

ISSN 0104-1347

Análise das médias climáticas diárias de variáveis agrometeorológicas utilizando o modelo de componentes cíclicos

Analysis of daily climatic means of agrometeorological variables using the cyclic components model

Ilya Kim¹, Paulo Henrique Caramori², Leocadio Grodzki³ e Sandro Vissotto⁴

Resumo – Utilizando o modelo de componentes cíclicos, foram analisadas as variações das médias diárias da evaporação de Piche, insolação e temperaturas do ar máxima e mínima diárias, direção e velocidade do vento e umidade relativa às 09h, 15h e 21h, frequência de ocorrência de chuva e frequência de ocorrência de chuva igual ou maior que 10mm. O estudo mostrou a possibilidade da utilização do modelo de componentes cíclicos para a suavização das séries de médias diárias, referentes às características meteorológicas calculadas para um período determinado, bem como a possibilidade de se aplicar o conjunto dos componentes cíclicos como normais climáticas diárias. Nas variações das características climáticas estudadas ocorrem, além dos ciclos anual e semi-anual, os ciclos de 1/3 e de 1/4 do ano, com contribuição na variância da série inicial comparáveis à contribuição do ciclo semi-anual.

Palavras-chave: temperatura, evaporação de Piche, insolação, componentes cíclicos, umidade relativa, vento, precipitação.

Abstract – The cyclic components model was used to analyze mean oscillations of daily averages of Piche evaporation, sunshine, and maximum and minimum air temperatures, wind direction and speed and relative humidity at 9h, 15h e 21h local time, rainfall frequency and frequency of rainfall above 10mm. The study showed the possibility of using the cyclic components approach to smooth the series of daily means, based on meteorological characteristics calculated for a given period, and the possibility of applying the group of cyclic components as daily climatic normals. The analyses revealed that within the variations of the climatic characteristics evaluated there are, besides the cycles annual and semi-annual, the cycles of 1/3 and 1/4 of the year, with contribution to the variance of the initial series comparable to the contribution of the semi-annual cycle.

Key words: temperature, Piche evaporation, sunshine, cyclic components, humidity, wind, precipitation.

Introdução

O conhecimento do clima das regiões é fundamental para diferentes áreas da economia, como os setores de produção de energia, construção civil e, particularmente, agricultura. Geralmente utilizam-se

as normais climáticas mensais e anuais como características do clima. Para se obter uma normal climática mensal ou anual confiável, é necessária uma série de observações de 30 anos ou mais, segundo recomendação da Organização Meteorológica Mundial. Para o planejamento da atividade econômica de

¹Dr., Pesquisador do Inst. Tecnológico SIMEPAR – CP 19100, CEP 81531-990, Curitiba – Paraná – Brasil. (*in memoriam*).

²Ph.D., Pesquisador do Inst. Agrônomo do Paraná (IAPAR) – CP 481 CEP: 86001-970, Londrina – Paraná – Brasil. (caramori@iapar.br).

³Dr., Pesquisador do Inst. Agrônomo do Paraná (IAPAR) – CP 19100, CEP 81531-990, Curitiba – Paraná – Brasil. (leocadio@iapar.br).

⁴Graduado em Engenharia Mecânica da UFPR – Caixa postal 19100, CEP 81531-990, Curitiba – Paraná – Brasil (sandrov@simepar.br).

uma região e com o conhecimento das normais climáticas mensais, são analisadas as variações do clima durante o ano por meio da separação das estações. Por exemplo, no Paraná MAACK (1981), definiu, climatologicamente, as diferentes regiões por meio da análise gráfica das variações anuais dos elementos climáticos. Com o desenvolvimento das atividades ligadas, principalmente aos setores agrícola e energético, tornou-se necessário maior detalhamento dos dados climáticos. As plantas respondem às condições climáticas, expressando em maior ou menor grau o seu potencial produtivo. O conhecimento do clima de um local ou região possibilita estimar o ciclo da planta e determinar o seu potencial de exploração (CARAMORI et al., 2001b; ASSAD et al., 2001), modelar o seu crescimento e potencial produtivo (FARIA et al., 1997) e monitorar as condições para vegetação, produção e colheita (IAPAR, 2003). CARAMORI et al. (1991), analisando os períodos secos em diferentes regiões do Estado do Paraná que podem afetar o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade agrícola, verificaram que os fenômenos chamados “veranicos” existem mesmo nas regiões definidas como climaticamente sem restrição de água. Os primeiros estágios de desenvolvimento e os períodos de floração de várias culturas são sensíveis às altas temperaturas, como pode ser observado em soja (NEUMAIER et al., 2003) ou em feijão (MARIOT, 1989; GONÇALVES et al., 1997). Por outro lado a alta umidade persistindo por alguns dias, pode favorecer o aparecimento de doenças e causar sérios prejuízos às lavouras, como por exemplo, na cultura da batata (NAZARENO et al., 1999).

Existe um ciclo anual nas variações dos parâmetros climáticos e no Hemisfério Sul também ocorre o ciclo ou onda semi-anual nas variações da pressão, da temperatura do ar e do vento (VAN LOON et al., 1972). Porém, nos trabalhos de KIM & DUQUIA (2000) e KIM & DIAS (2003), ficou demonstrado que existem três máximos e três mínimos nas frequências de ocorrência de chuva e nas variações de vazões dos rios do Estado do Paraná. É necessária a utilização das normais climáticas diárias para se obter um melhor conhecimento das variações das características climáticas durante o ano. Entretanto, a variabilidade dos dados diários é mais alta que a variabilidade dos dados mensais e anuais e exige séries com períodos mais longos de observação. As séries de dados observados disponíveis no Paraná não são suficientes para esta análise, porém no traba-

lho de KIM et al. (2003), foi feito um estudo preliminar para análise de variação das normais climáticas de cada dia durante o ano com uso do modelo de componentes cíclicos, com resultados satisfatórios.

No presente trabalho, utilizando-se o modelo de componentes cíclicos, foram calculadas e suavizadas as variações médias diárias de evaporação de Piche, insolação, umidade relativa às 09h, 15h e 21h, temperaturas mínima e máxima do ar, direção e velocidade do vento, frequência de ocorrência de chuva e frequência de ocorrência de chuva igual ou maior que 10mm, para o período de 25 anos de observação.

Material e Métodos

Foram utilizados os dados diários de temperatura mínima (T_{\min}), temperatura máxima (T_{\max}), frequência de ocorrência de chuva (FQ), frequência de ocorrência de chuva igual ou maior que 10mm (FQ_{10}), evaporação de Piche (E), insolação (I), umidade relativa (UR), e direção (Dir) e velocidade (V) do vento às 09, 15 e 21 horas, de 26 estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), coletados no período médio de 25 anos de observação. Na Tabela 1, são apresentadas as localizações das estações meteorológicas da rede do IAPAR.

Foi utilizado o modelo de componentes cíclicos por meio da equação,

$$\hat{Y}(t) = \sum_{i=1}^N A_i \sin\left(\frac{2\pi}{L_i} t + j_i\right) \quad (1)$$

em que, A_i é a amplitude, L_i é o período, φ_i é a fase, N é o número de harmônicos e t é o tempo.

A avaliação da significância estatística de $\hat{Y}(t)$ para valores a partir de 1 até N , foi feita pela comparação da variância da série inicial e da série $Z(t) = Y(t) - \hat{Y}(t)$, com a utilização da distribuição de Fisher (teste-F). Pelo teste-F, $\hat{Y}(t)$ é significativo quando:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} > F_{1-p}(f_1, f_2) \quad (2)$$

Desta forma, são mantidos em (1) apenas os N harmônicos para os quais o teste-F detecta significância. Na equação (2), S_1^2 é a estimativa da variância da série $Y(t)$, S_2^2 , a estimativa da variância da série $Z(t)$, e f_1 e f_2 são os graus de liberdade de S_1^2 e S_2^2 respectivamente; neste estudo, $f_1 = f_2$. Pelo teste-F, $\hat{Y}(t)$ é significativo quando as variâncias da série

Tabela 1. Localização das estações meteorológicas do Estado do Paraná e o período de dados analisados com o modelo de componentes cíclicos utilizados.

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período de observação
01 – Bela Vista do Paraíso	22° 57' S	51° 12' O	600	1971 a 2000
02 – Joaquim Távora	23° 30' S	49° 52' O	512	1971 a 2000
03 – Cambará	23° 00' S	50° 02' O	450	1957 a 2000
04 – Bandeirantes	23° 06' S	50° 21' O	440	1974 a 2000
05 – Londrina	23° 18' S	51° 09' O	566	1976 a 2000
06 – Apucarana	23° 30' S	51° 32' O	746	1964 a 2000
07 – Ibiporã	23° 16' S	51° 01' O	484	1971 a 2000
08 – Paranavaí	23° 05' S	52° 26' O	480	1974 a 2000
09 – Cianorte	23° 40' S	52° 35' O	530	1971 a 2000
10 – Umuarama	23° 44' S	53° 17' O	480	1971 a 2000
11 – Telêmaco Borba	24° 20' S	50° 37' O	768	1971 a 2000
12 – Nova Cantu	24° 40' S	52° 34' O	540	1976 a 2000
13 – Palotina	24° 18' S	53° 55' O	310	1972 a 2000
14 – Morretes	25° 30' S	48° 49' O	95	1966 a 2000
15 – Guaraqueçaba	25° 18' S	48° 20' O	40	1977 a 2000
16 – Antonina	25° 13' S	48° 48' O	60	1977 a 2000
17 – Lapa	25° 47' S	49° 46' O	910	1988 a 2000
18 – Ponta Grossa	25° 13' S	50° 01' O	880	1954 a 2000
19 – Fernandes Pinheiro	25° 27' S	50° 35' O	893	1963 a 2000
20 – Guarapuava	25° 21' S	51° 30' O	1020	1973 a 2000
21 – Laranjeiras do Sul	25° 25' S	52° 25' O	880	1973 a 2000
22 – Planalto	25° 42' S	53° 46' O	400	1973 a 2000
23 – Quedas do Iguaçu	25° 31' S	53° 01' O	514	1972 a 2000
24 – Palmas	26° 29' S	51° 59' O	1110	1979 a 2000
25 – Clevelândia	26° 25' S	52° 21' O	930	1972 a 2000
26 – Pato Branco	26° 07' S	52° 41' O	700	1979 a 2000

original de $Y(t)$ e de $Z(t)$ são muito diferentes e, neste caso, considera-se que o modelo de componentes cíclicos ajustado é, estatisticamente, significativo se ele tiver um nível de significância igual ou menor a 5%, pelo teste-F.

As médias para cada dia foram calculadas por meio da expressão:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

em que x_i é a variável climática diária no ano i , n é o número de anos e \bar{x} é a média para cada dia.

Resultados e Discussão

Variações normais climáticas diárias durante o ano

Foram calculadas as médias para cada dia dos períodos referidos na Tabela I das variáveis T_{\min} , T_{\max} , I, FQ, FQ₁₀, E, assim como para UR, Dir e V às 09, 15 e 21 horas, para as estações agrometeorológicas da rede do IAPAR. Portanto, foram obtidas séries que

contêm 366 valores de cada uma dessas variáveis. Para o dia 29 de fevereiro foi usada uma média entre os dias 28 de fevereiro e 1 de março.

Com base no modelo de componentes cíclicos, foi feita a análise das médias para cada dia com as variáveis meteorológicas citadas anteriormente. A análise mostrou a existência, além de ciclo anual e semi-anual, de um ciclo de 1/3 do ano com, praticamente, a mesma amplitude que o ciclo semi-anual. Nas variações das médias para cada dia da insolação, foram separados também os componentes cíclicos de 1/4 de ano. Na Figura 1, por exemplo, são mostrados dois gráficos com as variações das médias diárias de E e insolação acumuladas e os componentes cíclicos calculados para cada uma das variáveis na estação de Cianorte. Observa-se na Figura 1 que com o aumento do número de componentes cíclicos, há uma melhora na descrição das variações das médias para cada dia. Na Figura 1 (a) três componentes cíclicos – anual (linha tracejada), semi-anual (linha espessa) e 1/3 do ano (linha fina) – descrevem as variações de média para cada dia da E durante o ano.

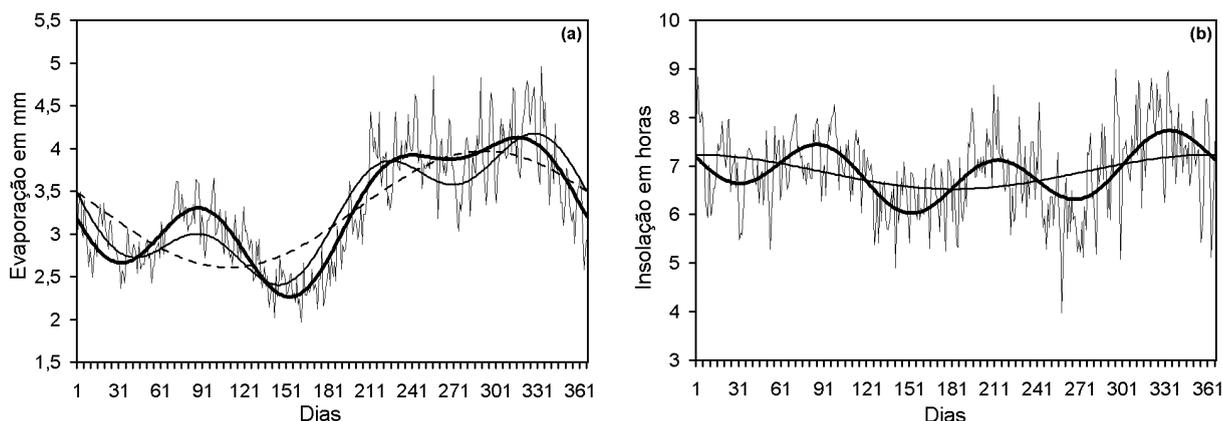


Figura 1. Variações das séries iniciais médias de evaporação (a) e insolação (b) diária acumulada na estação Cianorte e os respectivos componentes cíclicos: anual (linha tracejada), semi-anual (linha espessa), 1/3 do ano (linha fina).

Para a descrição da variância da média diária de insolação, foram suficientes apenas dois componentes cíclicos, o anual (linha fina) e o de 1/3 do ano (linha espessa) (Figura 1 (b)).

Portanto, é possível usar como normais climáticas diárias o conjunto de componentes cíclicos obtidos nas variações das médias, para cada dia e para cada estação agrometeorológica.

Evaporação acumulada diária (E)

A análise das variações climáticas da **E** durante o ano nas estações do IAPAR mostrou a dependência de localizações. É possível dividir as estações agrometeorológicas do Paraná em 4 grupos. Nas estações de Bela Vista do Paraíso, Joaquim Távora, Cambará, Bandeirantes, Londrina, Apucarana, Ibiporã, Palotina e Nova Cantu (Região Norte e Nordeste do Estado), além do ciclo anual, foram separados como segundo componente cíclico o ciclo semi-anual e, como terceiro componente cíclico, o ciclo de 1/3 do ano. A Figura 2 mostra a variação das normais climáticas diárias da **E** na estação de Londrina, que representa este grupo. Observa-se, neste caso, que existem dois máximos, um no início da primavera e outro no outono, e dois mínimos, um em fevereiro e outro em junho.

Na Região Noroeste do Estado do Paraná (estações de Paranaíba, Cianorte e Umuarama) foram escolhidos como segundo componente cíclico o ciclo de 1/3 do ano e como terceiro harmônico o ciclo semi-anual. A Figura 2 mostra a variação das normais climáticas de **E** na estação de Cianorte, que caracteriza este região. A região tem três máximos, um no início de março, outro no início de agosto e outro

no final de novembro e início de dezembro, e três mínimos, um no final de janeiro, outro em junho e outro no final de setembro e início de outubro.

As estações da Lapa, Ponta Grossa, Laranjeiras do Sul, Planalto, Palmas, Clevelândia, Guarapuava e Quedas do Iguaçu caracterizam a Região Sul e Sudeste do Estado do Paraná. Nestas estações além do ciclo anual foi determinado como segundo harmônico o ciclo de 1/3 do ano. Nas estações de Guarapuava e Quedas do Iguaçu, além dos ciclos anual e de 1/3 de ano foi determinado o terceiro componente cíclico, o ciclo semi-anual. As variações normais climáticas diárias de **E** nesta região (Figura 2 - estação de Ponta Grossa) mostram dois máximos significativos, um no início de junho e outro em dezembro.

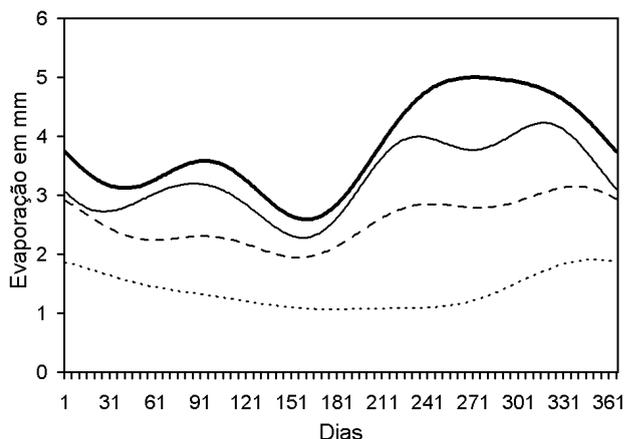


Figura 2 Variações das médias climáticas diárias de evaporação de Piche nas estações: Guaraqueçaba (linha fina), Ponta Grossa (linha pontilhada), Cianorte (linha tracejada) e Londrina (linha espessa).

Há particularidades nas variações das normais climáticas diárias de *E* no litoral do Estado, onde ficam as estações de Antonina, Morretes e Guaraqueçaba. Existe uma pequena influência do ciclo semi-anual e não foram encontrados outros componentes cíclicos. A Figura 2 mostra a variação das normais climáticas diárias da *E* na estação de Guaraqueçaba. Nota-se que há um mínimo no inverno e um máximo entre o final do outono e início do verão.

Insolação (I)

A análise das variações das médias climáticas da *I* durante o ano no Estado do Paraná, mostram que, na maioria das estações, o ciclo anual não é o principal. Nas variações da *I* nas estações de Bela Vista do Paraíso, Joaquim Távora, Cambará, Bandeirantes, Londrina, Apucarana, Ibiporã, Paranaíba, Cianorte e Nova Cantu, há o predomínio do ciclo de 1/3 do ano e um segundo componente cíclico, o ciclo de 1/4 do ano. O ciclo anual foi detectado como terceiro componente em algumas estações. A Figura 3 mostra a variação das normais climáticas diárias da *I* na estação de Londrina. Observa-se que, durante o ano, há três máximos sendo um em março, outro em julho e outro em outubro, com pico mais alto em julho, e três mínimos - em fevereiro, maio e entre o final de agosto e início de setembro.

Nas variações médias climáticas diárias da *I* nas estações de Cianorte, Umuarama e Palotina, foram encontrados o ciclo anual e o de 1/3 do ano. A Figura 3 mostra a variação das normais climáticas da *I* na estação de Palotina. Observa-se que há três máximos, um entre o final de março e início de abril, outro em agosto e outro em novembro, sendo o maior máximo de novembro, e três mínimos, em fevereiro, junho e outubro, com menores valores em junho e em outubro.

Nas estações de Planalto, Quedas do Iguaçu, Palmas, Clevelândia e Pato Branco, o ciclo anual é o principal, o segundo componente cíclico é o ciclo de 1/3 do ano. A Figura 3 mostra a variação das normais climáticas diárias da *I* durante o ano na estação de Planalto, representante deste grupo de estações. Nota-se que há um mínimo em junho e um máximo em dezembro, mas na variação pode observar-se a influência da periodicidade de 1/3 do ano.

Outro tipo de distribuição das médias climáticas diárias da *I* caracteriza o grupo das estações de Lapa, Ponta Grossa, Guarapuava e Laranjeiras do Sul.

Neste grupo de estações, o principal ciclo é de 1/3 do ano, o segundo é o ciclo de 1/4 de ano e o terceiro é o ciclo anual. Observa-se na Figura 3, a variação das normais climáticas da *I* da estação de Ponta Grossa. A variação da segunda parte do ano é parecida com a do primeiro grupo de estações citado, mas difere na primeira parte do ano até maio quando não ocorrem oscilações significativas.

Finalmente, o último grupo de estações é formado pelas estações do litoral do Estado (Morretes, Guaraqueçaba e Antonina). Neste grupo, o principal ciclo é o anual e o segundo ciclo é o semi-anual. A influência de outros ciclos não é significativa. A análise mostra que existe um mínimo entre o final de setembro e o início de outubro e um máximo em dezembro (Figura 3 - estação de Guaraqueçaba).

Umidade relativa (UR)

Os resultados da análise das variações das normais climáticas da *UR* às 09, 15 e 21 horas durante o ano são apresentados na Figura 4. Nas variações da *UR* das estações de Bela Vista do Paraíso, Joaquim Távora, Cambará, Londrina, Nova Cantu, Palotina, Ibiporã (Região Norte e Nordeste do Estado do Paraná) e Telêmaco Borba, o ciclo principal é o anual. Como segundo componente cíclico, foi escolhido o ciclo semi-anual, e como terceiro ciclo, foi de 1/3 do ano. Nas estações de Apucarana, Paranaíba, Cianorte e Umuarama (parte noroeste do Paraná) também o principal ciclo é o ciclo anual, o segundo com-

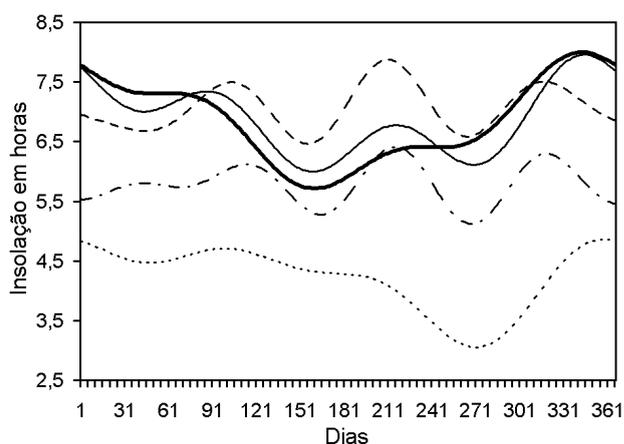


Figura 3. Variações médias climáticas diárias de insolação nas estações: Palotina (linha fina), Guaraqueçaba (linha pontilhada), Planalto (linha espessa), Londrina (linha tracejada) e Ponta Grossa (linha traço e ponto).

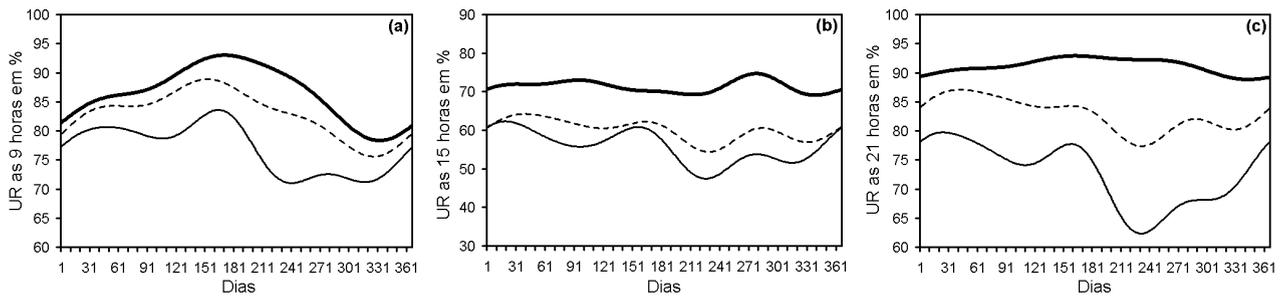


Figura 4. Variações médias climáticas da Umidade Relativa às 09 (a), 15 (b) e 21(c) horas no Estado do Paraná – Bela Vista do Paraíso (linhas finas), Ponta Grossa (linhas tracejadas) e Guaraqueçaba (linhas espessas).

ponente cíclico foi o ciclo de 1/3 do ano e o terceiro ciclo o semi-anual.

Para as estações de Ponta Grossa, Guarapuava, Laranjeiras do Sul, Planalto, Palmas, Clevelândia e Pato Branco foi determinado o ciclo anual como principal e o segundo componente cíclico o ciclo de 1/3 do ano. No litoral, para a UR às 09h o principal ciclo foi o anual e o segundo o semi-anual. Há diferenças entre as variações da UR das estações do litoral às 21 horas com relação às variações às 09h. A contribuição do ciclo anual para a variância da série inicial é mais baixa que às 09h. Para a estação de Morretes, o principal ciclo é o semi-anual, para a estação de Guaraqueçaba, o segundo ciclo é o de 1/3 do ano e para Antonina, o segundo ciclo é o semi-anual. Para as variações de UR às 15h, o ciclo principal é o semi-anual, condição válida para todas as estações do litoral. Para estas não existe ciclo anual.

As análises das variações das médias climáticas da UR nas estações do noroeste, norte e nordeste do Estado, mostraram que eles são parecidos, somente os máximos e mínimos do ciclo de 1/3 do ano são mais ou menos significativos. As variações normais climáticas da UR às 09h, 15h e 21h nas estações de Bela Vista do Paraíso (noroeste, norte e nordeste do estado), Guaraqueçaba (litoral) e Ponta Grossa (centro-leste e sul) são mostradas na Figura 4. Como se pode ver na Figura 4 (a), no litoral as variações climáticas às 09 horas têm um máximo no inverno (final de junho) e um mínimo entre o final de novembro e início de dezembro. Na estação de Ponta Grossa também há um máximo entre o final de maio e início de junho, e um mínimo em novembro, já na estação Bela Vista do Paraíso tem-se três máximos, em fevereiro, junho e outubro, e há também um mínimo principal em agosto e dois mínimos secundários, em abril e novembro.

Nas variações normais climáticas da UR às 15 horas (Figura 4 (b)), no litoral, existe um pequeno pico em outubro e mínimos não significativos em agosto e dezembro. Já em Ponta Grossa, há três máximos, em fevereiro, junho e outubro, um mínimo principal em agosto e dois mínimos secundários, em abril e entre o final de novembro e início de dezembro. Na estação de Bela Vista do Paraíso também há três máximos, dois principais, em janeiro e junho e um secundário em outubro e três mínimos, um principal em agosto e dois secundários em abril e novembro. Nas variações normais climáticas da umidade relativa às 21 horas (Figura 4 (c)) para as estações de Bela Vista do Paraíso e Ponta Grossa, há um comportamento parecido dos máximo e mínimo com relação às variações das 15 horas. Somente Guaraqueçaba tem máximo no inverno e mínimo no verão.

Temperatura máxima (T_{max}) e temperatura mínima (T_{min})

Nas variações normais climáticas diárias da T_{max} , o ciclo semi-anual tem maior influência nas estações do noroeste, norte e nordeste. A Figura 5 apresenta as variações durante o ano das normais climáticas da T_{max} nas estações de Ibiporã e Clevelândia.

A análise mostrou que, nas variações da T_{max} nas estações onde, além de ciclo anual, existe o ciclo semi-anual, o valor máximo é em fevereiro e o mínimo é em junho, e, onde existe somente o ciclo anual, o valor máximo ocorre no final de janeiro e o mínimo em julho. Tem-se então, na parte norte, noroeste e nordeste do Estado, um período de cinco meses num máximo e de sete meses num mínimo.

A análise das variações das médias diárias da T_{min} com o uso do modelo de componentes cíclicos mostrou que o ciclo anual é principal e predominante, e a influência dos outros componentes cíclicos não

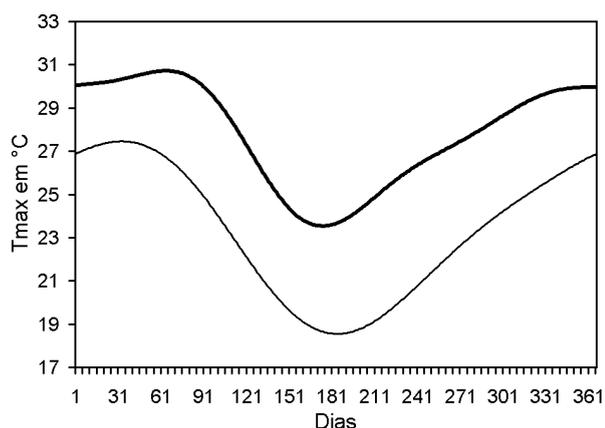


Figura 5. Variações médias climáticas diárias de temperatura máxima calculadas para as estações: Ibiporã (linha espessa) e Clevelândia (linha fina).

foi significativa. A Figura 6 mostra as variações normais climáticas da T_{\min} durante o ano nas estações de Ibiporã e Clevelândia. Observa-se que no norte do Estado ocorre um máximo nas variações da T_{\min} , em fevereiro e um mínimo em julho. Já no sul do Estado, a oscilação é mais simétrica.

Frequência de ocorrência de chuva (FQ)

A média da chuva acumulada diária não tem sentido físico, por isso foram analisadas as médias diárias das frequências de ocorrências de chuva (FQ) para o período estudado. A análise dos componentes cíclicos mostrou que nas, variações das FQ , durante

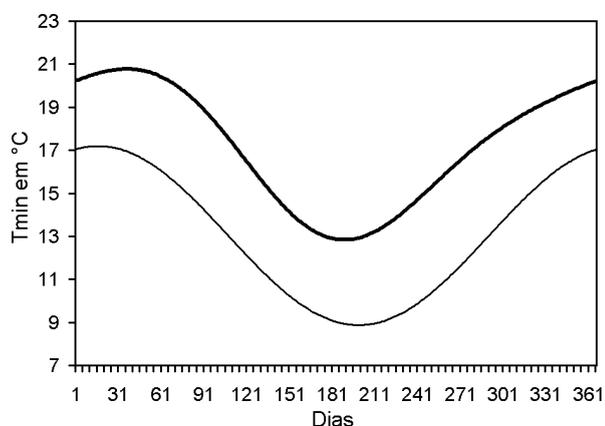


Figura 6. Variações médias climáticas diárias de temperatura mínima calculadas para as estações: Ibiporã (linha espessa) e Clevelândia (Linha Fina).

o ano também existe, além do ciclo anual, um ciclo de $1/3$ do ano e em algumas estações aparece o ciclo semi-anual. A amplitude do ciclo semi-anual é pequena e está no limite do nível de significância. A Figura 7 mostra as variações normais climáticas diárias das FQ durante o ano nas estações de Bandeirantes, Laranjeiras do Sul e Morretes. Na estação de Morretes, que caracteriza o litoral paranaense, observa-se o ciclo anual e semi-anual nas variações. Foi observada a existência de um máximo em fevereiro e um mínimo em junho. Nas estações do norte e oeste do Estado (representadas na Figura 7 pela estação de Bandeirantes), observou-se, além do ciclo anual, um ciclo de $1/3$ do ano com três máximos (no final de janeiro e início de fevereiro, em maio e no final de setembro e início outubro) e com três mínimos (abril, julho e final do outubro e início de novembro). A influência do ciclo de $1/3$ do ano foi mais forte nas regiões restantes do Estado. A Figura 7 mostra a variação da FQ na estação de Laranjeiras do Sul a qual representa estas regiões do Estado, nas quais também se observam três máximos, em fevereiro, junho e outubro e três mínimos, em abril, agosto e novembro.

Frequência de ocorrência de chuva igual ou superior a 10 mm (FQ_{10})

Para a agricultura é importante ter conhecimento sobre a variação de frequências de ocorrência de chuvas significativas, assumidas nesse caso como sendo ≥ 10 mm (FQ_{10}). Nas variações FQ_{10} , durante o ano de todas as estações estudadas, além do ciclo anual, existe um ciclo de $1/3$ do ano. Em algumas

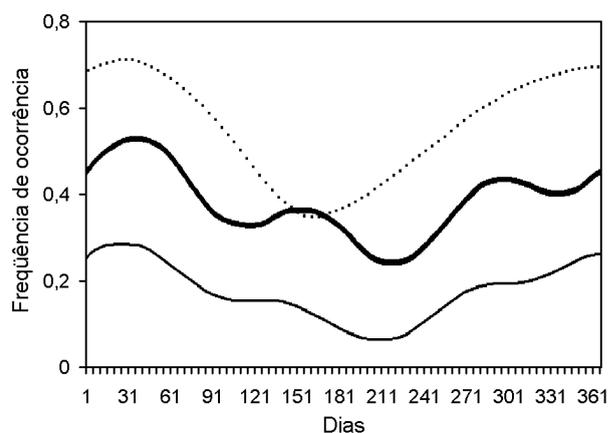


Figura 7. Variações das frequências de ocorrências de chuva, durante o ano, nas estações de Bandeirantes (linha fina), Laranjeiras do Sul (linha espessa) e Morretes (linha pontilhada)

estações foram extraídos também os ciclos semi-anual ou de 1/4 do ano, como na estação de Morretes, em que existe um terceiro ciclo semi-anual e na estação de Fernandes Pinheiro, na qual se detectou um terceiro ciclo de 1/4 do ano. A Figura 8 mostra as variações normais climáticas diárias FQ_{10} nas estações de Bandeirantes, Cianorte, Laranjeiras do Sul e Morretes. Na estação de Morretes, aparecem dois mínimos, em abril e em agosto e um máximo significativo em fevereiro, além de dois máximos secundários em junho e outubro. Na estação de Bandeirantes, predomina o ciclo anual com um mínimo em julho e um máximo em fevereiro. Na estação de Cianorte, a mais alta FQ_{10} foi em outubro e os máximos secundários no final de janeiro e início de fevereiro e em maio. Houve um mínimo climático em março, e outro no final de agosto e início de setembro. No sul e sudoeste do Estado (Estação de Laranjeiras do Sul), a contribuição do ciclo de 1/3 do ano para a variação das normais climáticas diárias FQ_{10} durante o ano foi comparável com a contribuição do ciclo anual. A variação tem três máximos, em fevereiro, junho e outubro e três mínimos, em abril, agosto e novembro.

Direção (DIR) e velocidade (V) do vento

A análise da variação das normais climáticas da direção do vento (Dir) e velocidade do vento (V) às 09h durante o ano mostrou que, em todas as regiões, há um ciclo anual e, em algumas, existe o ciclo semi-anual. No litoral as normais climáticas da Dir às 09h mostram predominância do vento sul durante o ano, com pouca alteração na velocidade - 1 m.s^{-1} no

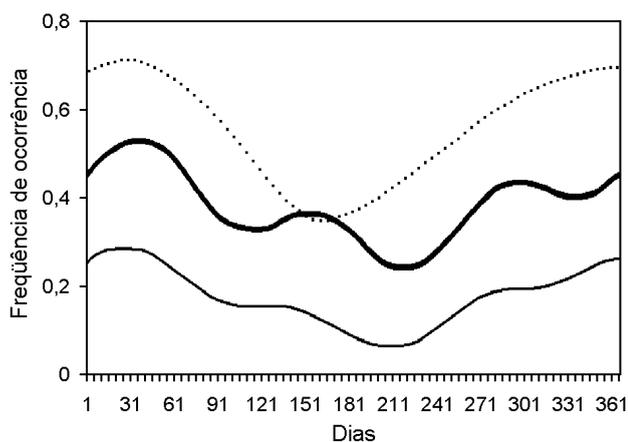


Figura 8. Variações das frequências de chuvas diárias ≥ 10 mm durante o ano nas estações de Bandeirantes (linha fina), Cianorte (linha pontilhada), Laranjeiras do Sul (linha tracejada) e Morretes (linha espessa).

verão e $1,5\text{ m.s}^{-1}$ no inverno (Figura 9 - estação de Morretes). No sul do Estado (Figura 9 - estação de Clevelândia) houve a influência do ciclo semi-anual e de 1/3 do ano, por isso existem dois máximos no final da primavera - início do verão. A Dir predominante é leste-sudeste a qual muda para leste no outono, alterando-se, após, para sudeste no inverno e retornando para sul-sudeste. As normais climáticas da velocidade variam entre 4 m.s^{-1} no outono e $4,5\text{ m.s}^{-1}$, na primavera.

No oeste (Fig.9 - estação de Cianorte) a Dir muda de leste-sudeste, no verão e para sul-sudeste, no inverno. As normais climáticas da V às 09h são cerca de $2,5\text{ m.s}^{-1}$, em janeiro, diminuem até junho atingindo 2 m.s^{-1} , aumentam novamente até 3 m.s^{-1} , em outubro e diminuem no verão. Nesta região, foi observada uma pequena influência do componente cíclico de 1/3 do ano (Fig.10).

A Região Nordeste do Estado (Figura 9 - estação de Joaquim Távora) está caracterizada com a oscilação da Dir sul, no verão, sul-sudeste no outono e primavera e sul-sudoeste, no inverno. A V também tem influência do ciclo semi-anual e de 1/3 do ano (Figura 10), com um mínimo no final de janeiro e início de fevereiro (cerca de 3 m.s^{-1}) e outro mínimo no final de junho e início de julho (4 m.s^{-1}). Ocorre um máximo no final de setembro e início de outubro ($4,5\text{ m.s}^{-1}$) e um segundo máximo em maio.

No norte do Estado (Figura 9 - estação de Bandeirantes) também há influência do ciclo semi-

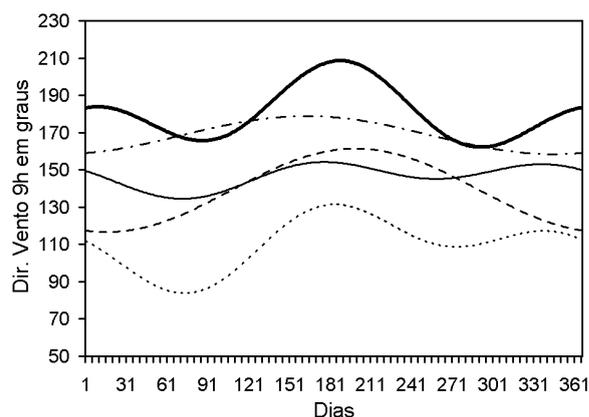


Figura 9. Variações das médias climáticas de direção do vento às 09h nas estações: Bandeirantes (linha fina), Clevelândia (linha pontilhada), Cianorte (linha tracejada), Joaquim Távora (linha espessa) e Morretes (linha traço e ponto).

anual de 1/3 do ano, o qual é menor nas variações de **Dir** e mais forte nas variações de **V** (Figura 10). A direção do vento varia entre sudeste e sul-sudeste, a **V** tem dois máximos e dois mínimos, sendo máximo em outubro ($4,5 \text{ m.s}^{-1}$) e em março ($3,5 \text{ m.s}^{-1}$), tendo um mínimo em janeiro e junho ($3,1 \text{ m.s}^{-1}$).

As **Dir**, às 15 horas, são diferentes daquelas das 09 horas. As variações possuem um ciclo anual, além da Região Nordeste do Estado (Figura 11 - estação de Joaquim Távora), na qual as variações de **Dir** têm influência do ciclo semi-anual. Na maioria das estações a variação das normais da **Dir** é pequena. Por exemplo, no Norte e Oeste do Estado, a **Dir** varia pouco (entre sul e sul-sudoeste) durante o ano. No litoral (Fig.11 - estação de Morretes), a **Dir** varia entre leste em dezembro e leste e leste-sudeste, em maio-junho. No nordeste do Estado, a direção do vento oscila de sudoeste no verão para o sul-sudoeste na primavera, alterando-se mais para o sudoeste no inverno e retornando para o sul-sudoeste no outono.

As normais climáticas diárias de **V**, às 15 horas, no norte, nordeste e oeste do Estado têm a mesma variação. A Figura 12 mostra a variação das normais da **V** na estação de Bandeirantes, as quais oscilam entre 3 m.s^{-1} e $3,5 \text{ m.s}^{-1}$. No sul (Figura 12 - estação de Clevelândia) as normais oscilam entre $3,8 \text{ m.s}^{-1}$, no final do verão e $4,8 \text{ m.s}^{-1}$, no final do inverno. No litoral (Figura 12 - estação de Morretes) existe um mínimo de **V** em junho (2 m.s^{-1}) e um máximo em dezembro ($3,1 \text{ m.s}^{-1}$).

As variações das normais climáticas da **Dir**, às 21 horas durante o ano, mostrou que, na maior

parte do Estado há pouca alteração durante o ano, como, por exemplo, a variação das normais **Dir** na estação de Bandeirantes (Figura 13). No litoral (Figura 13 - estação de Morretes), as normais climáticas da **Dir** oscilam de sul-sudoeste, no outono para sudoeste na primavera. No sul do Estado (estação de Clevelândia), existe uma influência do ciclo semi-anual, no final de fevereiro - início de março e final de agosto - início de setembro. Nesta estação, as normais climáticas da **Dir** são sudeste no final de maio - início de junho e final de novembro - início de dezembro, quando o vento predominante é sul-sudeste. No nordeste do Estado (estação de Joaquim Távora), existem três ciclos: anual, semi-anual e de 1/3 do ano. A direção sul no final de janeiro e início de fevereiro muda para sul-sudeste, no final de março e início de abril, passa para sudoeste em junho e novamente retorna para sudeste em setembro, outubro e novembro.

As variações das normais climáticas da **V**, às 21 horas também mostram que são diferentes das 09 e das 15 horas. No litoral, a **V** não varia significativamente durante o ano. Por exemplo, na estação de Morretes, detectou-se uma oscilação em torno de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ (Figura 14). A estação de Bandeirantes, no norte do Estado, mostra a influência do ciclo semi-anual tendo mínimos em janeiro, final de maio e início de junho, com cerca de $2,5-3 \text{ m.s}^{-1}$, um máximo principal, em setembro, com $4,2 \text{ m.s}^{-1}$ e um máximo secundário, no final de março e início de abril. A estação de Clevelândia, no sul do Estado, tem um mínimo com $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ em fevereiro e um máximo em agosto com $3,5 \text{ m.s}^{-1}$. As variações das normais climáticas,

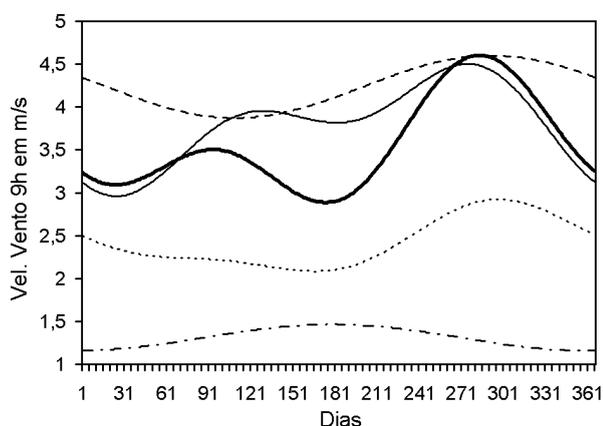


Figura 10. Variações médias climáticas de velocidade do vento às 9h nas estações: Bandeirantes (linha espessa), Clevelândia (linha tracejada), Cianorte (linha pontilhada), Joaquim Távora (linha fina) e Morretes (linha traço e ponto).

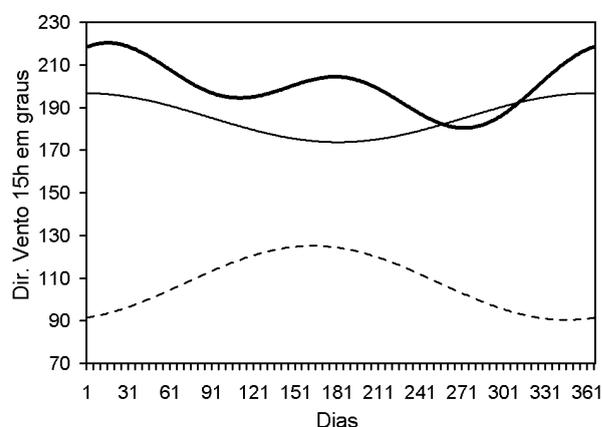


Figura 11. Variações das médias climáticas de **Dir** às 15h nas estações: Bandeirantes (linha espessa), Joaquim Távora (linha fina) e Morretes (linha traço e ponto).

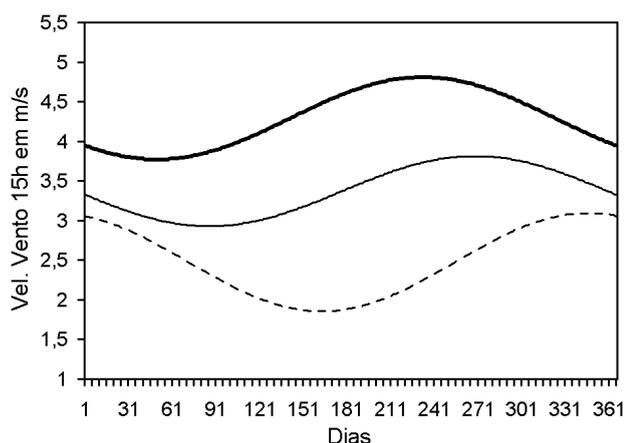


Figura 12. Variações das médias climáticas de V às 15h nas estações: Bandeirantes (linha fina), Clevelândia (linha espessa) e Morretes (linha tracejada).

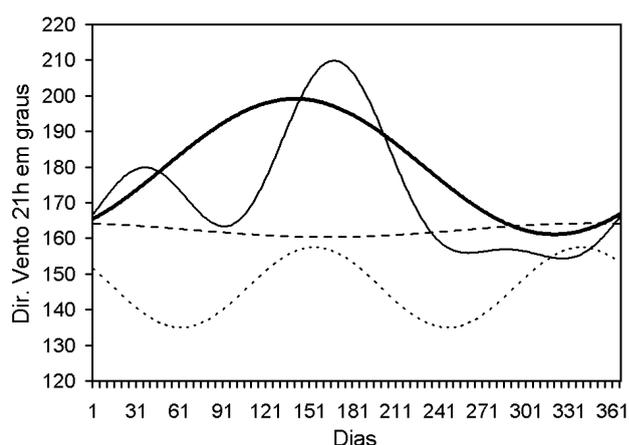


Figura 13. Variações das médias climáticas de direção do vento às 21h nas estações: Bandeirantes (linha tracejada), Joaquim Távora (linha fina), Clevelândia (linha pontilhada) e Morretes (linha espessa).

no oeste do Estado (estação de Palotina), têm influência no ciclo de 1/3 do ano - Figura 14, um mínimo em fevereiro, com $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ e um máximo em agosto, com $3,5 \text{ m.s}^{-1}$.

Os resultados obtidos têm grande potencial de utilização em estudos agrometeorológicos, podendo contribuir para a melhoria das análises de risco climático e modelagem de crescimento e produção de culturas. Outros setores como os de produção de energia, construção

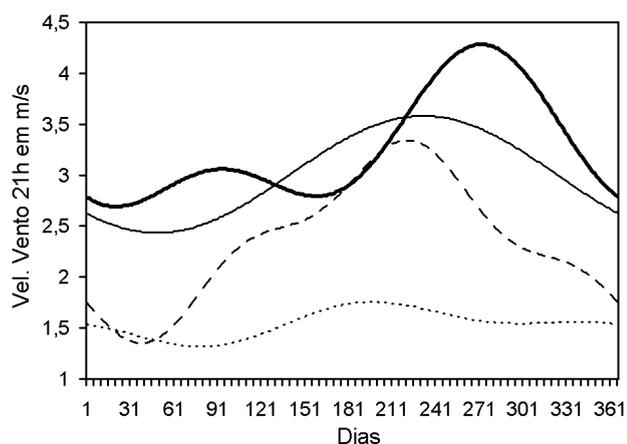


Figura 14. Variações das médias climáticas de velocidade do vento às 21h nas estações: Bandeirantes (linha espessa), Clevelândia (linha fina), Palotina (linha tracejada) e Morretes (linha pontilhada).

civil e turismo também podem se beneficiar destas informações.

Os parâmetros utilizados em modelos de regionalização de culturas com base em informações climáticas podem ser estimados com maior consistência utilizando os valores normais. Tomando-se como exemplo as normais climáticas diárias de temperatura, é possível estimar os graus-dia de crescimento das culturas e realizar estimativas do ciclo em função da época de plantio em estudos de modelagem (CARDOSO *et al.*, 2001; BASTOS *et al.*, 2002) e zoneamento climático (CARAMORI *et al.*, 2001a,b; BRUNINI *et al.*, 2001; AMORIM NETO *et al.*, 2001; ASSAD *et al.*, 2001; CUNHA *et al.*, 2001). A ocorrência de doenças, estimada com base em modelos que utilizam temperatura e umidade do ar, também pode ser determinada para diferentes locais. As variações normais da direção regional dos ventos permitem planejamento de quebra-ventos e localização de fontes poluidoras do ar. A variação da velocidade média dos ventos possibilita identificar as regiões e períodos do ano em que poderá haver prejuízos às culturas agrícolas e auxiliar no planejamento de métodos de proteção. Finalmente, os resultados apresentados, neste trabalho, fornecem parâmetros para o melhorar o monitoramento agroclimático (IAPAR, 2003), por meio da comparação das condições ocorridas em determinado período com a condição normal, identificando períodos em que a situação se encontra abaixo ou acima dos valores esperados e as possíveis conseqüências para as culturas da época.

Conclusões

Demonstrou-se a possibilidade da aplicação do modelo de componentes cíclicos para a suavização das variações das médias das características meteorológicas de cada dia durante o ano e que o conjunto dos componentes cíclicos pode ser aplicado como médias climáticas diárias.

Dentro das variações climáticas médias diárias que ocorrem durante o ano, além do ciclo anual e semi-anual, existem os ciclos de 1/3 do ano e de 1/4 do ano, como segue: 1) evaporação de Piche - ciclos anual, semi-anual e de 1/3 do ano; 2) insolação – ciclos anual, semi-anual, de 1/3 e de 1/4 do ano; 3) umidade relativa - ciclos anual, semi-anual e de 1/3 do ano; 4) temperatura máxima, direção e velocidade do vento - ciclos anual e semi-anual; 5) temperatura mínima – somente ciclo anual.

As variações normais climáticas diárias durante o ano dependem das regiões do Estado do Paraná.

Referências Bibliográficas

- AMORIM NETO, M. et al. Zoneamento agroecológico e definição de época de semeadura do algodoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 422-428, 2001.
- ASSAD, E.D. et al. Zoneamento de riscos climáticos do milho para a região centro-oeste do Brasil e para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 527 - 535, 2001.
- BASTOS, E.A. et al. Simulation of growth and development of irrigated cowpea in Piauí state by CROPGRO model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1381 - 1387, 2002.
- BRUNINI, O. et al. Riscos climáticos para a cultura do milho no Estado de São paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 519-526, 2001.
- CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D.; FARIA, R.T. **Frequência de ocorrência de períodos com deficiência hídrica (veranicos) no estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, p. 1-40, 1991. (Boletim técnico, 36).
- CARAMORI, P.H. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 486-494, 2001a.
- CARAMORI, P.H. et al. Zoneamento de riscos climáticos e definição de datas de semeadura para o feijão no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 477-485, 2001b.
- CARDOSO, C.O.; FARIA, R.T.; FOLEGATTI, M.V. Análise de estratégias de irrigação para o milho 'safrinha' em Londrina, com modelos de simulação. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 12, p. 53 - 64, 2001.
- CUNHA, G.R. et al. Zoneamento agrícola e época de semeadura do trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n.3, p. 400 - 414, 2001.
- FARIA, R.T. et al. Determination of a long-term irrigation strategy for drybeans in Parana State-Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 54, p. 155 -164, 1997.
- GONÇALVES, S.L.G. et al. Probabilidade de ocorrência de temperaturas superiores a 30°C no florescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivado na safra das águas no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 99-107, 1997.
- IAPAR. Monitoramento Agroclimático do Paraná. Disponível em: www.pr.gov.br/iapar/sma. Acessado em: 12-10-2003.
- KIM, I.S.; DUQUIA, C.G. Um Estudo Climático das Variações de Precipitação Diária no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XI, 2000, Rio de Janeiro (CD-ROM).
- KIM, I.S.; Dias N.L. Variabilidade e previsão climática de vazões na margem esquerda da bacia do alto Paraná (Brasil). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Santa Maria, 2003, (no prelo).
- KIM I.S.; CARAMORI, P.H.; VISSOTTO, S. Estudo das variações normais climáticas diárias de parâmetros meteorológicos. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., Santa Maria, 2003. **Resumos...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Vol. 1, p. 801-802, 2003.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2. ed., Rio de Janeiro: José Olympio, 1981. 450 p.
- MARIOT, E.J. Ecofisiologia do feijoeiro. In: **O feijão no Paraná**, Londrina: IAPAR, 1989. p. 25-41. (Circular, 63).
- NAZARENO, N. R. X. et al. Controle da requeima da batata através de monitoramento de variáveis climáticas com o uso do COLPAM 40. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, p. 374-376. 1999.
- NEUMAIER, N. et al. Determinação das temperaturas causadoras do tombamento fisiológico em plântulas de

soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., Santa Maria, 2003, **Anais...**, Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, v. 1: p. 703-704, 2003.

VAN LOON, H. et al. Meteorology of the Southern Hemisphere. **Meteorological monographs**, Boston, v. 13, n. 35, 1972. 184 p.