

VARIAÇÕES DO RITMO PLUVIAL NO OESTE PAULISTA: GÊNESE E IMPACTOS EROSIVOS

Marcos Norberto BOIN¹
João Afonso ZAVATTINI²

Resumo

Com base nos dados climáticos – principalmente nos de chuva – registrados no Oeste Paulista, área limitada pelos rios Paranapanema e Paraná e localizada entre 21° e 23° latitude sul e 50° e 53° longitude oeste, este artigo mostra como utilizar a definição de clima de Sorre (1951) e o paradigma do ritmo de Monteiro (1971), no estudo dos impactos pluviais que possam provocar a erosão do solo. É uma análise geográfica da erosividade das chuvas, que conjuga duas abordagens em Climatologia: a do método separativo e a do método sintético das massas de ar e dos tipos de tempo, conforme Pédelaborde (1991), e que também considera a explanação de Péguy (1970), sobre os aguaceiros em áreas temperadas. Como o Oeste Paulista está em área tropical, este trabalho se vale dos gráficos de análise rítmica de três “anos-padrão” para representar as variações - diárias e horárias - dos principais elementos do clima, do balanço hídrico e dos episódios pluviais intensos, associando-as à dinâmica atmosférica regional, numa primeira tentativa de definir os aguaceiros que ali ocorrem, e de contribuir para o seu planejamento ambiental.

Palavras-chave: Oeste Paulista; Chuva; Erosão; Ritmo Climático; Planejamento Ambiental.

Abstract

The variations of pluvial rhythm in the west of São Paulo State: genesis and erosive impacts

Based on climatical data – especially on rain data – registred in the West of São Paulo State, area limited by Paranapanema and Parana rivers and located between 21° and 23° south latitude and 50° and 53° west longitude, this paper shows how to use Sorre's definition of climate (1951) and Monteiro's paradigm of the rhythm (1971), in the rainfall impacts' study that could be provoking soil erosion. It's one geographical analysis of rainfall erosivity, conjugating two climatical concepts: the separatist method and the synthetical method of air masses and weather types, according to Pédelaborde (1991), and that also considers Péguy's explanation (1970), about the heavy showers in the temperate areas. As the West of São Paulo State is located in one tropical area, this research uses the rhythm analysis graphs of three “pattern-years” to represent daily and hourly variations of the main climate's elements, water balance and rainfall episodes, connecting them to the regional atmospheric dynamics, in one first attempt to define the heavy showers' occurency in there, and to contribute for its environmental planning.

Key-Words: West of São Paulo's State; Rainfall; Erosion; Climatic Rhythm; Environmental Planning.

¹ Assistente Técnico do Ministério Público do Estado de São Paulo. Doutor em Geociências. boinmar@hotmail.com

² Professor Adjunto do Departamento de Geografia – IGCE –UNESP - Rio Claro - Cx. Postal 178 - CEP 13500-230

INTRODUÇÃO

A área coberta por este artigo, o oeste do Estado de São Paulo, localizado entre 21° e 23° latitude sul e 50° e 53° longitude oeste e limitado pelos rios Paranapanema e Paraná, compreende a região administrativa de Presidente Prudente e parte das regiões de Araçatuba, Bauru, Marília e São José do Rio Preto, abrangendo 107 municípios (Figura 1). O Oeste Paulista é cortado por uma zona de transição climática, que reflete o confronto dinâmico entre os sistemas atmosféricos inter e extratropicais, e vem, há muito tempo, merecendo a atenção de vários autores quanto às suas características climáticas (BARRIOS, 1987; TARIFA, 1973; ZAVATINI, 1983; BOIN, 2000; dentre outros). Embora uma grande parte destes estudos visem a aduzir os fenômenos pluviais ali ocorrentes, pois versam sobre a gênese da pluviosidade, não aprofundam-se no tratamento da intensidade dos eventos pluviais causadores de impacto no meio ambiente físico.

Entretanto, trata-se de uma parte do território paulista que sofreu intensas transformações antropogênicas, causadas pela ação de grileiros e especuladores imobiliários, e que foi ocupada pelos cafeicultores e atravessada por ferrovias, grandes consumidoras de lenha, motivos pelos quais a sua vegetação natural, na qual predominavam as matas, foi rapidamente extinta e substituída por culturas e pastagens. Esta ocupação, que foi extremamente agressiva, hoje ocasiona ao Oeste Paulista enormes problemas associados à erosão. Toneladas de solo, oriundas dos horizontes superficiais, são transportadas para o fundo dos vales, a cada ano, provocando a diminuição da fertilidade natural do solo, assoreando os cursos d'água, destruindo estradas e obras de engenharia, e gerando voçorocas que ameaçam grandes áreas rurais e urbanas.

O nível de degradação dos solos, provocado, principalmente, pela erosão, é um dos fatores responsáveis pelo atual quadro de estagnação e empobrecimento, refletido no dia-a-dia dos seus habitantes. Extensas áreas improdutivas ou subaproveitadas, ao lado de áreas pouco produtivas, provocam o desemprego de grande parcela da população, que cada vez mais se aglomera nos núcleos urbanos. Em casos extremos, como no sul do município de Presidente Venceslau, no bairro rural de Areia Branca, a perda de fertilidade dos solos, provocada pela erosão das camadas superficiais, chegou a tal ponto que já são fortes os indícios de acentuada arenização (Figura 1).

Neste universo de fraca densidade populacional rural, convive-se com recursos exauridos, principalmente no que se refere aos solos, cujo esgotamento retrata, tanto os aspectos da ocupação do Oeste Paulista, como também, as características gerais do meio ambiente físico nesta porção do estado. O modo como deu-se a ocupação territorial, aliado à constituição natural do meio físico e à concentração populacional nos divisores de água das principais bacias hidrográficas, trouxe conseqüentes impactos sobre o meio ambiente no Oeste Paulista. São impactos que podem ser considerados graves e que têm chamado a atenção, sobre esta área, de uma boa parcela da comunidade técnica e científica.

Os sérios e variados problemas ambientais que ocorrem no Oeste Paulista, tais como: poluição das águas superficiais; comprometimento das águas subterrâneas; exaustão e erosão do solo; assoreamento dos rios; extinção da flora, da fauna e da ictiofauna, causados pelas atividades humanas, nunca ameaçaram tanto a qualidade de vida e a própria sobrevivência do homem, neste espaço geográfico, como hoje. Este fato exige providências urgentes para a minimização e ou solução destes problemas, por meio do uso racional do território e dos recursos naturais. No caso da erosão dos solos, é necessário que se conheçam as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e climáticas da área em estudo. Os processos morfogenéticos hoje atu-

antes sobre o meio antropogênico são agravados pela introdução de tecnologias inadequadas e de práticas associadas às economias destrutivas, que podem desencadear a dinamização destes processos de forma drástica e catastrófica. A declividade das vertentes e as características intrínsecas dos solos são fatores importantes na compreensão dos processos erosivos. Mas é o clima, mais especialmente a sucessão de eventos pluviiais, bem como sua intensidade e duração, que ocasionam os impactos que favorecem a erosão.

Figura 1- O Oeste Paulista



Ainda hoje, boa parte das pesquisas sobre erosão privilegia enfoques sobre a erodibilidade dos solos, em detrimento daqueles voltados à erosividade das chuvas. Esta tendência determina um distanciamento do conhecimento da dinâmica atmosférica e do seu papel na gênese, distribuição e intensidade das chuvas, causadoras dos processos erosivos. Mesmo as pesquisas de cunho climático, relacionadas à erosividade, priorizam preceitos da climatologia tradicional, não considerando, assim, o ritmo de sucessão – habitual ou excepcional - dos estados atmosféricos numa dada região. Desta forma, o estudo da erosividade da chuva, continua a merecer uma abordagem climática mais abrangente, capaz de destacar a aplicação dos conceitos de climatologia dinâmica e de enfatizar o papel da chuva, tendo em vista que a mesma participa em até 80% nas ocorrências do fenômeno da erosão.

A distribuição temporal e espacial das chuvas é um fenômeno climático bastante complexo. As variações da pluviosidade, que periodicamente ocorrem em diferentes pontos do nosso planeta, podem ser analisadas e compreendidas pelo estudo do regime pluviométrico anual, sazonal e mensal, de cada região em particular. Porém, estas mesmas variações, também podem ser estudadas através da sucessão dos estados atmosféricos sobre uma dada área, isto é, do ponto de vista do ritmo climático, que é alcançado graças à representação concomitante dos elementos do clima (em unidades de tempo cronológico diárias), associados aos tipos de tempo ali atuantes. São representações muito eficazes para a Climatologia, denominadas por Monteiro, em 1971, de "Análise Rítmica". Tais estudos climáticos, tanto os que analisam os regimes anuais, sazonais e mensais das chuvas como aqueles que se voltam ao ritmo pluviométrico diário, revelam a freqüente alternância entre períodos muito chuvosos ou muito secos, colocando em evidência as irregularidades pluviométricas. Estas irregularida-

des devem ser analisadas sob o aspecto quantitativo (diferentes volumes de precipitação pluvial por unidade de tempo e área) e, também, qualitativo (padrões de distribuição pluviométrica e respectivos ritmos), ambos de primordial importância para a explicação do fenômeno erosivo.

Nesta contribuição são enfocadas as variações da pluviosidade sobre o Oeste Paulista, com base em três diferentes anos-padrão (chuvoso, seco e "médio"), cujos ritmos atmosféricos, excepcional ou habitual, foram inferidos à partir representação diária e horária dos diversos elementos climáticos registrados pela Estação Meteorológica de Presidente Prudente e, também, graças à análise das respectivas cartas sinóticas do tempo. O interesse maior na aplicação da "Análise Rítmica" residiu na identificação de diferentes eventos pluviais e nas suas conseqüências erosivas sobre o solo, motivo pelo qual o balanço hídrico diário foi calculado e representado de forma concomitante aos diversos elementos do clima. Portanto, o principal objetivo deste artigo é fornecer subsídios a uma análise geográfica do tema erosividade, no intuito de possibilitar novas reflexões sobre a erosividade das chuvas, levando em conta as variações pluviais diárias e os preceitos estabelecidos pelo paradigma do ritmo na Climatologia Brasileira, cuja potencialidade de aplicações foi inventariada e apontada por Zavattini, em 2001.

METODOLOGIA, MATERIAL E TÉCNICAS

Do ponto de vista metodológico, dois conceitos fundamentais da Climatologia Geográfica apoiaram e possibilitaram a plena realização deste trabalho: a definição de clima, proposta por Sorre³, em 1951, e o paradigma do ritmo, preconizado por Monteiro, em 1971. Desta forma, foi possível estudar as variações da pluviosidade através da dinâmica climática regional, isto é, do jogo das massas de ar e dos tipos de tempo. Nesta tarefa de detalhamento dos diferentes ritmos de sucessão atmosférica sobre o Oeste Paulista, foi utilizada a tipologia dos fluxos de invasão polar, sistematizada por Monteiro, em 1969, e complementada por Tarifa, em 1975.

Numa primeira fase, a distribuição das chuvas - no tempo e no espaço - e nos aspectos quantidade (diferentes volumes) e intensidade (concentradas ou não), foi abordada do ponto de vista do método analítico ou separativo (PÉDELABORDE, 1991). As técnicas estatísticas empregadas revelaram importantes aspectos da pluviosidade anual, sazonal e mensal, no Oeste Paulista. Para que esta fase do estudo pudesse ser executada, foi necessária a coleta e a seleção dos dados pluviométricos existentes na área.

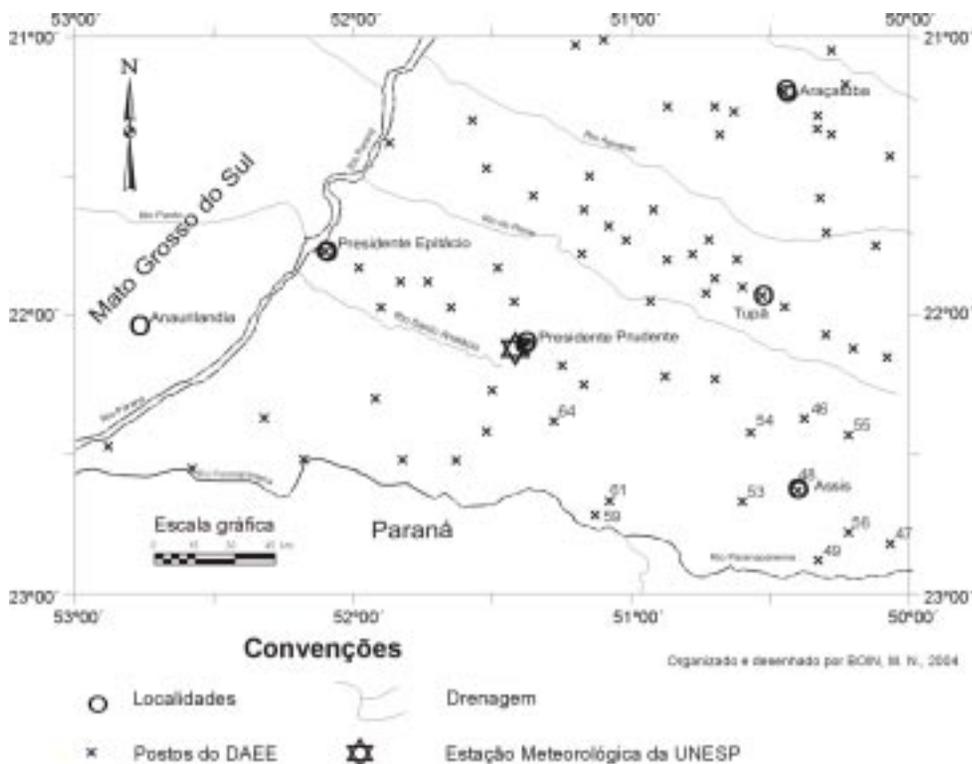
A coleta dos dados - diários, mensais e anuais - baseou-se na rede pluviométrica paulista do CTH-DAEE⁴, restrita à porção compreendida entre as latitudes 21° e 23°S e longitudes 50° e 53°W e possuidora de 147 postos pluviométricos. Já a seleção, privilegiando os postos com maior série temporal e menor período de interrupção, eliminou aqueles com falhas em anos inteiros (ou em 12 meses contínuos), descartou os com registros que alcançaram somente até o ano de 1991, desconsiderou postos com lacunas repetidas (sempre nos mesmos meses) e manteve apenas aqueles com séries contínuas, ou que apresentassem, no máximo, interrupções em até doze me-

³ "a série de estados atmosféricos sobre um determinado lugar em sua sucessão habitual"

⁴ CTH-DAEE = Centro Tecnológico de Hidráulica - Departamento de Águas e Energia Elétrica, órgão que controla os recursos hídricos no Estado de São Paulo.

ses, desde que descontínuos. Como resultado final desta etapa de organização dos dados foram mantidos apenas 72 postos, cujas séries abrangem o período 1967-1996 e totalizam 30 anos de dados ininterruptos ou, quando muito, com poucas falhas. Tais falhas, foram preenchidas com os dados respectivos de postos adjacentes, uma vez consideradas a proximidade entre eles e observadas as características geográficas do entorno, especialmente as topográficas, sobre as quais os mesmos encontram-se instalados (Figura 2).

Figura 2- Rede pluviométrica do DAEE no Oeste Paulista



Durante a primeira fase desta pesquisa, foram aplicadas as seguintes técnicas estatísticas e cartográficas aos dados pluviométricos anuais, sazonais e mensais, do período 1967-1996: médias, desvios-padrão, coeficientes de variação, retas de tendência, limites de confiança, coeficientes de determinação, erro-padrão das estimativas, superfícies de tendência, análise de resíduos, análise de agrupamento e dendogramas, conforme orientações de Gerardi, 1980, e Gerardi e Silva, 1981; pluviogramas, de acordo com Flores, 1995; cartas de isoietas, de máximas em 24 horas e do número de dias de chuvas, segundo Monteiro, 1973; cartas de isoerodentes ou isoimpactantes, à partir de equação desenvolvida por Tommaselli et al., 1997. Na execução dos cálculos e na construção dos cartogramas foram empregados os seguintes programas de computador: Surfer - Surface Mapping System - Versão 6.01,

da Golden Software, inc; Microsoft Excel - Versão 5.0, da Microsoft Corporation; MVSP - Multi-Variate Statistical Package – Versão 2.2, da Kovach Computing Services; Corel Draw - Versões 4.0 a 8.0, da Corel Corporation; dentre outros.

Os resultados colhidos com a aplicação destas variadas técnicas, uma vez analisados e integrados, apontaram, no Oeste Paulista, para os anos de 1967, 1968, 1969, 1970, 1978, 1979, 1981, 1985 e 1994, como representativos do “padrão” seco (ritmo excepcional); os de 1971, 1972, 1974, 1976, 1982, 1983, 1989, 1990 e 1992, como representativos do “padrão” chuvoso (ritmo excepcional); os de 1973, 1977, 1984, 1986, 1987, 1993, 1995, como representativos do “padrão” médio (ritmo habitual); enquanto que os de 1975, 1980, 1988, 1991 e 1996, cujo ritmo atmosférico alternou-se entre excepcional ou habitual, foram classificados como anos de “padrão” misto, ou seja, parcialmente chuvosos e parcialmente secos. Dentre todos estes anos, foram escolhidos os de 1983, 1984 e 1985, respectivamente representativos do “padrão” chuvoso, médio e seco, para a análise rítmica diária, à qual seria associado o balanço hídrico, dando início a uma nova etapa desta pesquisa, que iria sustentar-se nos preceitos da Climatologia Dinâmica.

Isto foi possível porque levou-se em consideração que diferentes situações paisagísticas, nas quais os componentes de inclinação e comprimento de vertentes, os tipos de solo e de cobertura vegetal, e o variado uso e ocupação do solo, sucedem-se e se alternam, determinando períodos distintos de infiltração, evaporação e escoamento da água. Como tais períodos estão intimamente ligadas ao ritmo de distribuição das chuvas, é fundamental a definição do excedente hídrico, dinamizador da erosão. Assim, associou-se, à análise rítmica, o balanço hídrico diário, técnica capaz de revelar o excedente hídrico no solo que irá escoar e determinar o potencial de erosividade das chuvas.

Para o cálculo do balanço hídrico diário no triênio 1983-1985, foram utilizadas as tabelas elaboradas por Thornthwaite e Mather (1955) e adaptadas por Camargo (1961), para o Estado de São Paulo, procedimento também adotado por Tarifa (1973) e Barrios (1987). Desta forma, foi possível a obtenção dos dados de evapotranspiração potencial⁵, umidade armazenada, evapotranspiração real⁶, deficiência hídrica⁷ e excedente hídrico⁸. Foi adotado, para o cálculo da capacidade de campo⁹, o valor de 60 mm., habitualmente empregado em culturas temporárias (o algodão, por exemplo). Ao adotá-lo, levou-se em conta o fato de que a camada superficial do solo já teria alcançado, com base neste índice, sua capacidade máxima de retenção de água, dando então início ao processo de escoamento que, por sua vez, acabaria provocando tanto a erosão laminar quanto a erosão concentrada.

A aplicação da técnica de análise rítmica ao referido triênio, exigiu a coleta de dados diários e horários, referentes à localidade de Presidente Prudente¹⁰, dos seguintes elementos do clima: pressão atmosférica em milibares (mb), às 12 GMT¹¹ (9h

⁵ Evapotranspiração potencial é a quantidade de água que evapora do solo e transpira das plantas, em um solo inteiramente vegetado, livremente exposto à atmosfera e às condições de capacidade de campo (THORNTHWAITE, 1944, apud ORTOLANI et al., 1970).

⁶ Evapotranspiração real é a quantidade de água que, nas condições reais, evapora do solo e transpira das plantas (ORTOLANI et al., 1970).

⁷ Deficiência hídrica é a diferença entre a evapotranspiração potencial e real (ORTOLANI op. cit.).

⁸ Excedente hídrico é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial quando o solo atinge a sua capacidade máxima de retenção de água (ORTOLANI op. cit.).

⁹ Capacidade de campo corresponde à quantidade máxima de água que o solo úmido pode reter contra a ação da gravidade, em condições normais de campo (CAMARGO, 1971, apud BARRIOS, 1987).

¹⁰ Estes dados foram obtidos na estação meteorológica da UNESP de Presidente Prudente.

¹¹ GMT (Greenwich Mean Time) ou, ainda, TMG (Tempo Médio de Greenwich).

de Brasília) e 18 GMT (15h de Brasília); temperatura do ar em graus centígrados (°C), às 12 GMT, máxima e mínima; umidade relativa do ar em percentagem (%), às 12 e 18 GMT; ventos - direção e velocidade, às 12 e 18 GMT; nebulosidade em décimos (parte da abóbada celeste coberta por nuvens), às 12 e 18 GMT; e total diário de chuvas em milímetros (mm). O ritmo diário de distribuição das chuvas foi analisado concomitante ao das disponibilidades hídricas, graças à incorporação do balanço hídrico diário ao gráfico de análise rítmica, pois considerou-se que o excedente de água no solo é escoado automaticamente, podendo causar erosão. Nos gráficos de análise rítmica do triênio 1983-1985 também está representada a intensidade dos episódios diários de chuva, em suas variações horárias, mais precisamente a cada minuto. Tais informações foram obtidas nos diagramas do pluviógrafo daquela localidade, dos quais foram extraídos os episódios de intensidade maior que 10 mm em 60 minutos, considerados como erosivos.

Não é fácil estabelecer um valor pluviométrico, seja anual, mensal, diário ou mesmo horário, à partir do qual tem início o processo erosivo, uma vez que o mesmo depende de outros fatores extrínsecos como, por exemplo, da distribuição temporal das chuvas, das condições de energia térmica, da capacidade de infiltração das águas pluviais nos solos e, conseqüentemente, do ritmo da evapotranspiração potencial. Mesmo assim, apesar desta dificuldade, neste trabalho, valores de chuva superiores a 10 mm em 60 minutos foram considerados como capazes de provocar erosão e, por esta razão, também foram representados nos gráficos de análise rítmica.

Nos gráficos de análise rítmica (Figuras 5a-b, 6a-b e 7a-b), a representação dos dados mencionados está associada às informações extraídas das cartas sinóticas meteorológicas de superfície, fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que possibilitaram a identificação diária/horária dos sistemas atmosféricos atuantes sobre o Oeste Paulista. A chuva, fonte de abastecimento de água no solo e causadora da erosão, depende do jogo das massas de ar e dos tipos de tempo, ou seja, do confronto entre os diferentes sistemas atmosféricos que agem sobre uma dada área, promotores de maior ou menor pluviosidade. À diferentes confrontos, gerados pela dinâmica atmosférica regional, irão corresponder anos com características pluviais também diversas. Assim, o acompanhamento diário das várias seqüências de tipos de tempo, permite a compreensão das seqüências rítmicas de maior ou menor intensidade pluvial, capazes ou não de intensificar os processos erosivos.

Em outras palavras, os fluxos atmosféricos estão estreitamente ligados à disponibilidade e ao excedente hídricos e, conseqüentemente, à erosão dos solos. Afinal, o solo, ao atingir a condição de excedente hídrico, após o armazenamento total das águas pluviais, não mais consegue absorvê-las, o que faz com que escoem pelas vertentes e causem a erosão. Portanto, é importante estudar os diferentes fatores que condicionam a erosividade das chuvas sobre os solos, para avaliar em que situações tais condições são reproduzidas, que tipos de tempo são provocadores de tais erosões, enfim, destacar as relações entre a dinâmica atmosférica e a dinâmica erosiva das chuvas. Foi com este intuito que se associou, neste trabalho, a técnica da análise rítmica à do balanço hídrico diário e aos episódios pluviais intensos, na tentativa de se estimar as condições de absorção e saturação do solo, pelas águas das chuvas.

Desta maneira, procurou-se avaliar, por meio do balanço hídrico diário, como as variações rítmicas do tempo atmosférico, nos "anos-padrão" de 1983, 1984 e 1985, desencadearam ou não períodos que pudessem ser considerados como de excesso pluviométrico ou excedente hídrico, cujos escoamentos fossem capazes, ou não, de provocar a erosão do solo.

Com este procedimento foi também possível avaliar a água devolvida para a atmosfera, por meio da evaporação dos solos e da transpiração das plantas (evapotranspiração), associando tais fenômenos às variações dos outros elementos

atmosféricos que atuaram nos “anos-padrão”, construindo, com esses resultados, um quadro mais preciso da influência das variações do ritmo pluvial nos processos erosivos.

AS VARIAÇÕES DO RITMO PLUVIAL NO OESTE PAULISTA

A circulação atmosférica regional e as chuvas no triênio 1983/85

Na impossibilidade de analisar a sucessão e articulação dos tipos de tempo ao longo do período 1967-1996 e, tendo vista a existência de intrínsecas relações entre as variações da pluviosidade e o ritmo dos mecanismos atmosféricos, a aplicação da análise rítmica diária recaiu sobre os “anos-padrão” de 1983 (pluviosidade elevada), 1984 (pluviosidade média) e 1985 (pluviosidade reduzida). O uso de “anos-padrão”, com base na análise rítmica diária, proposta por Monteiro (1971 e 1973), é empregado como forma de síntese da dinâmica climática ocorrida durante um certo lapso temporal e possibilita a compreensão real do clima, sem que haja a necessidade de representação de toda a série estudada, no que diverge da ótica do método analítico ou separativo e evita a manipulação de grandes volumes de dados, muitas vezes inexistentes. Um outro fator que impossibilitaria a representação de toda a série 1967-1996 seria, ainda, o excessivo número de sínteses, que tornariam difícil a análise dos dados utilizados e a interpretação dos resultados obtidos. Desta forma, a escolha dos “anos-padrão” possibilitou a interpretação a que se propunha este trabalho, com a condensação das análises, e as interpretações restritas aos anos mais representativos, tanto do ponto de vista pluvial como da erosividade.

O ano de 1984, de pluviosidade média, foi o que melhor se prestou para representar o ritmo “habitual”. Embora em alguns postos pluviométricos do Oeste Paulista tenha ocorrido pluviosidade abaixo da esperada, as informações obtidas na Estação Meteorológica da UNESP, válidas para Presidente Prudente e adjacências, revelaram totais pluviais dentro da média de longo período. No ano de 1985, de pluviosidade reduzida e ritmo “excepcional”, 66% dos postos pluviométricos estudados apresentaram totais de chuva muito baixos, caracterizando-se como um dos anos mais secos das duas últimas décadas da série em estudo. Já em 1983, 81% dos postos apresentaram valores muito altos de chuva, demonstrando o ritmo “excepcional” deste ano.

Em decorrência de ter-se escolhido um triênio, pôde-se efetuar uma análise rítmica contínua com os dados da referida estação meteorológica, construindo-se os gráficos relativos às variações diárias de diversos elementos do clima, associando-os aos aspectos da dinâmica atmosférica, que geraram as chuvas, cuja ação provocou erosão sobre os solos. Desta forma, associou-se a “Análise Rítmica” de Monteiro (1971) à técnica do balanço hídrico diário e, ainda, à análise dos eventos pluviais de intensidade igual ou maior que 10 mm em 60 minutos, no intuito de caracterizar os diferentes tipos de impacto causados pelas chuvas.

Na construção dos gráficos de análise rítmica, foram empregados os dados dos sistemas atmosféricos identificados por Zavattini (1990)¹², conforme seguem: 1) Sistemas Frontais: Frente Polar Atlântica (FPA), Frente Polar Reflexa (FPR), Frente Polar Atlântica em Dissipação (DIS), Frente Polar Atlântica Oclusa (OCL), Repercussão de Frente Polar Atlântica (REP), Frente Polar Atlântica Estacionária (EST), Frente Polar

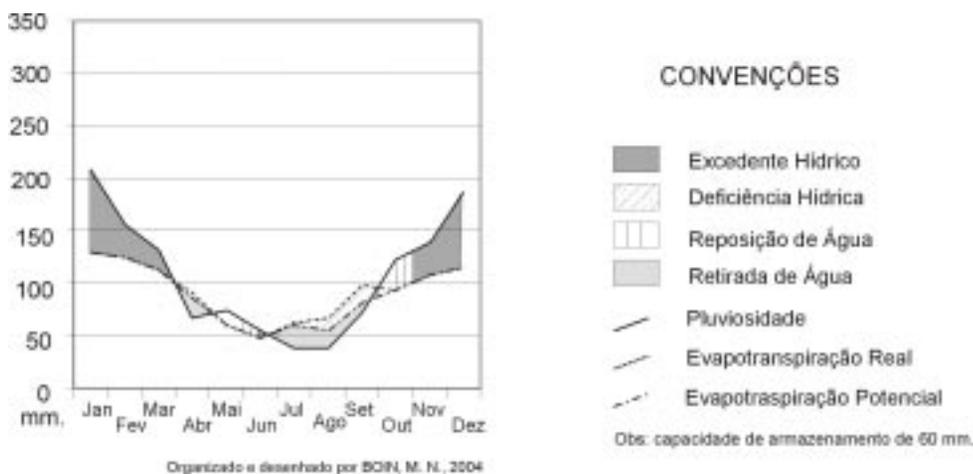
¹² Informações extraídas, pelo referido autor, das cartas sinóticas meteorológicas de superfície (00, 06, 12 e 18 GMT), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 6º Distrito, Rio de Janeiro.

Atlântica com Setor Quente de Retorno no Continente (QTE), Frente Quente (FQ); 2) Sistemas Tropicais: Massa Tropical Atlântica (TA), Massa Tropical Atlântica Continentalizada (TAC), Massa Tropical Continental (TC), Massa Tropical com Linhas de Instabilidade (IT); 3) Sistemas Polares: Massa Polar Atlântica (PA), Massa Polar Velha (PV), Massa Polar Velha Continentalizada (PVC); 4) Sistema Equatorial: Massa Equatorial Continental (EC). Posteriormente, Zavattini (op. cit.), por uma questão de análise, sintetizou estes sistemas da seguinte forma: 1) Correntes do Sul = PA + PV/PVC + FPA eixo principal, em dissipação, oclusa, estacionária + FPR; 2) Correntes do Leste = TA + TAC + IT + FPA com setor quente de retorno no continente + Repercussão de FPA; 3) Corrente do Norte = EC; 4) Corrente do Oeste = TC.

Considerando-se a dificuldade do estabelecimento de um valor de chuva que determine o início de sua ação erosiva, uma vez que o processo de erosão depende de outros fatores intrínsecos, já mencionados, o primeiro passo foi analisar, com base no balanço hídrico mensal do lapso 1967/96 e dos "anos-padrão" escolhidos, os períodos em que o solo apresentou condições de reter ou repor água, e aqueles em que as águas das chuvas, não mais absorvidas pelo solo, dinamizaram os processos erosivos. A figura 3, representativa do balanço hídrico mensal médio no Oeste Paulista (período 1967/96), revelou o seguinte comportamento:

- Nos meses de janeiro, fevereiro e março (verão), e nos de novembro e dezembro (primavera), ocorrem excedentes hídricos;
- Em abril (outono), e nos meses de julho, agosto e setembro (inverno), são registradas deficiências hídricas;
- Nos meses de maio e junho (outono), e em outubro (primavera), há a reposição da água no solo.

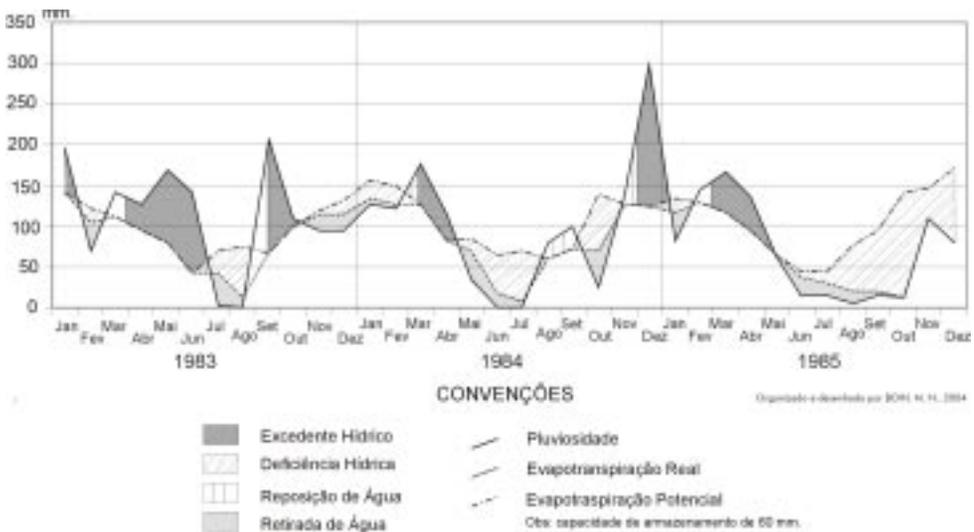
Figura 3- Balanço hídrico mensal em Pres. Prudente (SP) - Período 1967/96



A figura 4, que ilustra o balanço hídrico mensal nos "anos-padrão" escolhidos, demonstra que o comportamento médio em 30 anos (1967/96), no entanto, não se repetiu no triênio 1983/85, chegando mesmo a apresentar uma distribuição totalmen-

te diferente, conforme a seguinte análise. Em 1983, o mês de janeiro apresentou excedente hídrico, mas em fevereiro a pouca quantidade de chuvas provocou deficiência hídrica, reposta a partir de março, provocando excedentes hídricos até o final de junho; os meses de julho e agosto foram marcados por grande deficiência hídrica, reposta no início de setembro, gerando excedente hídrico de meados de setembro até meados de outubro. No restante do ano, até o final de fevereiro de 1984, ocorreu um longo período de deficiência hídrica. O ano de 1984, iniciado com deficiência hídrica nos dois primeiros meses, somente no começo de março registrou reposição hídrica. De meados de março até o final de abril ocorreu excedente hídrico e, nos meses de maio, junho e julho, até meados de agosto, houve grande deficiência hídrica. A reposição da água no solo, iniciada em meados de agosto, foi até meados de setembro, quando se deu nova deficiência, que se estendeu até a primeira quinzena de novembro. Do meio de novembro até o início de dezembro ocorreu reposição da água no solo, com excedentes desde o início de dezembro até à primeira quinzena de janeiro de 1985. O ano de 1985, que apresentou excedentes hídricos nos seus primeiros quinze dias, passou a ter deficiência hídrica até meados de fevereiro, quando ocorreu a reposição da água do solo até o final do mesmo mês. Após a reposição, neste período de quinze dias, houve um período de dois meses e meio de excedentes hídricos e, do meio de maio até o fim de dezembro, ocorreu um longo período de deficiência hídrica.

Figura 4 - Balanço hídrico mensal em Pres. Prudente (SP) - Triênio 1983/85



Desta forma, pode-se dizer que no "ano-padrão" chuvoso de 1983, aos altos totais pluviométricos corresponderam elevados valores de excedente hídrico, que potencializaram o poder erosivo das chuvas. Já nos "anos-padrão" de 1984 (pluviosidade média) e de 1985 (pluviosidade reduzida), o número de dias com excedentes hídricos foi bastante reduzido e, conseqüentemente, foi menor a erosão. A diferença entre estes dois últimos anos é que em 1984 ocorreu um maior período de

reposição da água no solo do que em 1985 e, mesmo nestas condições de abastecimento parcial do armazenamento, puderam ser encontradas situações diárias de excedente hídrico que potencializaram ou dinamizaram os processos erosivos. Entretanto, em 1984, a situação de abastecimento parcial determinou um risco de erosão menor que o de 1983, com excedentes hídricos muito elevados, pois boa parte das chuvas caídas foi capaz de infiltrar-se.

Realizado o estudo do comportamento mensal da pluviosidade no Oeste Paulista e de sua possível contribuição ao fenômeno da erosão, o passo seguinte foi analisar, para cada dia do triênio 1983/85, a sucessão dos estados atmosféricos sobre a área e as implicações nas variações do ritmo pluvial, no balanço hídrico, nos episódios pluviais intensos e, por conseqüência, na erosão do solo. Neste intento, os gráficos de análise rítmica construídos para a localidade de Presidente Prudente (Figuras 5a-b, 6a-b e 7a-b), foram de grande utilidade. A síntese dos resultados obtidos é apresentada a seguir.

As variações do ritmo pluvial no “ano-padrão” de 1983 (pluviosidade elevada)

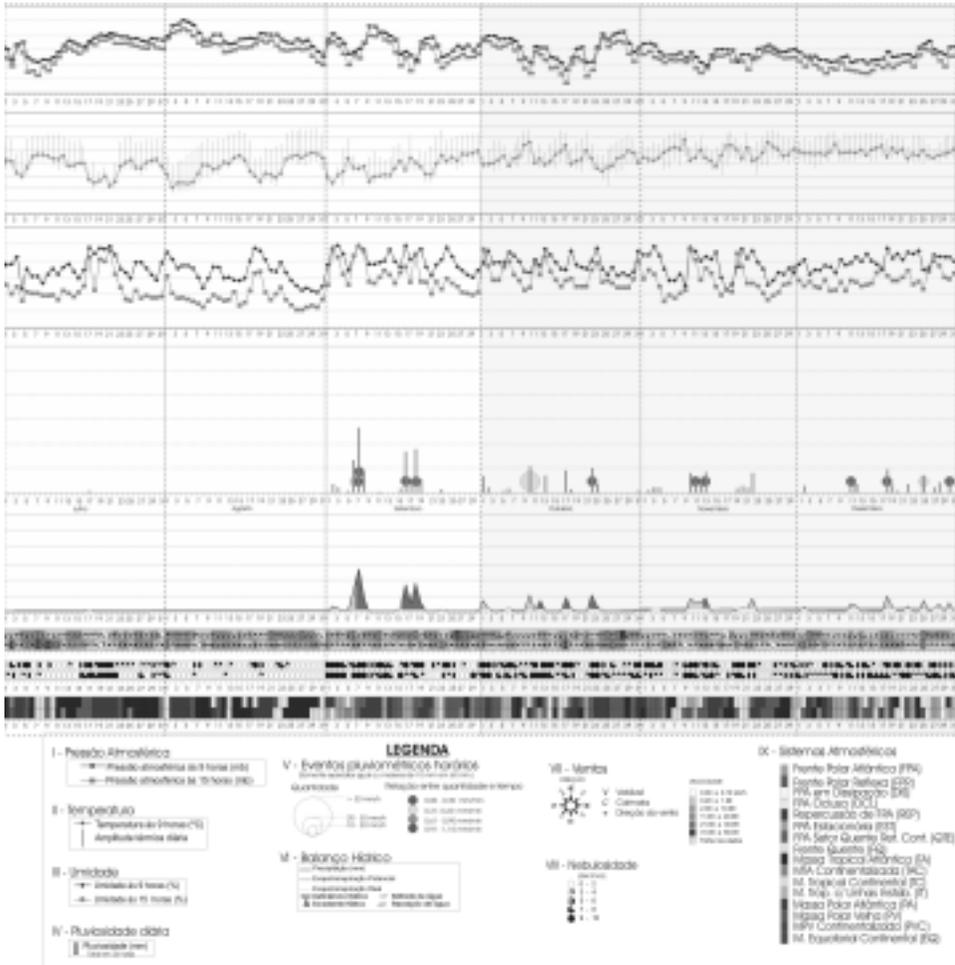
No verão de 1983 houve grande atuação das correntes do sul. Controlando as condições atmosféricas ao longo de mais da metade do período (57%), elas possibilitaram intensa atividade frontal, que se responsabilizou por 70%, em média, das chuvas registradas, e 90 % dos eventos mais erosivos acima de 10 mm/h, na cidade de Presidente Prudente. Em termos gerais, durante o verão de 1983, as chuvas associaram-se predominantemente ao eixo principal da FPA (32,6%) ou ao seu estacionamento (20,2%), ainda com participação de recuos desse eixo frontal (6,7%). Já os eventos mais intensos ou erosivos associaram-se às FPA estacionárias (30,9%), enquanto o eixo principal respondeu por 29,2 %, e o setor quente de retorno por 19,0%. Os episódios de maior intensidade foram provocados pela FPA oclusa, pelo setor quente de retorno do continente e pela Frente Polar Atlântica, enquanto o evento pluvial de maior volume precipitado foi devido à FPA estacionária. Nesta estação, o impacto pluvial teve intensidade de média a forte, em pelo menos duas situações, nas quais o solo já se encontrava com sua capacidade de armazenamento suprida. A primeira, ocorrida no meio do mês de janeiro, foi causada principalmente pelo setor quente de retorno da FPA e gerou 109,2 mm de chuva. A segunda, ocorrida no início de março, também causada pelo setor quente de retorno da FPA, apresentou seu ápice de impacto pluvial quando a FPA estacionou, gerando 131,6 mm de chuva. Nestas duas ocasiões, os tipos de tempo acima citados foram causadores de grande impacto erosivo na cidade de Presidente Prudente. Outros eventos pluviais de menores proporções também ocorreram nesta estação, mas a deficiência hídrica do solo mitigou os efeitos da chuva proporcionando um menor escorrimento e, conseqüentemente, um menor poder erosivo. As sucessões de tipos de tempo que provocaram seqüências de dias chuvosos, com excedentes hídricos provocadores de erosão, relacionaram-se com as atividades frontais ou, então, deveram-se ao confronto da Massa Tropical Continental com a Frente Polar Atlântica e suas derivações.

Durante o outono de 1983, o controle das condições atmosféricas sobre Presidente Prudente permaneceu a cargo das correntes do sul, pois o predomínio das mesmas chegou a 65%. A forte atividade frontal imposta por essas correntes provocou elevada pluviosidade, bem acima dos padrões médios registrados no outono, e estes valores ultrapassaram em 100% aqueles referentes à pluviosidade média. Essa alta pluviosidade, principalmente na divisa com o estado do Paraná, explica-se pela forte ação das correntes do sul em contraposição às correntes de leste, sendo que o eixo principal da FPA gerou 43,1% das chuvas, e a FPA estacionária, 39,9%. A participação nos eventos mais intensos, maiores que 10 mm /h, dividiu-se somente entre

No inverno de 1983, as massas polares, mais freqüentes e atuantes além Trópico de Capricórnio, ampliaram o papel das correntes do sul, pois houve contínuo abastecimento de ar frio ao sul do continente. Tais massas polares participaram com 55% do total desta estação, que também teve uma ampla participação da Massa Tropical Atlântica, representada por índices de 28,8%. Estes sistemas, tanto os extra como os intertropicais, estabilizadores do tempo, proporcionaram, em julho e agosto, a ausência quase completa de chuvas. Somente em setembro, a FPA e a FPA Estacionária, voltariam a provocar chuvas razoáveis. Neste período, elas foram causadas pela FPA eixo principal (58,1%), seguida da FPA estacionária (28,7%), e, em terceiro lugar, ficou a FPA com setor quente de retorno no continente, com 9,6%. Os eventos pluviais maiores que 10 mm/h, ocorridos no mês de setembro, foram exclusivamente frontais, com o eixo principal participando com 53,9%, e o estacionário, com 46,1%. Nesta estação, no mês de setembro, duas seqüências de tipos de tempo causaram eventos pluviais maiores que 10 mm/h, oportunidades em que encontraram o solo com excedente hídrico; mas, como a intensidade dos mesmos não foi muito forte, é possível que tenham provocado processos erosivos de proporções apenas médias. Entretanto, apesar destes eventos não terem sido intensos, as duas seqüências de tipo de tempo por eles responsáveis, geraram, sobre a cidade de Presidente Prudente, totais de 108,5 mm e de 94,5 mm, respectivamente, bastante atípicos para o inverno.

Na primavera de 1983, as correntes do sul ainda mantiveram o controle da circulação, conforme demonstram seus índices de participação em Presidente Prudente (60,54%). A ação pluvial que estas correntes produziram diversificou-se, graças à oposição efetiva da Massa Tropical Atlântica. Este bloqueio diminuiu a influência quase exclusiva que o eixo principal das FPA vinha exercendo na geração das chuvas, permitindo uma maior semelhança aos do verão. Esta semelhança, porém, não reduziu totalmente a participação do eixo principal da FPA, que se responsabilizou por 45,3% das chuvas. Assim, no decorrer da primavera, registraram-se chuvas oriundas do setor quente de retorno das FPA (12,2%), da repercussão da FPA (11,5%), da Frente Polar Reflexa (9,2%), da Massa Tropical com linhas de Instabilidade (9,4%), além de outros sistemas, com menores participações. No geral, as chuvas geradas nesta estação foram pouco intensas e abaixo do esperado para esta época do ano. Os episódios maiores que 10 mm/h foram poucos, isolados e de baixa intensidade e, na maioria dos casos, ocorreram sobre um solo que aguardava a reposição de água, o que minimizou o efeito de escoamento que provocaria a dinamização da erosão. Somente em dois casos os episódios ocorreram com excedente de água, mas a intensidade dos mesmos foi baixa. Ao contrário do ocorrido no outono e no inverno, os eventos pluviais da primavera tiveram uma menor participação da Frente Polar Atlântica (36,5%) e uma participação significativa dos seguintes sistemas: da Massa Tropical com linhas de instabilidade (19,4%), da FPA de repercussão (18,4%), da Massa Polar Velha (13,2%) e da Frente Polar Atlântica com setor quente de retorno do continente (12,4%). Da mesma forma, os episódios de chuva maiores que 10 mm/h também se mostraram menos intensos e esparsos em toda a primavera, podendo-se dizer que, apesar de 1983 ter sido no geral um ano chuvoso e erosivo, a primavera foi uma estação com índices de erosão abaixo da média. Neste período, a Massa Tropical Continental, a Massa Tropical Atlântica, a Massa Tropical Atlântica Continentalizada e a Massa Tropical com linhas de instabilidade, fortemente atuantes, provocaram uma baixa pluviosidade, causando deficiência hídrica na maior parte da estação. Já as chuvas que repuseram a água nos solos foram ocasionadas pela Frente Polar Atlântica, eixo principal, e pela Frente Polar Atlântica com setor quente de retorno. Já os excedentes hídricos estiveram relacionados apenas à ação da Frente Polar Atlântica com setor quente de retorno. (Figura 5b)

**Figura 5-B - Variações do ritmo pluvial em Pres. Prudente (SP)
Ano de 1983**



Organizado e desenhado por BOIN, M. N., 2004.

Em síntese, durante 1983, ano de pluviosidade elevada e ritmo “excepcional”, a forte atividade do ar polar possibilitou a ocorrência de inúmeros choques frontais, que foram os maiores responsáveis pelos elevados valores pluviométricos registrados nas três primeiras estações do ano. Cerca de 70 % das chuvas deste ano foi gerada por sistemas frontais, mas, na primavera, os fluxos polares do tipo “oscilante” perderam a força (TARIFA, 1975; apud. ZAVATINI, 1990) e, assim, a pluviosidade ficou abaixo da esperada, principalmente na porção oriental do Oeste Paulista. Com relação à disponibilidade hídrica do solo, o verão, o outono e o inverno de 1983, apresentaram três períodos de excedente hídrico e pequenos períodos de deficiência hídrica, rapidamente repostos pelos elevados totais pluviométricos que então se registraram;

contudo, na primavera, as chuvas foram insuficientes para a reposição da água no solo. Nas três primeiras estações, mais especialmente no verão, ocorreram os eventos pluviais mais intensos e erosivos, sempre associados ao setor quente de retorno no continente da FPA e às FPA Estacionárias.

As variações do ritmo pluvial no “ano-padrão” de 1984 (pluviosidade média)

No verão de 1984 verificou-se a mesma tendência da primavera do ano anterior, com as correntes do sul atuando de maneira oscilante sobre o oeste do estado de São Paulo, embora com menos intensidade e perdendo força para as correntes de leste, que se manifestaram mais intensamente (38%). No verão de 1983, a participação das correntes de leste fora de 25%. Nesta estação cerca de 47% das chuvas foram geradas pelos sistemas frontais e 36% pelas correntes de leste. Na origem das chuvas deve-se destacar o papel do eixo principal da FPA (37,2%) e seus desdobramentos, principalmente pelo setor quente de retorno (18,8%) e Frente Polar Reflexa (7,8%), o que evidenciou uma certa fraqueza das correntes de sul e uma maior atuação das correntes de leste ou intertropicais. Outra característica deste verão foi a atividade pluvial da Massa Tropical Continental (TC), que gerou 15,4% das chuvas em Presidente Prudente. Três sistemas predominaram na geração de eventos pluviais maiores que 10 mm/h nesta estação. O de maior geração foi a Frente Polar Atlântica, eixo principal, com 37,9%, seguida pela Frente Polar Atlântica com setor quente, com 23,5% e, em terceiro, a Massa Tropical Continental, com 21,1%, além de outras menores participações. As chuvas, bem distribuídas nesta estação, assim o foram graças à diversidade de gênese das mesmas; a ação que as correntes intertropicais ofereceram às do sul acabou alterando as massas polares que chegaram ao Estado de São Paulo modificadas. Desta maneira, a participação das massas polares tropicalizadas (PV-PVC) superou a principal (PA). Os sistemas frontais, em confronto com a Massa Tropical Atlântica e Tropical Continental, geraram chuvas que repuseram a água no solo e, em algumas seqüências mais duradouras, ocasionaram excedentes hídricos nesta estação. Já a retirada da água do solo e a deficiência hídrica foram causadas pela Massa Tropical Atlântica, Massa Tropical Atlântica Continentalizada, Massa Tropical Continental e, ainda, pela Massa Tropical com linhas de instabilidade. Nesta estação, quatro tipos de seqüência de tempo geraram episódios de forte intensidade sobre solos já com excedentes hídricos, sobre os quais o total das chuvas escoou, dinamizando o transporte de partículas e causando erosão. A primeira seqüência de tipos de tempo, ocorrida no fim de janeiro, esteve associada à entrada da Massa Polar Atlântica, precedida de uma Frente Polar Atlântica que repôs a água no solo e, em seguida, estacionou, gerando excedente hídrico e eventos pluviais intensos que continuaram a ocorrer por meio de uma FPA Oclusa. A segunda seqüência de tipos de tempo, ocasionadora de precipitações pluviais de forte impacto sobre o meio físico, ocorreu no início do mês de fevereiro e se iniciou sobre a influência da Massa Tropical Atlântica, em confronto com a Frente Polar Atlântica com setor de retorno quente. Foram cinco eventos de intensidade maior que 10 mm/h, em três dias com grande quantidade de chuva. Nesta seqüência, as chuvas, ao encontrarem o solo com excedente hídrico ocasionaram erosão. Uma terceira seqüência de tipos de tempo ocorreu no início de março, e foi provocada pelas Massas Tropical Atlântica e Tropical Continental, que atraíram uma Frente Polar Atlântica, gerando quatro dias consecutivos de chuva e três episódios maiores que 10 mm/h, sobre um solo com excedente hídrico e facilmente erodível. A quarta seqüência, ocorrida no final de março, iniciou-se com a Massa Tropical Continental, em confronto com a Frente Polar Atlântica, que avançou, estacionou sobre o Oeste Paulista, recuou e, finalmente, permitiu a entrada de uma nova FPA. Foram seis dias chuvosos e com um episódio maior que 10 mm/h, estando o solo já bem encharcado e, portanto, facilmente erodível.

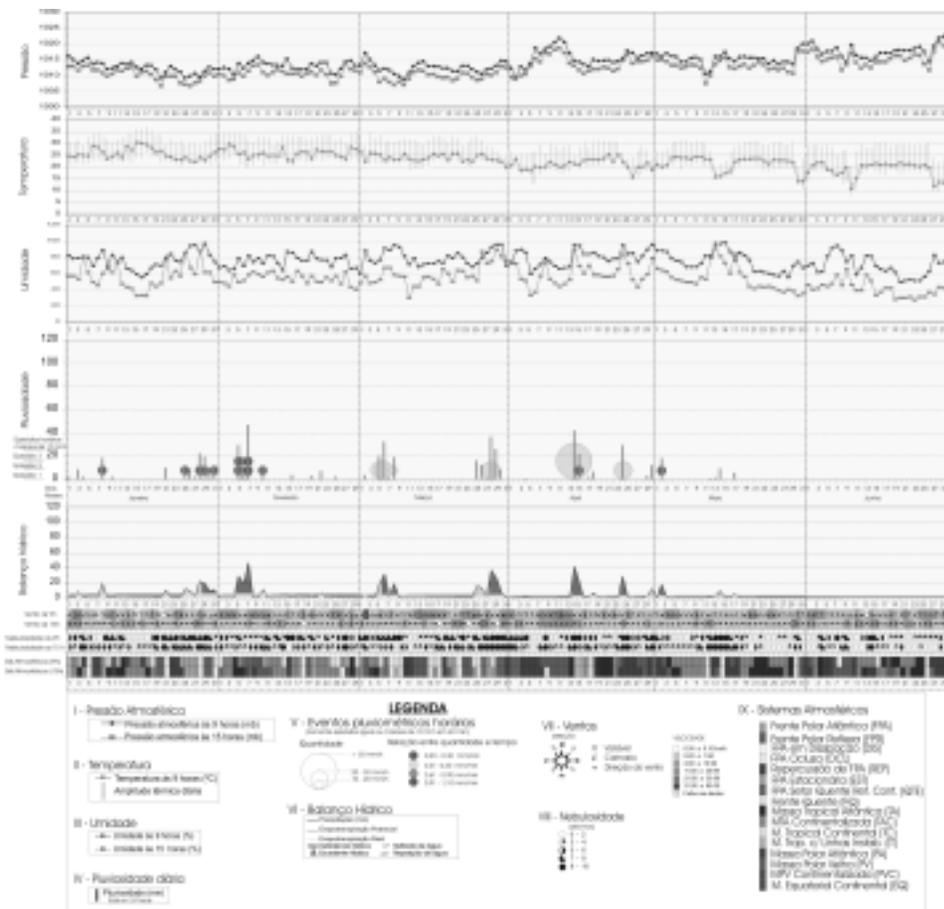
No outono de 1984, a ampliação da participação das correntes do leste (51%) bloqueou o avanço das correntes do sul, que passaram a ser minoria, apesar de, nesta época do ano, serem mais vigorosas. As chuvas neste período estiveram geneticamente associadas às Linhas de Instabilidade (42,7%), ao eixo principal da Frente Polar Atlântica (28,3%), à Repercussão da Frente Polar Atlântica (21,9%) e à Frente Polar Reflexa (6,2%), concentrando-se nos primeiros 45 dias desta estação e, depois, não mais ocorrendo até o início de agosto. Os episódios mais intensos estiveram ligados às Linhas de Instabilidade (61,9%) e à Frente Polar Atlântica, eixo principal, e os eventos ocorreram sempre em situação de excedente hídrico, o que ocasionou um grande impacto pluvial, pois os solos já se encontravam encharcados. O maior destes eventos ocorreu sob a influência da Massa Tropical Atlântica, que evoluiu para Massa Tropical Atlântica com Linhas de Instabilidade. Nos dois outros eventos, a seqüência de tipos de tempo ficou sob a responsabilidade da Massa Polar Atlântica, e de suas derivações. Observa-se, nas pranchas de análise rítmica dos anos de 1984 e 1985 (Figuras 6a-b e 7a-b, respectivamente), que os fortes aguaceiros ou episódios mais intensos, ocorridos depois de um período seco, são precedidos de chuvas finas, pouco intensas, que se precipitam e evaporam, gerando concentração de umidade no ar e, cujo acúmulo na baixa atmosfera, irá reabastecer as nuvens e provocar os fortes aguaceiros, ou seja, episódios mais intensos. O balanço hídrico diário demonstra que, nesta estação, houve períodos de grande deficiência hídrica e, somente durante 20 dias, ocorreu reposição e excedente hídrico nos solos, capazes de causar erosão, originadas, principalmente, pelo confronto dos sistemas do leste e oeste. (Figura 6a)

No inverno de 1984, a participação das correntes do sul no controle da circulação aumentou, como era de se esperar, agindo por mais da metade desta estação (57%). Tais correntes não somente controlaram as condições do tempo como também dominaram a geração de chuvas, com 92% da precipitação ocorrida. Somente a FPA, em seu eixo principal, gerou 71,8% das chuvas, neste período, e o restante das chuvas foi causado principalmente, pelo bloqueio efetivo exercido pelas Massas Tropicais Atlânticas (TA/TAC), quando se registrou considerável ação pluvial das FPA estacionárias (19,2%). Diferentemente do que se passou no inverno de 1983, de chuvas mais elevadas, mas concentradas em um único mês, no inverno de 1984, as chuvas foram em menor proporção, mas melhor distribuídas durante os dois últimos meses desta estação. Os episódios com intensidade maior que 10 mm/h, ocorridos nesta estação, foram gerados, exclusivamente, pela Frente Polar Atlântica em três oportunidades, duas das quais originaram excedentes hídricos, capazes de promover erosão em pleno inverno.

No início da primavera de 1984, voltam a predominar os sistemas do leste (TA/TAC) e do oeste (TC), ocasionando um bloqueio das correntes de sul e controlando a circulação durante o mês de outubro (66%). As correntes tropicais permitiram apenas quatro passagens do eixo principal das FPA por Presidente Prudente, uma das quais responsável por um dos eventos pluviais ocorridos no mês de setembro. Contudo, nos meses de novembro e dezembro, são retomadas as entradas das correntes de sul sobre o Oeste Paulista, gerando intensa atividade pluvial, predominantemente frontal, ligada à ação produzida pelo eixo principal da FPA, embora não se possa desprezar os totais pluviométricos ocorridos no mês de dezembro, engendrados pelas FPA estacionárias e com setor quente de retorno. Os eventos pluviais maiores que 10 mm/h, foram gerados pela Frente Polar Atlântica com setor quente de retorno no continente (76,2%) e pela Frente Polar Atlântica Estacionária (18,5%) que, em novembro, basicamente provocaram a reposição da água no solo. Neste mês, apenas em uma oportunidade houve pluviosidade suficiente para gerar excedentes hídricos. Porém, em dezembro, os eventos pluviais maiores que 10 mm/h ocorrem sobre solos em condições máximas de armazenamento de água, provocando grandes excedentes hídricos, que vieram a escorrer e a provocar erosão. (Figura 6b)

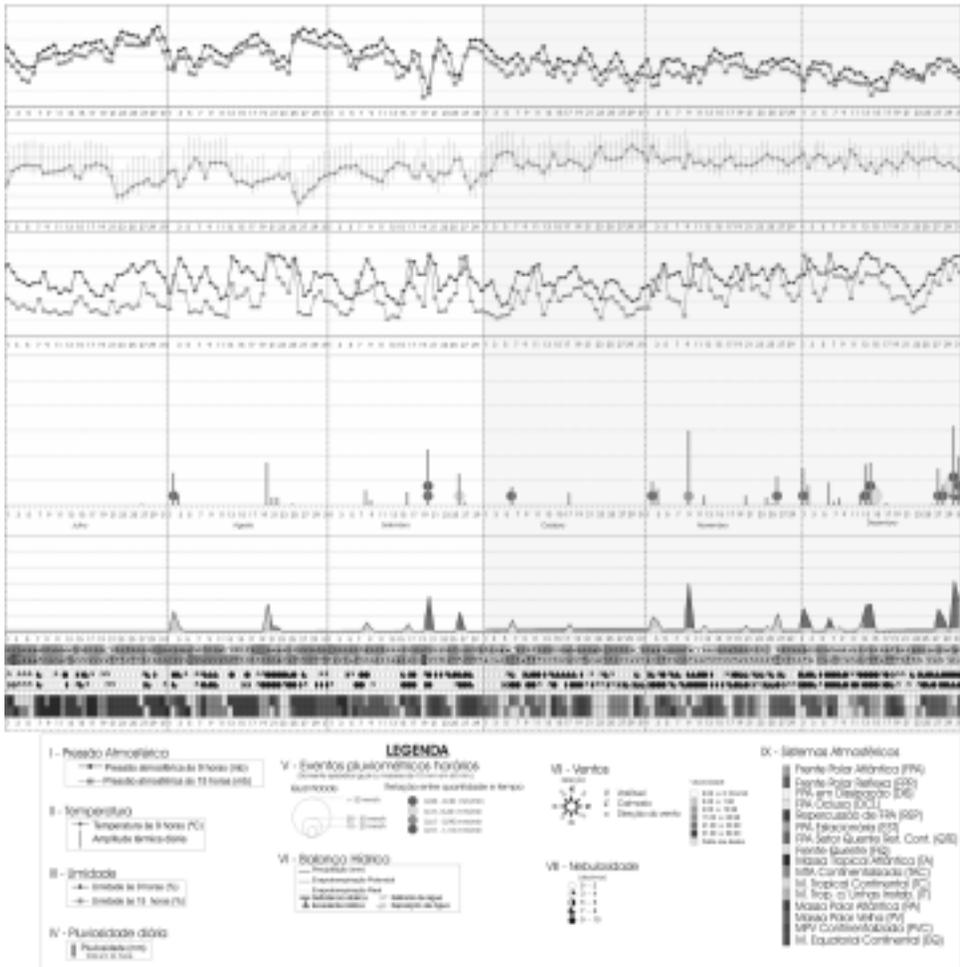
De forma geral, no ano de 1984, diferentes correntes atmosféricas disputaram o controle das condições do tempo no Oeste Paulista. Predominaram as correntes do sul (56%), mas as correntes de leste e oeste também atuaram de forma expressiva, diversificando muito os sistemas atuantes. Neste ano, pode-se dizer que houve ação equilibrada entre as massas polares (PA) e as polares tropicalizadas (PV/PVC), caracterizando um ano de pluviosidade “média” e ritmo “habitual”, com períodos de influência das massas intertropicais, causadoras de deficiências hídricas no solo, e períodos de avanço das massas polares, com chuvas geradoras de excedentes hídricos e erosão. A gênese das chuvas foi predominantemente frontal (81%), e o eixo principal da FPA participou com 53,9% do total da chuva precipitada durante o ano. Os eventos pluviais com magnitude superior a 10mm/h foram engendrados principalmente pelos sistemas frontais (78%), especialmente pelo eixo principal, que contribuiu com 56,7%.

**Figura 6-A - Variações do ritmo pluvial em Pres. Prudente (SP)
Ano de 1984**



Organizado e desenhado por BOIN, M. N., 2004.

**Figura 6-B - Variações do ritmo pluvial em Pres. Prudente (SP)
Ano de 1984**



Organizado e desenhado por BOIN, M. N., 2004.

As variações do ritmo pluvial no "ano-padrão" de 1985 (pluviosidade reduzida)

No verão de 1985, prosseguiu o confronto entre as correntes do sul e as correntes intertropicais no Oeste Paulista, assim como já vinha ocorrendo desde a primavera de 1984. Este fato é da maior importância, pois é no verão que, habitualmente, as correntes do sul costumam ser mais fracas. Porém, neste verão, a Massa Polar Atlântica, ao avançar em direção a latitudes menores, seguiu um trajeto mais continental, no qual foi perdendo umidade, chegando à área de estudo bastante seca e descaracterizada. Neste trajeto, principalmente pelo vale do rio Paraná, ou ainda,

pelos vales dos rios Tibaji e Paranapanema, a Massa Polar confrontou-se, em várias oportunidades, com a Massa Tropical Continental, também detentora de pouca umidade, mas não houve chuvas sobre o Oeste Paulista. Desta maneira, as correntes de sul, através das FPA, eixos principal (15,6%) e reflexo (18,3%), continuaram a se destacar na atuação geral dos sistemas, tendo havido, ainda, um incremento da participação da Massa Polar Velha (18,3%). Nesta estação, o índice de participação da Massa Tropical Continental aumentou em relação a 1983 e 1984, como pode ser constatado nas figuras 5a-b, 6a-b e 7a-b. A participação das correntes do sul impôs grande atividade frontal, responsável pela maior parte das chuvas registradas (61%); o eixo principal gerou 39,8% delas e, o estacionário, 20,4%. Os eventos pluviais maiores do que 10 mm/h., foram causados principalmente pela Frente Polar Atlântica, eixo principal (41,6%), pela Massa Tropical Continental (21,1%), por Repercussão da FPA (15,7) e pela Massa Tropical Atlântica Continentalizada (15,4%). Nesta estação, ocorreram os episódios de maiores proporções dos três anos estudados, ocasionados pelo confronto da Massa Tropical Continental com a Frente Polar Atlântica, que gerou setores quentes de retorno no continente. Também foram provocados pela Frente Polar Reflexa, responsável por episódios pluviais de grande intensidade, registrados apenas neste ano seco. Vale lembrar que as teorias geomorfológicas, do ponto de vista da pluviosidade, apontam para os períodos mais áridos como sendo os mais impactantes. Nestes períodos, prevaleceria a morfogênese, em detrimento da pedogênese, indicando que nos períodos secos, a concentração das chuvas, em curtos espaços de tempo, provoca uma maior dinamização dos processos erosivos, como comprova o verão de 1985. Estes episódios, de grande magnitude, só podem ser explicados pelo marcante contraste, em altitude, das temperaturas das Massas Polar Atlântica e Tropical Continental, condição necessária à instabilidade. A instabilidade do ar é gerada pelas correntes convectivas quando as parcelas em contato com a superfície adquirem maior aquecimento do que o ambiente, alcançam o ar superior, resfriam-se e formam as correntes descendentes. Percebe-se, ainda, nos registros diários e horários do pluviógrafo, que estes grandes episódios são sempre antecedidos por chuvas finas, que se precipitam sobre solos secos e quentes, devido ao aquecimento pré-frontal. Delineiam-se, assim, as condições ideais para que as mesmas sejam totalmente evaporadas. Blair e Fite (1964), explicam que tal condição favorece a contínua renovação do suprimento de umidade, que se eleva e se mantém em suspensão, graças a correntes ascendentes muito rápidas. Quando cessa a elevação das parcelas de ar carregadas de umidade, formam-se nuvens muito desenvolvidas que resultam em chuvas extremamente fortes, localizadas, e de curta duração. Os episódios ocorridos até quase o final do mês de fevereiro, quando havia uma maior participação das correntes intertropicais e o solo apresentava deficiência ou repunha a sua água, não foram intensos, pois houve infiltração pluvial no solo, proporcionando pequeno escoamento e, conseqüentemente, quase nenhuma erosão. O mesmo não ocorreu nos últimos dias deste mês, e nos subseqüentes meses de março e abril, quando as correntes do sul se intensificaram e romperam o bloqueio das correntes intertropicais, participando efetivamente da circulação. Neste período, o confronto entre elas gerou expressiva pluviosidade, com eventos de grande magnitude, bastante superiores a 10 mm/h. Dois deles merecem atenção, por terem sido os maiores do triênio aqui estudado. O do dia 10 de março foi o de maior amplitude, tendo sido gerado pelo confronto entre a Massa Tropical Continental e a FPA com setor quente de retorno no continente. Ele ultrapassou a marca dos 30 mm/h, com uma intensidade de 0,91 a 1,1 mm/min. Pode-se dizer que no mês de março de 1985, ocorreram os aguaceiros mais impactantes dos três anos estudados, pois a seqüência de eventos de grande magnitude, num curto espaço de tempo e sobre solos cuja capacidade de armazenamento havia sido atingida, provocou intensa dinamização dos processos de erosão, como nem mesmo ocorrera no ano chuvoso de 1983. Deve-se frisar que, apesar da grande intensidade dos impactos causados por estes aguaceiros, no verão

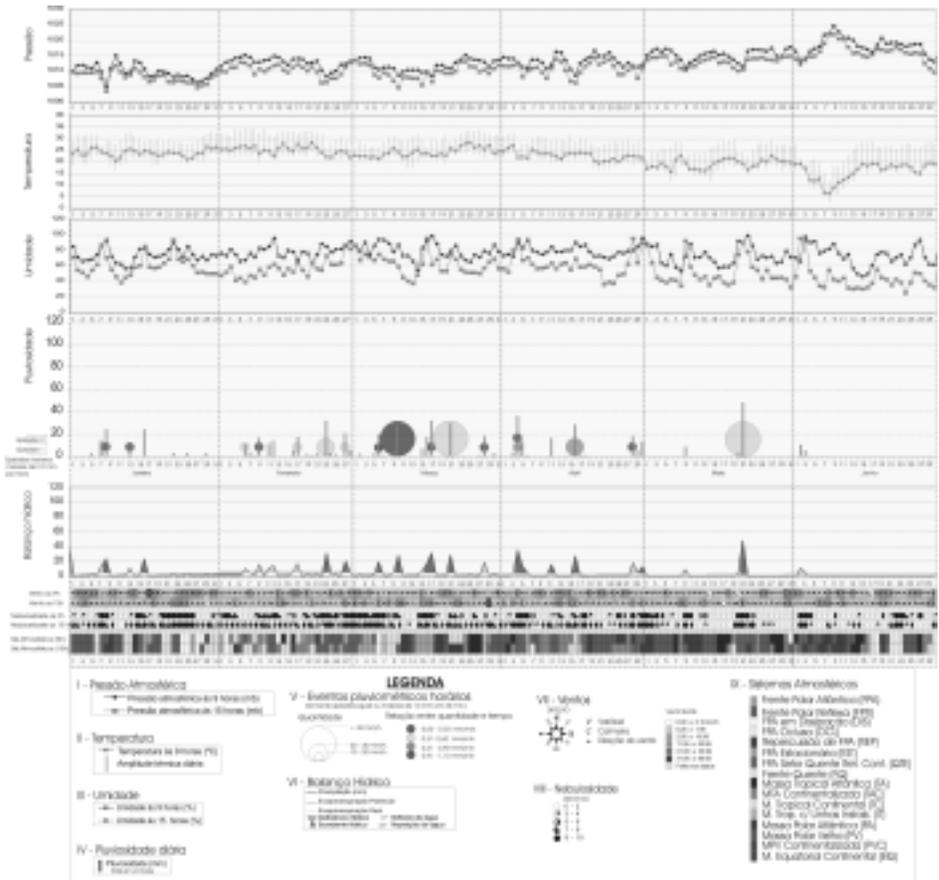
de 1985, o total das chuvas caídas em março e abril somaram 312,9 mm, enquanto que no mesmo período do ano chuvoso de 1983, a soma foi de 214,0 mm. Porém, uma longa seqüência de tipos de tempo, entre 17 de maio e 7 de junho de 1983, somou 288,6 mm, com alguns episódios não tão intensos como os de 1985, mas com totais diários bem mais elevados, provocando, talvez, maior dinamização do processo erosivo, do que os causados pelos fortes aguaceiros de março de 1985. Isto, porque, no verão de 1983, os excedentes hídricos eram maiores e os totais diários provocaram intenso escoamento. Estes fatos, levam a pensar na necessidade de um estudo da estrutura das chuvas, ou seja, de suas intensidades, no intuito de classificá-las, de acordo com os tipos de tempo causadores das mais intensas. Também, com o objetivo de separar as chuvas finas dos aguaceiros, conforme identificação de Péguy (1970) para áreas temperadas, procurando definir o que seriam aguaceiros para as áreas tropicais, caso do Oeste Paulista, e ainda, tentando verificar qual seria a participação dos mesmos no total das chuvas que ali se precipitam.

No outono de 1985, no mês de abril, ainda atuaram os mesmos sistemas que vinham ocorrendo nos dois últimos meses do verão mas, gradativamente, as ampliações das correntes do sul passaram a dominar as condições do tempo e controlaram mais da metade da estação. Neste período, a participação do eixo principal da Frente Polar Atlântica, dentre as correntes do sul, perdeu a primazia do controle geral, exercido desde a primavera de 1984. Tal controle, então, passou a ser exercido pelo ar polar modificado (PV - 29,1%). O vigor com que o ar polar avançou, na retaguarda dos sistemas frontais, acabou por gerar pluviosidade predominantemente ligada à ação da FPA, eixo principal (84,3%), de uma forma que ainda não ocorrera nos demais outonos do triênio em foco. Nos meses de abril e maio, os eventos pluviais maiores do que 10 mm/h, ocorreram sobre solos com excedente hídrico, ocasionado pelas chuvas do final de verão e, embora o total pluvial não tenha sido expressivo, a intensidade dos eventos, associada ao excedente hídrico no solo, provocou situações capazes de promover a dinamização dos processos erosivos. Os eventos ocorridos, nesta estação, foram gerados pela Frente Polar Atlântica (74,6%) e pela Massa Tropical Continental (25,4%). O caráter dos sistemas atmosféricos, iniciado no mês de junho, com invasões polares mais freqüentes e caracterizadas como do tipo "dominante" (MONTEIRO, 1969), prolongar-se-ia pela estação seguinte. (Figura 7a)

No inverno de 1985, embora as correntes do sul tenham continuado a controlar a circulação, conforme demonstram os índices (52%), notou-se um maior bloqueio por parte das correntes de leste (33%), e uma participação de 13,6% da Massa Tropical Continental que, nesta época do ano, pouco se faz representar. Esta maior manifestação da Massa Tropical Continental determinou uma menor pluviosidade neste período. As fracas chuvas do inverno de 1985 foram geradas, principalmente, pela Frente Polar Atlântica, eixo principal. Nesta estação, não houve a ocorrência de evento pluvial maior que 10 mm /h, e o solo permaneceu seco, com deficiência hídrica por todo o inverno e início da estação seguinte.

No transcurso da primavera de 1985, as correntes intertropicais ampliaram sua participação (51%), devido a maior fraqueza das correntes de sul, principalmente depois do início do mês de novembro. A Massa Tropical Continental viu-se impelida a migrar de sua área-fonte para o leste, atraída pelos mecanismos frontológicos mais intensos aquém trópico, em função da debilidade com que as massas polares alcançaram o Brasil Meridional, no curso da primavera em questão (ZAVATINI, 1990, p.141). Desta maneira, explica-se a baixa pluviosidade deste período e os significativos índices de atuação geral do ar polar modificado (PV), dentre os que compõem as correntes do sul, com diminuição da participação do ar polar "fácies" principal (PA), notadamente no segundo semestre de 1985. A origem das chuvas esteve relacionada, principalmente, ao eixo principal da Frente Polar Atlântica (40,7%), contando, ainda, com a participação da FPA em Dissipação (30,0%) e a FPR (20,1%). Já os

**Figura 7-A - Variações do ritmo pluvial em Pres. Prudente (SP)
Ano de 1985**

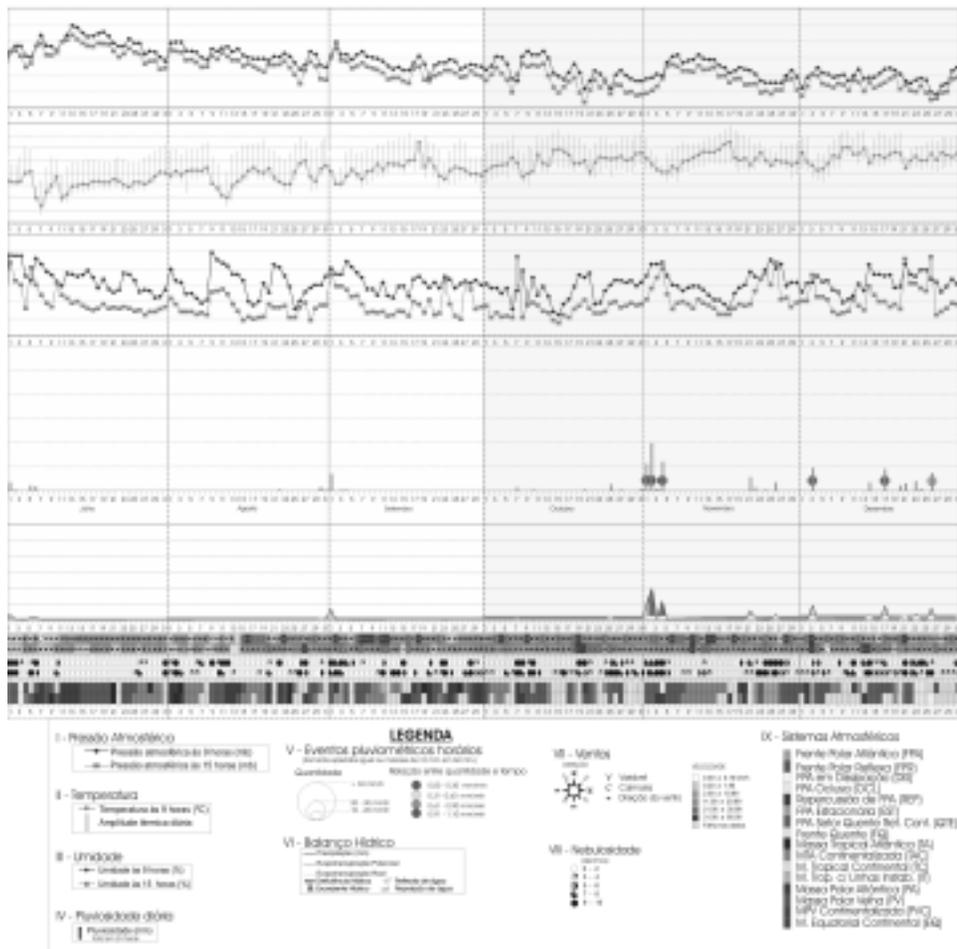


Organizado e desenhado por BOIN, M. N., 2004.

eventos com pluviosidade superior a 10 mm/h, ocorridos nesta primavera, foram produzidos pela Frente Polar Atlântica, principal (35,6%), FPA em Dissipação (30,0%), Frente Polar Reflexa (18,9%) e Frente Polar Atlântica com setor quente de retorno (15,5%). Estes tipos de tempo, oriundos da Massa Polar Atlântica em seus choques com os sistemas intertropicais, em seus fortes avanços pelo vale do rio Paraná, são percebidos no Oeste Paulista através das baixas temperaturas noturnas e das altas temperaturas diurnas, que provocam fortes amplitudes térmicas diárias. É que, nestes períodos, a Massa Polar Atlântica avança com trajetória mais ocidental e, ao adentrar o continente, perde umidade por diferença de temperatura, pois o continente ainda está frio e lhe provoca resfriamento basal, principalmente à noite. Ao invadir o território sul-americano, a Massa Polar Atlântica bifurca-se: numa direção, pelo vale do rio Paraná, alcança o centro do continente; noutra, bordejando a cordilheira dos Andes, chega a alcançar a Amazônia. Nestes trajetos, ela desloca a Massa Tropical

Continental para posições mais orientais, que passa a atuar com maior intensidade no Oeste Paulista. Esta massa de ar, quente e seca, deslocada para leste, confronta-se com a Massa Polar Atlântica Continentalizada, fria e agora seca, que avança pelo vale do rio Paraná, provocando tipos de tempo com ventos fortes, quentes durante o dia e frios durante a noite, mas sempre secos, e que geram pouca ou nenhuma chuva. Nestes anos secos, em que as massas polares tomam rotas continentais, os tipos de tempo típicos de inverno adentram a primavera, dando a impressão de que o período hibernal não vai mais findar, em particular o mês de agosto, pois as suas principais características: ventania, seca do ar e fortes amplitudes térmicas, podem prolongar-se até novembro (BOIN, 2000; BOIN et al., 2002). (Figura 7b)

**Figura 7-B - Variações do ritmo pluvial em Pres. Prudente (SP)
Ano de 1985**



No geral, ao longo do ano de 1985, ano de pluviosidade reduzida e ritmo "excepcional", as correntes do sul detiveram o controle da circulação atmosférica (57%), com destaque para a participação do ar polar velho (PV-22,47%), cujos valores foram bem superiores aos do polar "fácies" principal (PA - 10,96%). Salienta-se que, nos anos de 1983 - de pluviosidade elevada - e 1984 - de pluviosidade habitual - houve uma maior participação da "fácies" principal da PA e uma sensível diferença na participação da Massa Polar Velha (PV), em comparação com a ocorrida em 1985. A origem das chuvas relacionou-se, preferencialmente, com a Frente Polar Atlântica, eixo principal (53,1%), diminuindo a participação da Frente Polar Atlântica Estacionária, de grande importância em 1984, quando gerou 24 % das chuvas. Os eventos pluviais maiores do que 10 mm/h também tiveram sua gênese na FPA (49,5%), mas deve-se destacar a participação da Massa Tropical Continental (17,1%). Outro fato evidenciado pela análise rítmica é que os eventos pluviais superiores a 10 mm/h, adquirem maiores proporções num ano seco, contrariando as expectativas iniciais, dirigidas aos anos chuvosos. Porém, esta constatação, está inteiramente de acordo com as teorias geomorfológicas, que apregoam serem os períodos secos ou áridos os de maior impacto pluvial, pois as chuvas concentradas em espaços de tempo reduzidos, favorecem a morfogênese, em detrimento da pedogênese. Neste ano de 1985, de pluviosidade reduzida, os solos só apresentaram excedentes hídricos ao longo do primeiro semestre; no segundo, houve quase que total deficiência de água no solo, e os níveis de erosão, neste período, podem ser considerados muito baixos.

Síntese do triênio 1983/85

As chuvas que ocorrem no Oeste Paulista estão fundamentalmente ligadas às correntes perturbadas do sul, sob a forma de passagens da Frente Polar Atlântica: eixo principal, eixo reflexo, estacionária, repercussão, e com setor quente de retorno no continente. Conforme Monteiro (1969) e Tarifa (1975), os sistemas atmosféricos que atuam sobre esta região, estão ligados, direta ou indiretamente, com as invasões do fluxo polar, cuja tipologia vai depender do controle exercido pelos centros de ação da América do Sul, isto é, do jogo que se estabelece entre suas áreas anticiclônicas e depressionárias. Tal mecanismo, responsável pelo confronto dos sistemas inter e extratropicais, gera diferentes tipos de tempo e, por consequência, diferentes seqüências de chuva, ou seja, variações do ritmo pluvial.

Em síntese, os principais sistemas atmosféricos que ocasionam chuvas no Oeste Paulista são: a) Em anos de pluviosidade elevada, as correntes do sul, sob a forma de passagens frontais, responsáveis por 70% das chuvas registradas e por 90% dos eventos mais erosivos, isto é, acima de 10 mm/h.; b) Nos anos de pluviosidade média, a gênese das chuvas é predominantemente frontal (80%), sendo que o eixo principal da FPA participa com mais de 50%; os eventos pluviais de intensidade superior a 10 mm/h são causados principalmente pelos sistemas frontais (78%), cujo eixo principal responsabiliza-se por 56% do total dos eventos; c) Nos anos de pluviosidade reduzida, a gênese das chuvas relaciona-se, preferencialmente à Frente Polar Atlântica, eixo principal (53%); os eventos pluviais maiores do que 10mm/h também estão associados, predominantemente, à este sistema frontal (49%). No Oeste Paulista, as vertentes que mais sofrem o impacto erosivo das chuvas são aquelas voltadas para as direções sudoeste, sul, sudeste e leste. Em anos de baixa pluviosidade e de grande amplitude térmica, caso de 1985, há uma maior desagregação física das partículas do solo e, então, o impacto erosivo se dá mais pela intensidade dos eventos do que pela quantidade de chuvas precipitadas, em função do maior contraste térmico, que gera confrontos mais fortes entre as massas de ar tropicais e polares.

Considerando-se que os padrões para a definição de aguaceiros, propostos por Péguy (1970), não são válidos para as regiões tropicais e, portanto, também não servem para o Oeste Paulista, é fundamental que se procure determinar quais são os tipos de chuva que ocorrem nesta região, e quais são os impactos que causam sobre os solos. Isto, porque, conforme afirmações anteriores, o Oeste Paulista sofreu forte agressão ambiental, durante o processo de ocupação do seu território, estando, hoje, à mercê de graves problemas ambientais, dentre os quais inclui-se o da erosão dos solos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o Oeste Paulista, a interpretação da dinâmica atmosférica regional, com base nos gráficos de análise rítmica de três “anos-padrão”, criteriosamente escolhidos, possibilitou a compreensão do comportamento dos diferentes tipos de tempo ali atuantes, que explicaram a gênese das variações do ritmo pluvial e dos eventos chuvosos com maior impacto erosivo sobre os solos. Isto, graças à incorporação, a esses gráficos, do balanço hídrico diário e das “pancadas” horárias de chuva (episódios intensos), que juntos possibilitaram o entendimento dos efeitos erosivos da pluviosidade. Neste estudo, como a chuva e a erosão foram abordadas através do paradigma do ritmo, com base na sucessão dos tipos de tempo, geradores de diferentes seqüências pluviais, foi possível comprovar, inclusive, teorias geomorfológicas estabelecidas para tempos geológicos, também refletidas no curto espaço de tempo de um ano. Aos resultados alcançados com a “análise rítmica”, ainda outros poderão vir a ser associados, pois existem diversos aspectos envolvidos na erosão dos solos no Oeste Paulista. Aqui, à guisa de encerramento, cabe destacar o potencial do paradigma do ritmo, que já foi capaz de sustentar inúmeras pesquisas, cujos resultados muito significam para a Climatologia Geográfica Brasileira (ZAVATTINI, 2000; 2001; 2002; 2003). É imensa a gama de suas aplicações, principalmente quando se sabe que os problemas ambientais, cada vez mais presentes, requerem esforços conjuntos, nos quais o enfoque climático muito poderá contribuir. O estudo do espaço geográfico, com vistas ao planejamento e à análise ambiental, é tarefa premente deste século, e se apresenta como um campo aberto a novas experimentações ou, aos que preferirem, a novos ensaios, inclusive os climatológicos.

REFERÊNCIAS

- BARRIOS, N. A. Z.. **A cotonicultura na região de Presidente Prudente**: o regime pluviométrico e as variações de produção. 1987, 227p. il. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - FFLCH/USP, São Paulo.
- BLAIR, A. T.; FITE, R. C. **Meteorologia**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1964. 406p.
- BOIN, M. N. **Chuvvas e Erosões no Oeste Paulista**: uma análise climatológica aplicada. 2000, 264p. il. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – IGCE/UNESP, Rio Claro.
- BOIN, M. N.; ZAVATTINI, J. A.; MENDES, I. A. Chuvvas e Erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada. **Geografia**. Rio Claro, v. 27, n. 1, p.95-118, 2002.
- CAMARGO, A. P. de. **Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo**. 1961, 49f. Tese (Doutorado em Agronomia) – ESALQ/USP, Piracicaba.

- FLORES, E. F. **Sistema de Informação Climatológica**: desenvolvimento e inserção no sistema de informação geográfica "GEO-INF+MAP". 1995, 86p. il. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – IGCE/UNESP, Rio Claro.
- GERARDI, L. H. de O. **Expansão da Lavoura cafeeira no Estado de São Paulo**. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio Claro, v. 10, n. 19, p. 61-74, 1980.
- GERARDI, L. H. de O.; SILVA, B-C. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: Difel, 1981. 161p.
- MONTEIRO, C. A. de F. **A Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul-Oriental do Brasil**: contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil. São Paulo: IGEOG/USP, 1969. 69p. (Teses e Monografias n. 1)
- MONTEIRO, C. A. de F. **Análise Rítmica em Climatologia**. São Paulo: IGEOG/USP, 1971. 21p. (Climatologia n. 1).
- MONTEIRO, C. A. de F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IGEOG/USP, 1973. 129p.
- ORTOLANI, A.A. et al. **Parâmetros climáticos e a cafeicultura**. Campinas: MIC/IBC/IAC, 1970. 27p.
- PÉDELABORDE, P. **Introduction a l'Étude Scientifique du Climat**. Paris: SEDES, 1991. 352p.
- PÉGUY, Ch. P. **Précis de Climatologie**. Paris: Masson & C^{ie}, Editeurs, 1970. 468p.
- SORRE, M. Le Climat. In: SORRE, M. **Les fondements de la Géographie Humaine**. Paris: Armand Colin, 1951. Chapitre 1, p.13-43.
- TARIFA, J. R. **Sucessão de Tipos de Tempo e Variação do Balanço Hídrico no Extremo Oeste Paulista** (ensaio metodológico aplicado ano agrícola de 1968/1969). São Paulo: IGEOG/USP, 1973. 71p. (Teses e Monografias n. 8)
- TARIFA, J. R. **Fluxos Polares e as Chuvas de Primavera-Verão no Estado de São Paulo** (uma análise quantitativa do processo genético). São Paulo: IGEOG/USP, 1975. 93p. (Teses e Monografias n. 19)
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Centerton, 1955. 104p.
- TOMMASELLI, J. T. G.; FREIRE, O.; CARVALHO, W. A. Erosividade da Chuva da Região Oeste do Estado de São Paulo: sua distribuição e relação com a precipitação. **Boletim Climatológico**. Presidente Prudente, n. 3, p. 131-135, 1997.
- ZAVATINI, J. A. **Variações do Ritmo Pluvial no Oeste de São Paulo e no Norte do Paraná** (eixo Araçatuba - Presidente Prudente – Londrina). 1983, 225p. il. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – FFLCH/USP, São Paulo.
- ZAVATINI, J. A. **A Dinâmica Atmosférica e a Distribuição das Chuvas no Mato Grosso do Sul**. 1990, 223p. il. Tese (Doutorado em Geografia Física) – FFLCH/USP, São Paulo.
- ZAVATTINI, J. A. O Paradigma da Análise Rítmica e a Climatologia Geográfica Brasileira. **Geografia**. Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 25-43, 2000.
- ZAVATTINI, J. A. **O Paradigma do Ritmo na Climatologia Geográfica Brasileira** (Teses e Dissertações dos Programas Paulistas de Pós-graduação – 1971-2000). 2001, 430p. il. Tese (Livres-docência em Climatologia). – IGCE/UNESP, Rio Claro.
- ZAVATTINI, J. A. O Tempo e o Espaço nos Estudos do Ritmo do Clima no Brasil. **Geografia**. Rio Claro, v. 27, n. 3, p. 101-131, 2002.
- ZAVATTINI, J. A. A Produção Brasileira em Climatologia: o tempo e o espaço nos estudos do ritmo climático. **Terra Livre**. São Paulo, v. 1, n. 20, p. 65-100, 2003.