

A FRENTE POLAR ATLÂNTICA E AS CARACTERÍSTICAS DE TEMPO ASSOCIADAS: ESTUDO DE CASO.

Emerson Galvani¹
Tarik Rezende de Azevedo¹

Palavras chave: tipos de tempo, frente polar, gênese da chuva
Eixo: 3- Aplicação da Geografia Física à Pesquisa
SubEixo: 3.2 - Propostas teóricas e metodológicas: consolidação e avanços

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é apresentar, de forma didática, a variação dos elementos meteorológicos e tipos de tempo associados à aproximação e passagem da frente polar atlântica a partir de registros em intervalos de cinco minutos. Nesta detalhada escala de observação é possível individualizar o momento exato da passagem polar e distinguir com precisão o período pré e pós-frontal.

INTRODUÇÃO

Muitas vezes alunos nos cobram um texto didático que exponha de forma simples e sucinta como se identifica uma passagem frontal em uma sequência de registros meteorológicos. Esta é a intenção deste texto, a partir de um caso específico, tomado como exemplo, apresentar os tipos de tempo e como se comportam os atributos atmosféricos antes, durante e logo depois da passagem de uma frente.

A atuação da massa polar atlântica (mPa) no centro-sul do Brasil influencia significativamente os totais pluviométricos nesta região. Em sua borda, no contato com os sistemas atmosféricos tropicais, configuram-se extensas zonas de pressão relativamente baixa e intensa convergência, usualmente chamada de frente polar. Estas frentes comportam-se como verdadeiros rios atmosféricos, canalizando importantes volumes de ar em fluxo concentrado em direção a centros de baixa pressão, que normalmente atingem seu máximo aprofundamento e atividade sobre o oceano atlântico. A passagem do sistema frontal, que antecede a chegada do ar polar propriamente dito, promove condições de frte instabilidade gerando chuvas antes, durante e depois da passagem da frente em várias áreas do território paulista (Monteiro, 1968, 1973; Tarifa, 1975).

¹ Laboratório de Climatologia e Biogeografia, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. Av. Lineu Prestes, 338, CEP 05508-900, e-mail: egalvani@usp.br, xtarikx@usp.br.

O ar frio que vem na retaguarda, alimentando este sistema, por ser ligeiramente mais denso, avança pelo continente sul-americano em forma de cunha elevando o ar mais quente do sistema tropical que se encontra em sua trajetória. A elevação resulta em *resfriamento adiabático* da parcela de ar deslocada pelo ar mais denso. O ar deslocado termina por atingir a temperatura do ponto de orvalho. O excedente de vapor, associado à presença de núcleos higroscópicos, passa para a fase líquida formando as nuvens. Caso as gotículas atinjam tamanho suficientemente grande, a força de gravidade as arrasta para o solo vencendo a força de ascensão que as mantém em suspensão dando origem a chuvas e eventualmente chuviscos. Portanto, a massa polar atlântica não transporta umidade, mas, seu deslocamento em direção aos trópicos, sim, gera condições necessárias para a ocorrência de chuvas. Boa parte da umidade que resulta em chuva, de fato, estava presente no ar do sistema tropical “invadido” pelo ar polar. Este fato pode ser verificado pouco depois da passagem da frente polar. Com a hegemonia do ar de origem polar, predomina um tipo de tempo caracterizado pelo aumento progressivo da pressão atmosférica, céu limpo, ar relativamente frio e umidade mais baixa que antes.

As chuvas resultantes da atuação da frente situada na borda da massa polar, ou do anticiclone migratório polar, numa terminologia diferente, são denominadas de chuvas frontais. A chuva oriunda de cumulo-nimbus resultante da instabilidade gerada pela aproximação da frente, mas que não é oriunda da frente propriamente dita, é chamada de pré-frontal. Depois da passagem da frente, é comum que ocorra precipitação, muitas vezes na forma de chuvisco e/ou chuva leve, oriunda do manto de nuvens stratiformes que chegam a cobrir integralmente o céu, sobretudo no período de outono/inverno. Esta precipitação é chamada de pós-frontal. Como as séries históricas se constituem por registros de totais pluviométricos diários, e não há como distinguir a gênese exata da chuva com tal detalhamento a partir de registros tão grosseiros. Por isto, habitualmente, toda esta precipitação é tratada em conjunto como oriunda ou derivada da passagem da frente polar (Monteiro, 1973).

Nas duas últimas décadas os avanços tecnológicos em praticamente todas as áreas do conhecimento, destacando o papel da eletrônica e automação, apresentaram substancial desenvolvimento, permitindo o monitoramento das mais diversas variáveis em tempo real e com níveis de precisão até então não experimentados. Os sensores eletrônicos ganharam progressivamente maior resolução/precisão, menor tamanho e custos relativamente reduzidos. Particularmente em estudos climatológicos os sensores eletrônicos já permitem a obtenção de registros meteorológicos praticamente em tempo real. A tomada de decisões

no manejo de irrigação e aplicação de defensivos, a prevenção e controle de incêndios, a previsão de geadas, o controle da vazão de rios e reservatórios, a previsão de alagamentos e envio de alertas à defesa civil, dentre outras aplicações podem ser feitas com agilidade e presteza. Esse conjunto de sensores eletrônicos monitorados por processador digital com sistema de memória da mesma natureza, com a finalidade de produzir registros dos elementos meteorológicos, tem sido chamada de Estação Meteorológica Automática (EMA).

Em nosso caso específico, interessa e destacamos o aumento da resolução, a alta densidade de registros tomados em intervalos relativamente curtos. Isto permite visualizar detalhes que, até então, podiam, em parte, ser obtidos apenas através dos registradores analógicos em diagramas em papel, para parte dos elementos meteorológicos. Apesar da dificuldade e enorme trabalho de redução destes diagramas a séries numéricas, ainda há o custo de operação e manutenção dos instrumentos, equipe e arquivo.

MATERIAIS E MÉTODO

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos através da EMA do Laboratório de Climatologia e Biogeografia (LCB) do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (23,4°S; 46,7°W; 742 m). O sistema de aquisição de dados é composto pelos sensores descritos na Tabela 1, um processador amostrando-os na frequência de 5 segundos e um módulo de memória armazenando as médias e/ou totais a cada 5 minutos. Na mesma tabela são apresentadas as principais siglas e abreviaturas adotadas neste texto.

Tabela 1: Elementos meteorológicos, siglas e respectivos sensores.

Variável	Sigla	Transdutor	Fabricante	Precisão	Unidade
Pressão atmosférica	Patm	Capacitor de silício	Vaisala	0,2	hPa
Umidade relativa do ar	UR	Capacitor	Campbell Sci.	2	%
Temperatura do ar	Tar	Termistor	Campbell Sci.	0,1	°C
Precipitação atmosférica	H	Báscula – pulso	Campbell Sci.	0,2	mm
Radiação Solar Global	Rg	Termopilha	Kipp & Zonen	<4 W m ⁻²	W m ⁻²
Direção do vento	Dvento	Aleta	Campbell Sci.	1 °	°
Velocidade da maior rajada	Vvento	Cúpulas Hemisféricas	Campbell Sci.	0,5 m s ⁻¹	m s ⁻¹

Para auxiliar na interpretação, foram usadas as cartas sinóticas das 12:00 GMT (09:00 h horário local) correspondentes ao período tratado neste trabalho (21 a 27 de maio de 2003) obtidas no sítio da Marinha do Brasil na Internet (<http://www.dhn.mar.mil.br>) e as imagens do canal IR do Satélite GOES tratadas em tons de cinza, obtidas no sítio do Instituto de Pesquisas Espaciais na Internet (<http://www.inpe.com.br>).

Adotamos o dia juliano para indicar as datas. Neste sistema, o primeiro dia do ano, primeiro de janeiro no calendário convencional, é o dia juliano (DJ) 1. A contagem dos dias prossegue até o final do ano sem a consideração dos meses. Por exemplo, o dia 21 de maio corresponde ao DJ 141 nos anos com 365 dias. Na escala dos gráficos, apresentados adiante, os rótulos da escala são grafados às 0:00h do dia juliano que se inicia.

RESULTADOS

A figura 1 apresenta a variação das médias da pressão atmosférica (Patm) e do total de precipitação (h) em intervalos de cinco minutos. Com relação a Patm observa-se uma dupla oscilação diária associada à força gravitacional da lua em relação ao planeta Terra, chamada maré barométrica. Ocorrem dois picos de máximos por volta das 10:00 e 22:00 h e dois de mínimos aproximadamente às 5:00 e 16:00 h (Varejão-Silva, 2000).

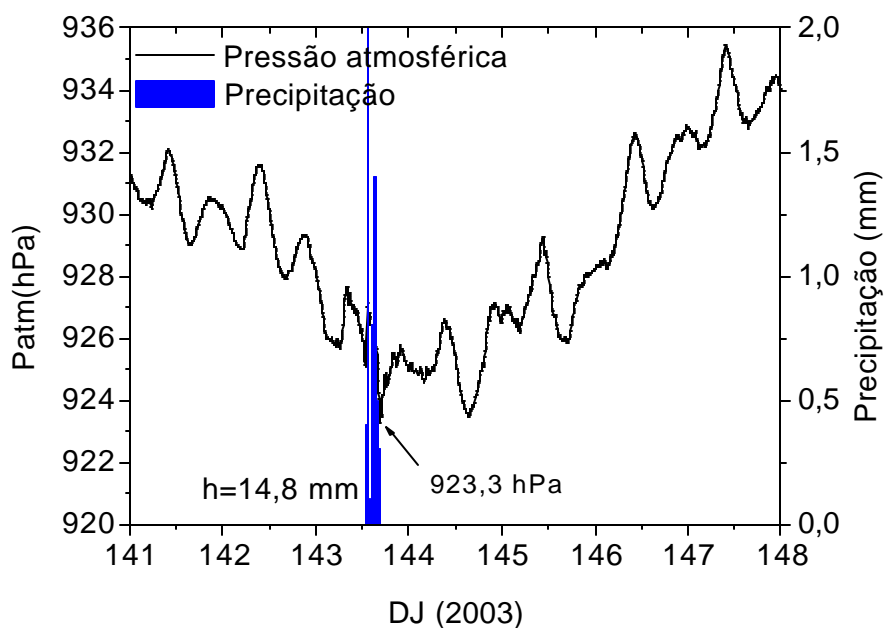


Figura 01: Pressão (Patm) e precipitação atmosférica (h) associadas à passagem de sistema frontal dinamizado pela massa polar atlântica (mPa). O dia Juliano (DJ) 141 corresponde a 21 de maio.

O decréscimo da Patm do dia 141 até o dia 143 prenuncia a chegada da frente. A Patm atinge um mínimo de 923,29 hPa (Patm local), pouco depois de uma hora da tarde, antecedida por um pico súbito de curta duração. A precipitação se processa no período de ocorrência da brusca oscilação e menores valores de Patm, totalizando 14,8 mm

concentrados em pouco mais de uma hora. Este duplo sinal é o primeiro indicador de que se trata da passagem da frente polar. Logo após, a massa polar atlântica (mPa) aos poucos impõe suas características de alta pressão e baixa umidade com dias de céu limpo conforme veremos mais adiante.

A figura 2 apresenta a curva da temperatura do ar (Tar) e da Patm no mesmo período apresentado na figura 1. Percebe-se um degrau nítido na temperatura do ar entre os períodos pré e pós-frontal. Ocorreu uma brusca redução de 8,7°C na temperatura entre 13:05 e 13:30 h marcando a passagem da área de franca instabilidade e nebulosidade pela estação. Podemos dizer, portanto, que, neste caso, a frente polar em si envolveu a estação por cerca de meia hora. Mesmo que, muitas horas antes e depois de sua passagem, tenham se manifestado os tipos de tempo associados à mesma. Esta brusca queda da temperatura, associada à nebulosidade elevada e, comumente, à chuva seguida de chuvisco (garôa) é que deu origem ao termo "frente fria", já incorporada no jargão dos meios de comunicação e à linguagem comum do dia-a-dia.

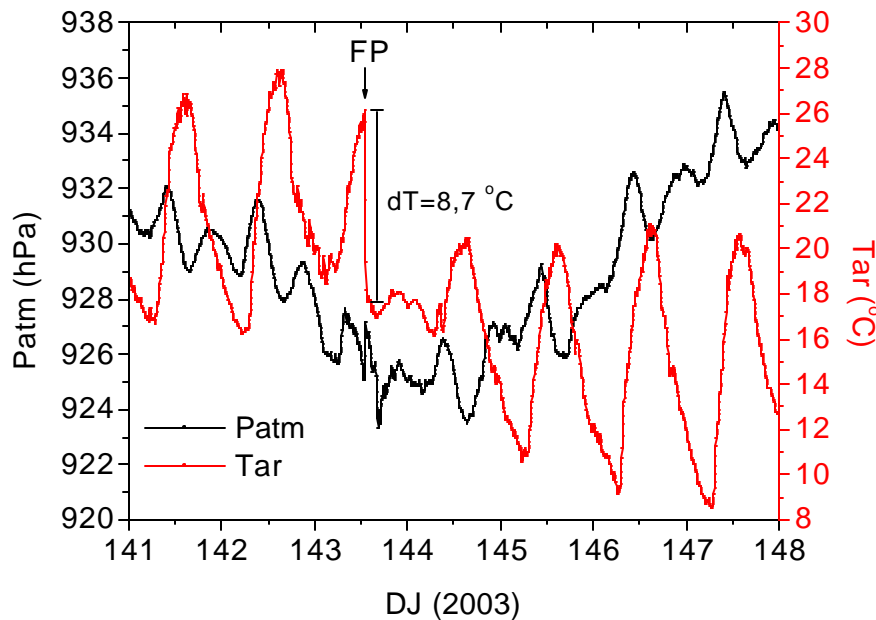


Figura 2: Pressão atmosférica (Patm) e temperatura do ar (Tar) durante passagem de sistema frontal dinâmico pela massa polar atlântica (mPa). O dia Juliano (DJ) 141 corresponde a 21 de maio e assim progressivamente.

A temperatura mínima absoluta do ar (Tmin) e temperatura média do ar (Tar), apresentados na tabela 2, indicam uma redução gradativa do calor retido no ambiente

principalmente com relação a T_{min}. As noites de céu claro e umidade do ar relativamente baixa, em função da atuação da alta polar, proporcionam maior perda de energia em onda longa, sobretudo da superfície e, conseqüentemente, do ar. Ao longo das horas de brilho solar, as temperaturas máximas (T_{max}) apresentaram valores superiores a 20°C, em função da ausência de nebulosidade e da alta transmissividade da atmosfera. Isto resulta em dias com amplitudes térmicas relativamente altas. Ocorrem manhãs frias que obrigam as pessoas saírem muitas vezes bem agasalhadas e, ao longo da tarde, a carregarem suas blusas.

Tabela 2: Valores de temperatura do ar máxima (T_{max}), mínima (T_{min}), amplitude térmica (dT) e média (T_{ar}) em dias típicos da condição pré-frontal, frontal e pós-frontal.

	T _{max}	T _{min}	DT	T _{ar}
Pré-frontal (DJ 142)	27,9	16,3	11,6	21,8
Na frontal (DJ 143)	26,2	20,0	6,2	19,7
Pós-frontal (DJ 144)	20,5	14,0	6,5	17,5
Pós-frontal (DJ 145)	20,2	10,6	9,6	15,0
Pós-frontal (DJ 146)	21,1	9,2	11,9	14,8
Pós-frontal (DJ 147)	20,7	8,5	12,2	14,5

A figura 3 apresenta a variação da umidade relativa do ar (UR) e a precipitação (h). Observa-se elevação simultânea da UR em função da ocorrência de chuva. Embora não seja possível distinguir os valores absolutos pela análise da figura, é possível notar que nos instantes anteriores ao início da chuva a UR era de 60%. Isso reforça o fato de que, para que ocorra chuva, a umidade relativa em superfície não precisa, necessariamente, estar em 100%. O que, aliás, não é usual. Cabe destacar que UR não é um bom indicador do conteúdo de vapor d'água da atmosfera uma vez que consiste na relação entre a concentração de vapor naquele instante e a concentração necessária para ocorrer saturação àquela temperatura e pressão, sendo, portanto, dependente da temperatura do ar naquele instante. Ou seja, o gradiente de umidade observado neste caso, está mais ligado ao horário em que passou a frente. Se a passagem ocorresse durante a madrugada, a mudança brusca de umidade relativa seria menos abrupta, assim como da temperatura.

Além disto, em locais próximos ao litoral, como São Paulo, estes gradientes acentuados de temperatura e umidade podem ser relacionados também à entrada da brisa oceano-contidente, sobretudo no período da tarde e início da noite. Ou seja, como bem já ensinava Monteiro (1968) a abordagem de um ou dois aspectos do registro meteorológico não basta para apreensão da dinâmica processual, há que buscar as relações entre eles, no

mínimo de coerência, concorrência e simultaneidade. Isso posto, a simples busca de mudanças bruscas de temperatura e umidade numa série de dados densa não resulta em, necessariamente, identificar as passagens frontais².

Na mesma figura 3 ainda é possível perceber que, durante a noite que antecede a entrada da frente, a umidade relativa do ar não atinge os valores próximos da saturação como na maior parte dos dias do ano nesta região (mais de 90%). Isto, associado à redução persistente da pressão atmosférica, em parte, é responsável pela sensação de desconforto generalizado nos períodos pré-frontais. Há uma perda maior de água do organismo por evapotranspiração ao mesmo tempo em que ocorre um desequilíbrio de todo sistema vascular que varia em intensidade e importância em função de características individuais. No caso de grandes metrópoles, como São Paulo, o fenômeno é agravado por um aumento da concentração de parte dos poluentes atmosféricos, em especial o material particulado em suspensão.

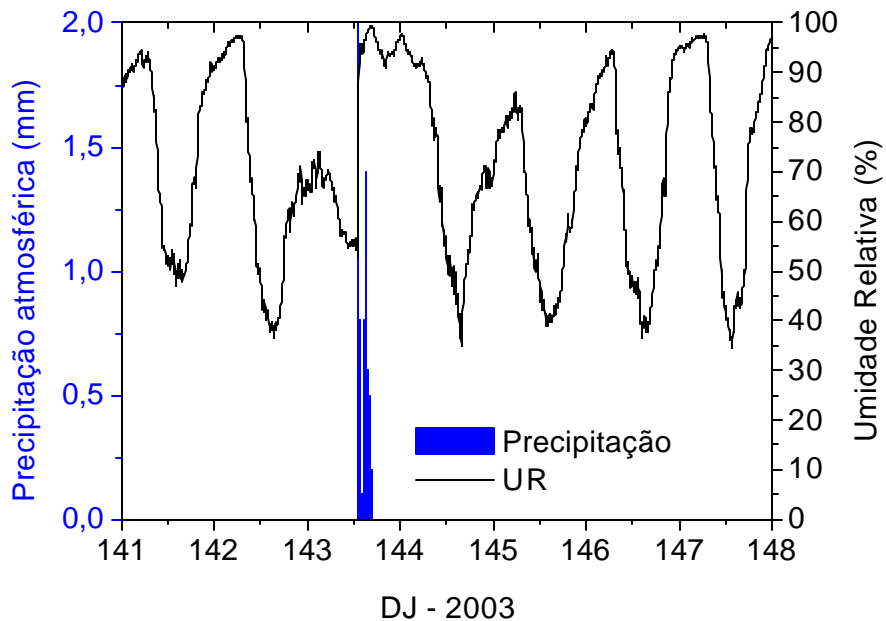


Figura 3: Representação da umidade relativa do ar (UR) e da chuva (h) associada à passagem de sistema frontal dinamizado pela massa polar atlântica (mPa). O dia Juliano (DJ) 141 corresponde ao dia 21/05/03 e assim progressivamente.

² Isto é importante, pois verificamos que freqüentemente os alunos procuram certos falsos atalhos para contornar o necessário e precioso trabalho analítico sobre a informação disponível.

A figura 4 permite visualizar a Tar e a radiação solar global (Rg). Num dia de céu absolutamente limpo (sem nebulosidade) a curva da radiação solar global descreve uma suave e elegante trajetória senoidal (caso do dia 145). No dia 142, que antecede a passagem frontal, nota-se a ocorrência de alguma nebulosidade, provavelmente cúmulus e/ou stratu-cumulus³, principalmente no período da tarde. Isto se expressa num "serrilhado" na curva da radiação global. Ora é atingido o nível máximo para aquele dia e horário, ora o nível de radiação cai a menos da metade, ou até menos.

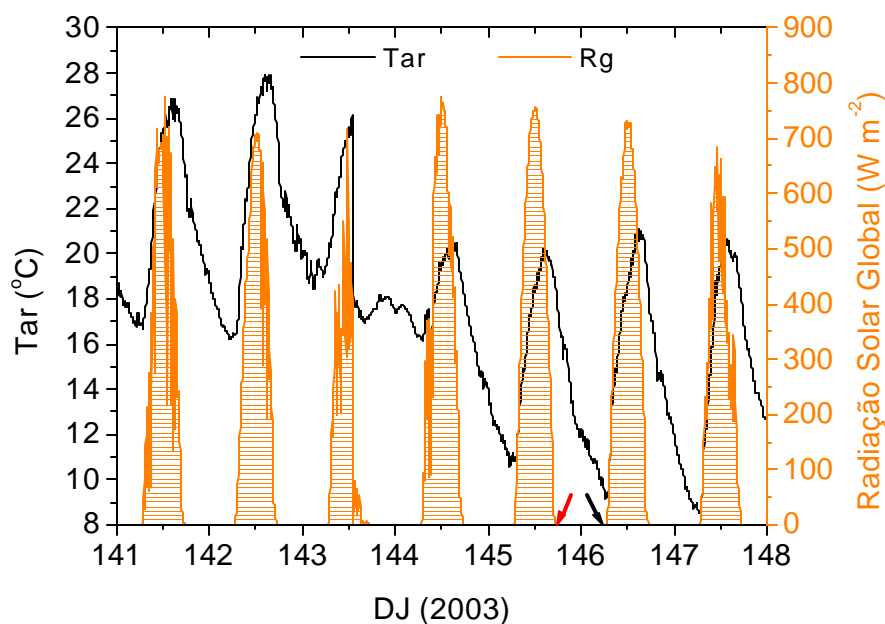


Figura 4: Temperatura do ar (Tar) e da radiação solar global (Rg) associada à passagem de sistema frontal dinamizado pela massa polar atlântica (mPa). O dia Juliano (DJ) 141 corresponde ao dia 21 de maio e assim progressivamente. (seta vermelha indica o ocaso e a seta preta o alvorecer).

A manhã do dia 143 é marcada por uma nebulosidade muito maior e possivelmente dominante, embora ocorram alguns períodos breves de insolação direta sobre a estação. Concomitantemente ao decréscimo final da pressão, a ocorrência de precipitação, a brusca queda da temperatura e aumento da umidade relativa, aludidos anteriormente, ocorre uma redução drástica e persistentes da radiação global. Do ponto de vista perceptivo, corresponde àquele período em que, rapidamente, o céu é totalmente encoberto por densa e

³ Esta é uma das desvantagens das EMAs em operação; elas não permitem o registro da tipologia da nebulosidade, elemento muito útil na compreensão dos processos atmosféricos atuantes e na caracterização

turbulenta nebulosidade. Neste caso específico, o escurecer foi tão marcante que a iluminação pública chegou a acender durante o período com chuva em alguns locais da Grande São Paulo.

Percebe-se logo após a passagem do sistema frontal, a ocorrência de dias de céu claro e ar bem mais limpo e, conseqüentemente, com alta transmissividade atmosférica. A manhã do dia 144, ainda guarda alguma nebulosidade que se dissipa totalmente no período da tarde. Provavelmente tenham sido stratu-cumulus que evoluíram para cúmulus.

Os picos máximos de radiação começam a decrescer a partir de DJ 145, resultado, em parte, do aumento da declinação solar, e, principalmente, da progressiva concentração de poluentes e vapor de água o que resulta em diminuição da transmissividade atmosférica e dos níveis de energia em superfície. No dia 147, uma depressão barométrica no oceano atlântico induz uma calha em direção ao continente, mas que passa apenas ao largo. Esta produz alguma instabilidade e, conseqüente, alguma nebulosidade, mas não culmina em precipitação, ao menos na estação meteorológica em questão.

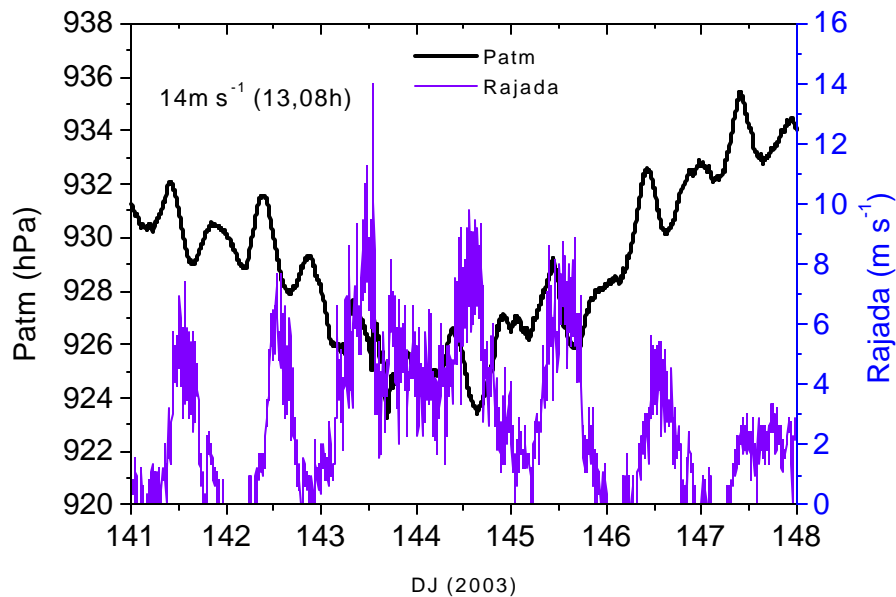


Figura 5: Pressão atmosférica e maior rajada de vento em cinco minutos associadas à passagem de sistema frontal dinamizado pela massa polar atlântica (mPa). O dia Juliano (DJ) 141 corresponde ao dia 21 de maio.

Observa-se ainda uma redução, quase linear, da Tar logo após o ocaso. Para os dias DJ 145 ao 147 a redução de temperatura média horária entre o ocaso ($\cong 18h$) e o nascer do sol ($\cong 06h$) foi de $-0,8^{\circ}\text{C h}^{-1}$. A redução máxima de temperatura ocorreu no dia 146 entre 19 e 20 h com $-1,8^{\circ}\text{C h}^{-1}$. Esse tipo de informação pode ser um bom indicador na previsão da temperatura mínima na manhã seguinte e noites com probabilidade de ocorrência de geadas, fenômeno que ocorre, normalmente, associado à atuação da mPa (TARIFA, 1975).

A figura 5 apresenta a variação da P_{atm} e da rajada máxima de vento associada à passagem do sistema frontal. A rajada é entendida como a velocidade máxima no intervalo de leitura do sensor (neste caso a amostragem era de cinco segundos) e não a média das observações de 5 minutos. Quando da aproximação do sistema frontal a rajada máxima foi de 14 m s^{-1} ($50,4 \text{ km h}^{-1}$) o que resultou em pequenos danos materiais (quedas de algumas árvores, danos em cobertura de postos de combustíveis e painéis, etc.). Observa-se, ainda, que o ciclo diário da rajada do vento descreve uma variação semelhante à curva da radiação solar global, ou seja, os horários de máximo aquecimento resultam em uma maior atividade convectiva e em maiores rajadas de vento. No início das madrugadas dos dias mais afastados da passagem frontal, verifica-se claramente o período de calmaria noturna, que, no caso da região onde se localiza a EMA em questão (60 km do litoral), corresponde à reversão noturna da brisa oceano-continente (Azevedo, 2002).

CONCLUSÕES

O uso de sensores eletrônicos automáticos com amostragem e registro densos, na aquisição de elementos meteorológicos, permite um acompanhamento bastante fidedigno das condições atmosféricas. Em estudos de classificação de gênese das chuvas, a representação da forma exposta neste trabalho pode contribuir no sentido da análise mais detalhada e elucidativa, principalmente em relação à chuva dita de origem frontal.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, T. R. (2002). "O ritmo semanal do vento na Grande São Paulo" in *Anais do V Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*. Sociedade Brasileira de Climatologia, Curitiba.
- MONTEIRO, C. A. (1969). "A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil" in *Série Teses e Monografias*, n.1. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo.

- MONTEIRO, C. A. (1973). *A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo*. Instituto de geografia - USP, São paulo.
- MONTEIRO, C. A. (1971). "Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho" in *Climatologia*, n.1. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo.
- TARIFA, J. R. (1975). "Fluxos polares e as chuvas de primavera-verão no Estado de São Paulo" in *Série Teses e Monografias*. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo.
- TARIFA, J. R. (1975). "Fluxos polares e as chuvas de primavera-verão no Estado de São Paulo" in *Série Teses e Monografias*. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo. Trabalho sobre geada
- VAREJÃO-SILVA, M.A. (2000) *Climatologia e Meteorologia*. INMET, Brasília.