilizá-lo imediatamente ou arquivá-lo. Constarão desta página de pesquisa diversas opções, sendo as principais relacionadas aos dados finais tratados para uso de projetistas e engenheiros. Opcionalmente, o usuário terá acesso também às planilhas intermediárias geradas durante o tratamento dos dados.

Organização Geral e Tratamento dos Dados de Temperatura (Figura 1)

Planilhas do tipo RESUMO referem-se ao tratamento inicial dos dados brutos tendo o dia como unidade de registro, isto é, cada linha das várias planilhas refere-se a um dia específico. Além disso, para a compreensão imediata do seu significado e facilidade de uso, cada planilha de uma determinada pasta refere-se a um mês específico de um dado ano. Finalmente, a pasta (arquivo)

contendo as doze planilhas tem no seu nome o ano a que se refere, ou seja, a denominação do arquivo foi também elaborada de modo a refletir as informações nele encerradas. Por exemplo, um arquivo de dados de temperatura do tipo RESUMO para Itajubá receberia a seguinte denominação:

32512-DTT-RESUMO-DD-1999

na qual 32512: código identificador atribuído pelo INPE à PCD localizada em Itajubá;
 DTT: indicação de pasta de Dados Tratados de Temperatura;
 RESUMO: indicação de planilhas do tipo RESUMO;
 DD: indicação do dia como unidade de registro;
 1999: especificação do ano a que se referem os dados tratados.

Neste tipo de arquivo, o tratamento realizado nos dados brutos é elementar, consistindo essencialmente da obtenção da média diária e dos valores máximos e mínimos da variável tratada para aquele dia. Trata-se de um arquivo preliminar àqueles a serem divulgados aos usuários.

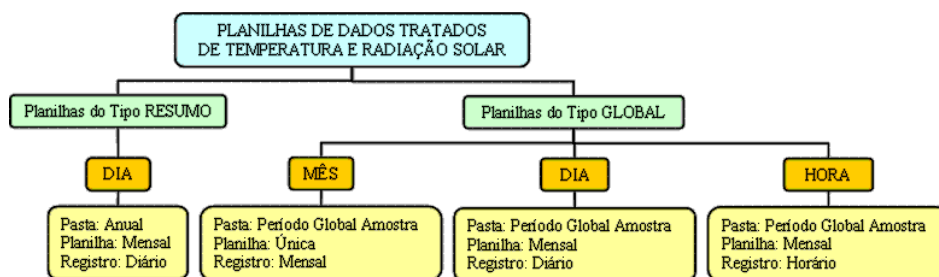


Figura 1. Organograma dos dados tratados de temperatura e radiação solar.

Mês	Tbs_medidas	Tbs_média	Desv. Padr.	Tbs_mín.	Tbs_máx.	Var.	Mediana	Distorsão	Curt.	Moda
JAN	727	22,5	4,23	13,5	35,5	17,89	21,50	0,46	-0,84	20,0
FEV	675	22,3	4,18	12,5	33,5	17,46	21,50	0,41	-0,87	19,0
MAR	729	21,7	4,18	11,5	32,5	17,45	21,00	0,36	-0,63	19,5
ABR	479	19,7	5,46	5,0	33,0	20,90	19,50	0,07	0,74	19,5

Figura 2. Tela do programa EXCEL exibindo o arquivo 32512-DTT-GLOBAL-MM.

Dados do tipo GLOBAL são aqueles cujos parâmetros estatísticos foram calculados com base em todo o período amostrado (período global de amostragem). Há três tipos de arquivos de dados de temperatura na categoria GLOBAL dependendo de qual seja a unidade de registro. Seja primeiramente o arquivo denominado 32512-DTT-GLOBAL-MM, onde se tem:

GLOBAL: indicação de planilhas do tipo GLOBAL;

MM: indicação do mês como unidade de registro.

A Figura 2 mostra a tela do programa Excel quando este mesmo arquivo foi aberto. As explicações dadas acima agora se tornam evidentes. Observa-se que cada linha corresponde a um mês (unidade de registro mensal) e que a planilha se refere à variável climática que está sendo tratada (temperatura de bulbo seco, T_{bs} , neste caso). As planilhas encerram vários parâmetros estatísticos, tendo estes parâmetros sido calculados com base no período global de amostragem. Assim, durante todos os meses de janeiro do período amostrado foram feitas 727 medidas da temperatura de bulbo seco cuja média e demais estatísticas são mostradas na planilha.

Sejam agora os arquivos denominados 32512-DTT-GLOBAL-DD e 32512-DTT-GLOBAL-HH. Tem-se:

HH: indicação da hora como unidade de registro.

Estas pastas encerram, respectivamente, médias diárias de temperatura com base em todo o período de amostragem e dados de temperatura tratados pela hora de coleta e agrupados segundo o

mês a que se referem. Trata-se de arquivos preliminares àqueles do *dia mensal típico*, discutido mais adiante.

Organização Geral e Tratamento dos Dados de Umidade Relativa

A organização dos dados foi semelhante àquela para a temperatura, mostrada na Figura 1. Planilhas do tipo RESUMO são exatamente análogas e, na categoria GLOBAL, apenas aquela cujo registro faz-se mensalmente foi requerida. Porém, dados de temperatura e de umidade relativa são combinados no assim chamado *dia mensal típico*. A fim de gerar estas planilhas, é calculada a média de todos os valores de umidade relativa ocorridos simultaneamente com um dado valor de temperatura (umidade relativa coincidente). Para que seja possível realizar este rastreamento da umidade relativa, foi necessária a geração de planilhas intermediárias inexistentes no caso da temperatura. Uma vez que, a rigor, não foi feito nenhum tratamento dos dados, estes arquivos não se enquadram nem na categoria RESUMO nem na categoria GLOBAL. Um arquivo deste tipo para Itajubá receberia a denominação 32512-DBUR-HH-1999, na qual:

DBUR: indicação de pasta de Dados Brutos de Umidade Relativa.

Além da umidade relativa coincidente, é de interesse também estabelecer umidades relativas de projeto correspondendo às frequências de 1%, 2,5% e 5%, isto é, valores de umidade relativa que foram igualados ou excedidos por, respectivamente, 1%, 2,5% e 5% dos dados durante um certo período. Normalmente, a temperatura de bulbo seco de projeto e a umidade relativa coincidente devem ser usadas para o cálculo da carga térmica de refrigeração de edifícios. A umidade relativa de projeto é empregada primordialmente no cálculo de processos de resfriamento evaporativo, mas pode também ser usada para o cálculo de cargas de ventilação. A metodologia ASHRAE (ASHRAE, 1993) estabelece valores da temperatura de bulbo úmido de projeto com base em todo o período de verão. No presente trabalho, os valores da umidade relativa de projeto foram calculados mês a mês, com base no período global de amostragem, com o intuito de permitir uma melhor caracterização do clima local e o refinamento de cálculos de engenharia. Um arquivo deste tipo para Itajubá seria 32512-DTUR-GLOBAL-MM, onde:

DTUR: indicação de pasta de Dados Tratados de Umidade Relativa.

Estas planilhas são análogas àquela mostrada na Figura 2 para a temperatura de bulbo seco.

Nas planilhas de dados tratados de temperatura, foram incluídos valores da umidade relativa média diária (“32512-DTUR-RESUMO-DD-1999”) a fim de se ter uma melhor idéia das condições de conforto do dia em questão.

Organização Geral e Tratamento dos Dados de Radiação Solar (Figura 1)

Para fins de projeto e análise de desempenho de equipamentos que utilizam radiação solar, geralmente necessita-se de dados horários ou tomados em intervalos de tempo não muito maiores. Por outro lado, para a caracterização do clima de uma determinada localidade seria conveniente dispor de valores de radiação mais facilmente entendidos, por exemplo, a radiação média diária para cada mês do ano. Em vista destas considerações, os dados brutos de radiação solar foram agrupados como foram os dados de temperatura (Figura 1). O método de tratamento é descrito a seguir:

1. Os dados brutos de radiação acumulada colhidos a cada três horas foram somados de modo a fornecer a radiação solar acumulada em um dia (RadSolDia).
2. Os dados tratados conforme descrito acima foram organizados em planilhas do tipo RESUMO, isto é, cada linha das planilhas corresponde a um dia. Há uma planilha para cada mês e um arquivo (pasta) para cada ano do período amostrado.
3. Os arquivos gerados no passo anterior foram nomeados conforme codificação análoga àquela já descrita no caso da temperatura de bulbo seco. As únicas colunas existentes nestas planilhas são as do dia e da variável RadSolDia. Um arquivo contendo dados de radiação solar de Itajubá receberia a denominação 32512-DTR-RESUMO-DD-1999. Os vários códigos identificadores já foram discutidos anteriormente exceto DTR (pasta de Dados Tratados de Radiação).
4. Uma vez tendo-se obtido as planilhas do tipo RESUMO, pode-se proceder facilmente à caracterização da radiação solar no período global de amostragem. Mais uma vez, um arquivo contendo médias mensais de radiação solar diária (RadSolDia) em Itajubá receberia a denominação 32512-DTR-GLOBAL-MM. Ou seja, cada linha corresponde a um mês (registro

mensal) e o arquivo refere-se ao período global de amostragem (analogamente à pasta denominada “32512-DTT-GLOBAL-MM” ilustrada na Figura 2).

5. Dispondo-se de médias mensais da radiação solar diária, é possível obter perfis horários de radiação típicos de cada mês por meio de métodos estatísticos. O programa computacional RADIASOL (UFRS, 2002) foi utilizado para gerar estes perfis horários e os arquivos correspondentes foram nomeados seguindo codificação já discutida. Assim, para Itajubá (Figura 3) tem-se 32512-DTR-GLOBAL-HH; isto é, cada linha corresponde a uma hora do dia (registros horários da radiação acumulada durante o intervalo de uma hora precedendo o registro — RadSolHora), cada planilha corresponde a um mês e o arquivo (pasta) refere-se ao período global de amostragem.

Horário [hh:mm:ss]	RadSolAcum [MJ/m² h]
06:00:00	0
07:00:00	0,382
08:00:00	0,915
09:00:00	1,444

Figura 3. Tela do programa EXCEL exibindo o arquivo 32512-DTR-GLOBAL-HH.

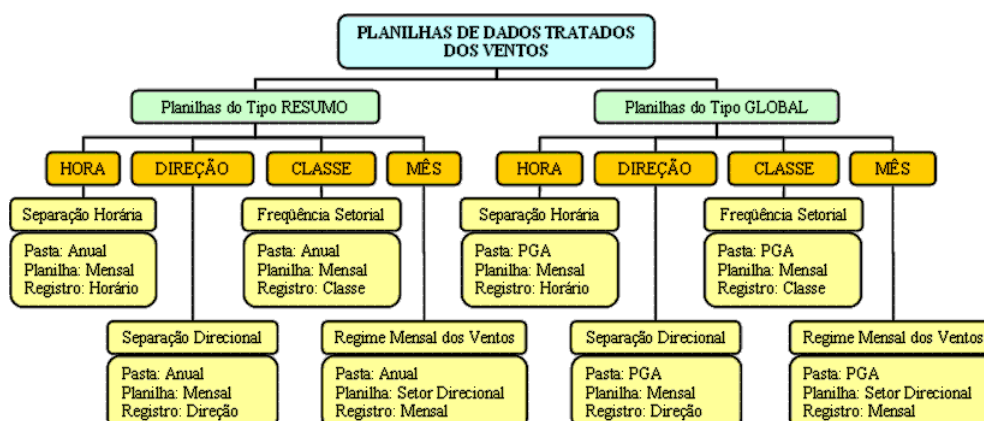


Figura 4. Organograma de dados tratados de magnitude e direção dos ventos.

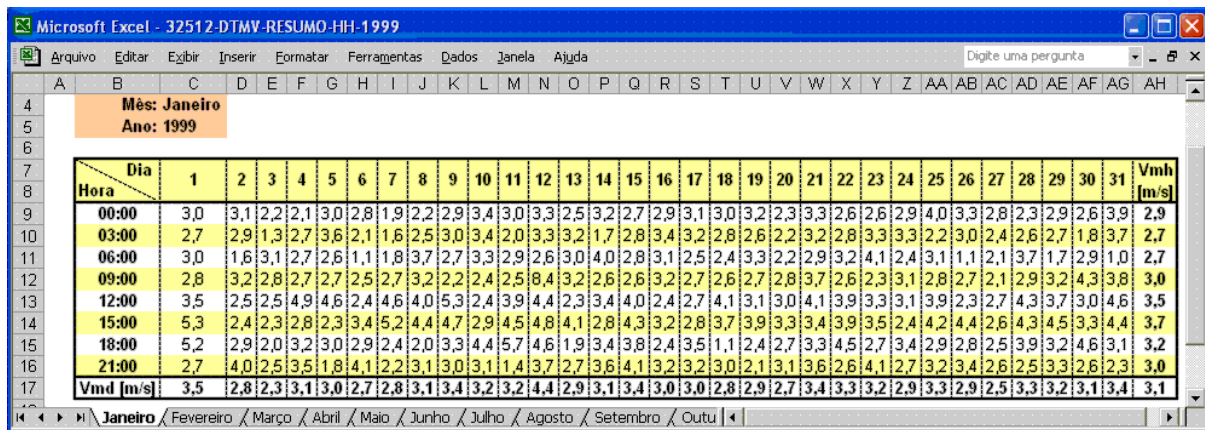
Organização Geral e Tratamento dos Dados de Magnitude e Direção dos Ventos (Figura 4)

Entende-se por *análise do comportamento dos ventos* um conjunto padronizado de procedimentos para tratamento de dados medidos e cálculo das grandezas estatísticas pertinentes. Com base nesta análise, pode-se então inferir o *regime dos ventos*, isto é, o comportamento esperado dos ventos no futuro (Hirata e Araújo, 2001).

A Figura 4 mostra como foram organizados os dados tratados. Planilhas do tipo RESUMO correspondem ao tratamento inicial dos dados brutos, mas que já permitem construir gráficos referentes ao comportamento mensal e anual dos ventos. Além disso, estas planilhas são necessárias à elaboração das planilhas do tipo GLOBAL, onde se identifica o comportamento dos ventos no período global de amostragem e calculam-se vários parâmetros estatísticos.

Seja primeiramente a *separação horária* dos dados de magnitude dos ventos independentemente da direção. Um arquivo de dados do tipo RESUMO para Itajubá com registros horários de velocidade recebe a denominação 32512-DTMV-RESUMO-HH-1999 na qual DTMV indica pasta de Dados Tratados de Magnitude dos Ventos. A Figura 5 mostra a tela do programa Excel quando este mesmo arquivo foi aberto. Aqui, V(H,D) representa o valor da magnitude da velocidade do vento registrado pelo INPE para a hora H do dia D. Uma planilha como esta é construída para cada

mês do período amostrado e são então calculados os seguintes parâmetros estatísticos: **Velocidade média diária, V_{md}** — valor médio das velocidades acumuladas durante um dia; em geral, este valor é muito pouco utilizado por não ter representatividade prática. **Velocidade média mensal, V_m** — valor médio das velocidades acumuladas durante um mês, igual à média das velocidades médias diárias; a velocidade média mensal é uma grandeza importante porque o conjunto das velocidades médias mensais fornece uma indicação bastante clara da distribuição da velocidade do vento ao longo do ano. **Velocidade média horária, V_{mh}** — também conhecida como *velocidade representativa horária*, trata-se de um valor médio da velocidade mensal para cada hora do dia. O gráfico $V_{mh} \times \text{Hora do dia}$ é conhecido como *dia representativo* ou *dia típico*. O conhecimento do dia típico é de extrema importância, por exemplo, para a operação de sistemas de distribuição de energia abastecidos pela energia dos ventos. É possível também definir uma velocidade média anual. Embora pouco representativa do ponto de vista de aplicações, a sua evolução ao longo dos anos, sem um caráter nitidamente monotônico (crescente ou decrescente), é um indício de que não houve problemas na medida e aquisição dos dados e de que o regime dos ventos permanece estacionário. Isto é, não se observam alterações climáticas resultantes da ação do homem ou de causas naturais.



Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Vmh [m/s]
00:00	3,0	3,1	2,2	2,1	3,0	2,8	1,9	2,2	2,9	3,4	3,0	3,3	2,5	3,2	2,7	2,9	3,1	3,0	3,2	2,3	3,3	2,6	2,6	2,9	4,0	3,3	2,8	2,3	2,9	2,6	3,9	2,9
03:00	2,7	2,9	1,3	2,7	3,6	2,1	1,6	2,5	3,0	3,4	2,0	3,3	3,2	1,7	2,8	3,4	3,2	2,8	2,6	2,2	3,2	2,8	3,3	3,3	2,2	3,0	2,4	2,6	2,7	1,8	3,7	2,7
06:00	3,0	1,6	3,1	2,7	2,6	1,1	1,8	3,7	2,7	3,3	2,9	2,6	3,0	4,0	2,8	3,1	2,5	2,4	3,3	2,2	2,9	3,2	4,1	2,4	3,1	1,1	2,1	3,7	1,7	2,9	1,0	2,7
09:00	2,8	3,2	2,8	2,7	2,7	2,5	2,7	3,2	2,2	2,4	2,5	8,4	3,2	2,6	2,6	3,2	2,7	2,6	2,7	2,8	3,7	2,6	2,3	3,1	2,8	2,7	2,1	2,9	3,2	4,3	3,8	3,0
12:00	3,5	2,5	2,5	4,9	4,6	2,4	4,6	4,0	5,3	2,4	3,9	4,4	2,3	3,4	4,0	2,4	2,7	4,1	3,1	3,0	4,1	3,9	3,3	3,1	3,9	2,3	2,7	4,3	3,7	3,0	4,6	3,5
15:00	5,3	2,4	2,3	2,8	2,3	3,4	5,2	4,4	4,7	2,9	4,5	4,8	4,1	2,8	4,3	3,2	2,8	3,7	3,9	3,3	3,4	3,9	3,5	2,4	4,2	4,4	2,6	4,3	4,5	3,3	4,4	3,7
18:00	5,2	2,9	2,0	3,2	3,0	2,9	2,4	2,0	3,3	4,4	5,7	4,6	1,9	3,4	3,8	2,4	3,5	1,1	2,4	2,7	3,3	4,5	2,7	3,4	2,9	2,8	2,5	3,9	3,2	4,6	3,1	3,2
21:00	2,7	4,0	2,5	3,5	1,8	4,1	2,2	3,1	3,0	3,1	1,4	3,7	2,7	3,6	4,1	3,2	3,2	3,0	2,1	3,1	3,6	2,6	4,1	2,7	3,2	3,4	2,6	2,5	3,3	2,6	2,3	3,0
Vmd [m/s]	3,5	2,8	2,3	3,1	3,0	2,7	2,8	3,1	3,4	3,2	3,2	4,4	2,9	3,1	3,4	3,0	3,0	2,8	2,9	2,7	3,4	3,3	3,2	2,9	3,3	2,9	2,5	3,3	3,2	3,1	3,4	3,1

Figura 5. Tela do programa EXCEL exibindo o arquivo 32512-DTMV-RESUMO-HH-1999.

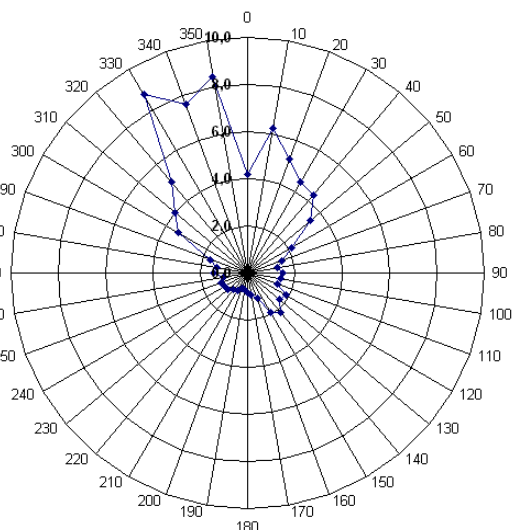


Figura 6. Rosa dos ventos da frequência de ocorrência por setor.

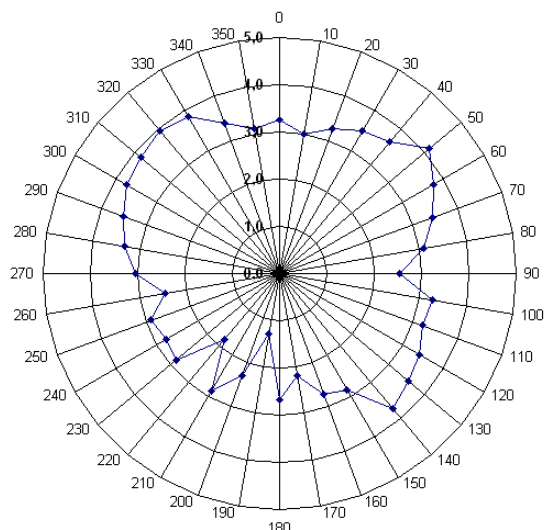


Figura 7. Rosa dos ventos da velocidade média por setor.

Obviamente, a descrição do comportamento dos ventos requer não apenas a análise da magnitude de sua velocidade, mas também de sua direção. Uma maneira bastante comum de fazê-lo

é traçar a *rosa dos ventos*. Para tal, os quatro quadrantes são divididos em setores e se identificam as mediatrizes destes setores. Às circunferências concêntricas são associados valores da frequência relativa de ocorrência de velocidades (f_{r1} , f_{r2} , f_{r3} , etc.) e, sobre cada mediatriz, marca-se o valor correspondente da frequência relativa de ocorrência de leituras naquele setor. A união dos pontos marcados sobre todas as mediatrizes forma uma curva fechada, a *rosa dos ventos* (Figura 6). Podem então ser prontamente identificadas as direções predominantes do vento para a localidade em questão. Contudo, há ainda a necessidade de se identificar valores médios (magnitude) da velocidade em cada setor da *rosa dos ventos*. Pode-se então construir uma segunda *rosa dos ventos* onde são traçadas circunferências concêntricas de valores médios de velocidade em vez de frequências relativas de ocorrência (Figura 7).

Setor	Ocorrência	Frequência	Vm	Velocidades do Vento
[°]	[---]	[%]	[m/s]	[m/s]
0	13	5,3	2,8	3,0 2,2 2,9 3,7 2,3 2,7 2,9 3,1 1,1 2,2 3,3 4,4
10	20	8,2	2,4	2,4 2,2 1,3 2,3 2,1 1,9 1,6 1,8 2,2 2,0 3,0 2,7
20	13	5,3	2,6	3,5 2,1 2,7 2,6 3,2 1,7 3,2 3,1 2,1 2,6 2,4 2,9
30	10	4,1	3,2	2,8 3,2 2,8 3,2 2,7 2,8 3,9 3,6 2,8 3,7
40	20	8,2	3,5	2,5 4,9 3,2 4,6 5,7 3,2 4,0 3,6 3,8 4,1 3,1 3,2
50	11	4,5	3,2	2,7 3,1 3,2 2,7 3,2 3,7 3,3 3,1 3,0 3,3 3,9
60	4	1,6	3,4	2,8 3,4 3,2 4,2
70	4	1,6	4,1	3,1 5,2 4,1 3,9
80	0	0,0	0,0	
90	0	0,0	0,0	

Figura 8. Tela do programa EXCEL exibindo o arquivo 32512-DTMV-RESUMO-DIR-1999.

Setor	Ocorrência	Frequência	Vm	Classe	Velocidades do Vento
[°]	[---]	[%]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
0	0,0	0,0	0,1-1,0		
1	0,4	1,1	1,1-2,0	1,1	
8	3,3	2,6	2,1-3,0	3,0	2,2 2,9 2,3 2,7 2,9 2,2 2,9
3	1,2	3,4	3,1-4,0	3,7	3,1 3,3
1	0,4	4,4	4,1-5,0	4,4	
0	0,0	0,0	5,1-6,0		
0	0,0	0,0	0,1-1,0		
6	2,4	1,7	1,1-2,0	1,3	1,9 1,6 1,8 2,0 1,7
11	4,5	2,6	2,1-3,0	2,4	2,2 2,3 2,1 2,2 3,0 2,7 3,0 2,7 2,9
4	4,6	3,3	3,1-4,0	3,1	3,1 3,3

Figura 9. Tela do programa EXCEL exibindo o arquivo 32512-DTMV-RESUMO-CLA-1999.

Mês	VelVento_medidas	VelVento_média	Desv. Padr.	VelVento_mín.	VelVento_máx.	Var.	Mediana	Distorção	Curt.	Moda	c	k
[---]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]		
JAN	93	19,73	6,57	5,62	30,70	43,12	20,70	-0,71	0,10	19,25		
FEV	84	18,87	6,00	7,77	28,57	35,95	19,68	-0,42	-0,88	22,50		
MAR	92	18,02	5,69	7,98	31,27	32,35	19,05	0,67	2,94	21,00		
ABR	88	18,97	3,27	9,27	23,20	10,67	19,85	-1,60	2,88	20,00		
MAR	92	18,02	5,69	7,98	31,27	32,35	19,05	0,67	2,94	21,00		

Figura 10. Tela do programa EXCEL exibindo o arquivo 32512-DTMV-RESUMO-MM-1999.

A fim de construir estes gráficos das *rosas dos ventos*, foram elaboradas primeiramente planilhas do tipo RESUMO de separação setorial (direcional) dos dados. Com este fim, os dados de magnitude foram separados segundo os diversos setores direcionais em que ocorrem. Assim, um arquivo deste tipo para Itajubá receberia a denominação 32512-DTMV-RESUMO-DIR-1999 (Figura 8), na qual DIR indica setor direcional como unidade de registro. Tendo-se obtido estas planilhas, pode-se agora realizar facilmente a separação por classes, isto é, os dados contidos em cada setor direcional são separados por faixas de magnitude de velocidade, podendo-se então calcular a frequência de ocorrência em cada classe. Obtêm-se deste modo as planilhas de frequência setorial. Um arquivo deste tipo para Itajubá receberia a denominação 32512-DTMV-RESUMO-CLA-1999 (Figura 9), na qual CLA indica faixa de magnitudes de velocidade (classe) como unidade de registro.

Estas são pastas desenvolvidas para auxiliar no processamento matemático dos dados, não sendo aqui ilustradas. Elas permitem elaborar as planilhas das quais se poderá inferir o *regime mensal dos ventos*. A denominação de um destes arquivos para Itajubá é 32512-DTMV-RESUMO-MM-1999 (Figura 10), cujos indicadores já foram todos comentados anteriormente. As explicações acima

agora se tornam evidentes. Os parâmetros c e k da distribuição de Weibull são calculados pela sua importância em aplicações de energia eólica.

Microsoft Excel - 32512-DTMV-GLOBAL-HH

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda Digite uma pergunta

DIA MENSAL TÍPICO

Data Inicial: 01/01/1999 Hora Inicial: 00:00:00
Data Final: 01/31/2003 Hora Final: 21:00:00

Horário [hh:mm:ss]	NÍVEL 1%		NÍVEL 2,5%		NÍVEL 5%	
	Tbs [°C]	UR [%]	Tbs [°C]	UR [%]	Tbs [°C]	UR [%]
01:00:00	26,5	92	26,3	92	26,1	92
02:00:00	26,2	92	26,0	93	25,8	93
03:00:00	25,9	93	25,7	93	25,5	94
04:00:00	25,6	93	25,4	94	25,2	95

Janeiro Fevereiro Abril Março Maio Junho Julho Ag

Figura 11. Dia mensal típico para o mês de janeiro em Itajubá, MG.

Conforme mencionado anteriormente, seqüências de velocidades médias anuais permitem verificar se o regime dos ventos permaneceu estacionário, isto é, sem uma tendência determinística crescente ou decrescente. Verificada a ausência deste tipo de comportamento, as planilhas discutidas acima podem ser refeitas com base no período global de amostragem. Deste modo, a confiabilidade estatística das distribuições obtidas será maior. Exemplos destes arquivos para a cidade de Itajubá são: 32512-DTMV-GLOBAL-HH — regime mensal dos ventos, sem distinção do setor direcional; 32512-DTMV-GLOBAL-DIR — separação direcional da velocidade do vento; 32512-DTMV-GLOBAL-CLASSE — frequência setorial da velocidade do vento; 32512-DTMV-GLOBAL-MM — comportamento mensal dos ventos por setor direcional. Observa-se que as denominações dos arquivos são como nos casos anteriores, tendo-se apenas substituído a palavra RESUMO pela palavra GLOBAL.

Dia Mensal Típico

Pesquisadores do LabEEE-UFSC (Goulart *et al.*, 1998) desenvolveram um método para estimar o perfil horário das temperaturas de bulbo seco e úmido para um dia típico de cada mês do ano. Estes perfis são muito úteis para se realizar um cálculo mais preciso da carga térmica em projetos de condicionamento de ar. No presente trabalho, o procedimento descrito por Goulart *et al.* (1998), foi empregado para a elaboração informatizada do dia mensal típico com base nos dados climáticos coletados pelas várias plataformas do INPE. Porém, uma vez que o INPE coleta dados de umidade relativa e não de temperatura de bulbo úmido, a primeira variável foi utilizada em substituição à segunda. A Figura 11 mostra uma planilha informatizada do dia mensal típico. Os níveis de ocorrência representam, para cada horário, temperaturas de bulbo seco que são iguais ou excedidas por 1%, 2,5% ou 5% da massa de dados para aquele horário e mês no período global de amostragem. As umidades relativas coincidentes são também mostradas, isto é, médias de todos os valores de umidade relativa ocorridos simultaneamente com aquele valor específico da temperatura de bulbo seco.

4. CONCLUSÕES

Projetistas e engenheiros, no exercício de suas funções, experimentam a falta de dados climáticos confiáveis e precisos. Assim, este trabalho contribui para resolver esta questão fornecendo dados climáticos tratados para as localidades que dispõem de PCDs do INPE. O acesso se dará por meio da rede mundial de computadores, a Internet, com diversas possibilidades de pesquisa e arquivamento dos resultados. Este trabalho constitui também o passo inicial de um projeto mais amplo para a geração de dados climáticos “sintéticos” para localidades que não dispõem de estações ou plataformas de coleta de dados.

5. REFERÊNCIAS

- ASHRAE Handbook — Fundamentals Volume, SI Edition, 1993, ASHRAE.
- Goulart, S.V.G., Lamberts, R. e Firmino, S., 1998, “Dados Climáticos de 14 Cidades Brasileiras – Para Projeto e Avaliação de Sistemas de Ar Condicionado”, Coleção ABRAVA, RPA Editorial Ltda..
- Hirata, M.H. e Araújo, M.R.O.P., 2001, “Introdução ao Aproveitamento da Energia Eólica”, Apostila de curso, UFRJ.
- RADIASOL, Programa Computacional, 2002, Laboratório de Energia Solar, Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos (GESTE), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), Brasil.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

REDUCTION, AVAILABILITY, AND USE IN ENGINEERING APPLICATIONS OF WEATHER DATA FROM THE BRAZILIAN NATIONAL SPACE RESEARCH INSTITUTE

Fabio Scopinho Pancher

Federal University of Itajubá (UNIFEI), Itajubá, MG, Brazil
E-mail: scopinho@unifei.edu.br Tel.: (0xx35) 8808-3061

Ricardo Dias Martins de Carvalho²

Federal University of Itajubá (UNIFEI), Itajubá, MG, Brazil
E-mail: martins@unifei.edu.br Tel.: (0xx35) 3629-1304

Flávio de Carvalho Magina

Brazilian National Space Research Institute (INPE), Cachoeira Paulista, SP, Brazil
E-mail: magina@cptec.inpe.br Tel.: (0xx12) 3186-8400

Abstract. *The Brazilian National Space Research Institute (INPE) makes use of 116 weather data recording stations for weather forecast. Among the climatic variables are the air dry bulb temperature and relative humidity, solar radiation flux, and wind direction and magnitude. These variables are extremely important not only in weather forecast, but also in engineering applications like HVAC systems and solar heaters. The present work discusses INPE's weather stations network and the data reduction methods for engineering applications. Examples of Microsoft EXCEL spreadsheets, which will be available to users through the Internet, are also presented.*

Keywords. *Weather data, INPE, UNIFEI, Microsoft Excel spreadsheets, engineering applications.*

² Corresponding author.