



## Caracterização agroclimática de Bagé, RS

Ana Paula Assumpção Cordeiro<sup>1(\*)</sup>, Rita de Cássia Marques Alves<sup>1</sup> e Mauricio Barbosa da Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM). Av. Bento Gonçalves, 9500, setor 5, prédio 44202, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mails: apacufrgs@yahoo.com.br, rita.cma@terra.com.br e mauricio.mbr@gmail.com

(\*)Autor para correspondência.

### INFORMAÇÕES

#### História do artigo:

Recebido em 12 de abril de 2019

Aceito em 11 de março de 2020

#### Termos para indexação:

variabilidade

variáveis meteorológicas

regime climático

balanço hídrico

### RESUMO

O estudo objetivou a caracterização agroclimática de Bagé, RS, através das variáveis meteorológicas, estimadas e derivadas do balanço hídrico seriado de 1961 a 2016. O balanço hídrico mensal foi calculado por Thornthwaite-Mather (1955) e a evapotranspiração de referência, por Priestley & Taylor (1972) para capacidade de água disponível de 100 mm. A precipitação pluviométrica anual é 1.518 mm e a mensal é 127 mm. A insolação anual é 2.233 horas e a mensal é 186 horas. As médias anuais de temperatura do ar (mínima, média e máxima) são 13,3; 18,5 e 23,8 °C, respectivamente. A umidade do ar anual é 72%. A velocidade do vento anual é 3,1 m.s<sup>-1</sup>. O saldo de radiação anual é 9 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. A evapotranspiração anual de referência é 1.155 mm e a real é 989 mm. Os déficits hídricos são mínimos de abril a outubro e máximos em janeiro e dezembro, quando os índices hídricos são mínimos. O excesso hídrico é máximo em julho e mínimo em janeiro. De novembro a março, há alta frequência de índices hídricos baixos. Na primavera a disponibilidade hídrica é maior que no outono, pois as primaveras são mais chuvosas e os outonos, mais quentes. Todas variáveis apresentam alta variabilidade interanual.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

### Introdução

A caracterização do clima de um determinado local é um muito importante para o conhecimento das características atmosféricas médias, bem como de suas flutuações ao longo do tempo. Tal conhecimento serve de apoio a várias atividades como, agricultura, defesa civil, planejamento, gerenciamento de recursos hídricos, saúde, entre outras. Além dos dados meteorológicos originais (precipi-

tação pluviométrica, insolação, temperaturas do ar, entre outros), oriundos de estações meteorológicas, outros dados assumem grande relevância para trabalhos de caracterização climática e até mesmo para modelagem agrometeorológica de estimativa de rendimentos de cultivos, como é o caso de variáveis estimadas, como saldo de radiação e evapotranspiração de referência; e/ou derivadas do balanço hídrico: evapotranspiração real, déficit hídrico, excesso hídrico e índice hídrico. Portanto, o objetivo deste estudo é caracte-

rizar o regime climático de Bagé no estado do Rio Grande do Sul, através da precipitação pluvial, insolação, velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperaturas do ar (mínima, máxima e média), saldo de radiação, evapotranspiração de referência, e, derivadas do balanço hídrico: evapotranspiração real e déficit, excesso e índice hídricos.

### Material e métodos

Foram utilizados dados mensais, estacionais e anuais para a caracterização do regime climático de Bagé (31°20'13" S e 5421'06" W), na região sul do Rio Grande do Sul. A estação meteorológica de Bagé pertence a uma região representativa da Campanha, inserida no Bioma Pampa do Estado, onde predomina paisagem campestre, com relevo de suave ondulado a ondulado. A altitude da estação é cerca de 242 m, sendo que as altitudes do município diminuem de nordeste (até cerca de 395 m) para sudoeste (na faixa de 100 m), com declividades pouco acentuadas, estando as áreas mais declivosas, geralmente, associadas às encostas das partes mais altas ao norte do município (INCRA, 2007).

As variáveis da estação meteorológica de Bagé estudadas foram: precipitação pluvial, insolação, temperaturas do ar (mínima, máxima), umidade relativa do ar e velocidade média do vento; além destas, foram calculados os valores mensais de temperatura média do ar, radiação solar global, saldo de radiação e evapotranspiração de referência e, também, calculado o balanço hídrico seriado, para obter as variáveis derivadas: evapotranspiração real, déficit, excesso e índice hídricos. Todas análises foram para o período de janeiro de 1961 a dezembro de 2016 (56 anos) e de 1971 a 2016 (46 anos) no caso dos dados de vento.

Os dados originais totais mensais de precipitação pluvial (mm) e insolação (horas e décimos), e médios mensais de temperatura mínima e temperatura máxima do ar (°C) foram obtidos junto ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET). Foram utilizados dados mensais, consistentes, obtidos junto aos arquivos originais, em papel, do INMET, com consulta aos diários do observador nos casos duvidosos. Apenas para os anos de 2010 a 2016 foram utilizados os dados de Bagé do BDMEP (Banco De Dados Meteorológicos Para Ensino E Pesquisa), visto que os mesmos se apresentavam consistentes. Do BDMEP, também, foram utilizados dados diários de umidade relativa do ar (%) e de velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>) e a partir destes, calculadas as médias mensais. A série de dados mensal de temperatura média do ar (°C) foi obtida a partir da média aritmética entre a temperatura mínima e máxima do ar.

Para todas as séries, a partir dos dados mensais, foram calculadas as médias ou somas, anuais e estacionais clássicas: verão (dezembro-janeiro-fevereiro), outono (março-

-abril-maio), inverno (junho-julho-agosto) e primavera (setembro-outubro-novembro).

A qualidade dos dados meteorológicos foi examinada verificando-se, nas séries de dados, valores que apresentassem grande discrepância, quando comparados aos observados na própria série de dados da estação ou com estações vizinhas. A análise de homogeneidade foi feita através da inspeção visual de picos nos gráficos das séries históricas, sendo inspecionada a possível ocorrência de saltos nas séries, que poderiam não ser de natureza meteorológica, mas sim de mudança de local da estação ou de troca instrumentos de observação.

Para a estimativa mensal da radiação solar recebida no topo da atmosfera e da duração astronômica do dia foram utilizadas as equações descritas em Vianello & Alves (2000). A série de dados de radiação solar global (Rg) foi obtida pela equação de Ångstrom (Vianello & Alves, 2000):

$$R_g = R_a * (b_0 + b_1 * (n/N)) \quad (1)$$

Onde Rg e Ra (em MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) são, a radiação solar global incidente sobre uma superfície horizontal ao nível do solo e a recebida no topo da atmosfera, respectivamente. "n" é o número médio de horas de insolação. E, N é a duração astronômica do dia (número máximo de horas de sol). Os coeficientes da regressão linear, b<sub>0</sub> e b<sub>1</sub>, (adimensionais) utilizados para Bagé foram os coeficientes médios, ajustados por Fontana & Oliveira (1996), para região da Campanha, visto que os mesmos variam mensalmente e conforme a região ecolimática.

A série de dados de saldo de radiação (Rn) foi estimada pela relação com a radiação solar global (Rg), para condição de solo vegetado com grama, utilizando a equação ajustada por Bergamaschi *et al.* (2003), dada por:

$$R_n = -18,81 + 0,69 * R_g \quad (2)$$

Onde Rn e Rg (em cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) são, o saldo de radiação e a radiação solar global, respectivamente. Para aplicar a equação 2, a série de dados de Rg teve que ser convertida de MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> para cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. E, posteriormente, a série de dados de Rn foi convertida para MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, para ser utilizada na equação 3.

Uma das principais variáveis de entrada do balanço hídrico é a evapotranspiração potencial (ETP), que pode ser considerada como sinônimo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) quando se refere a evapotranspiração de uma cultura bem adaptada e de porte baixo (12cm). Uma das mais interessantes simplificações do Método Combinado de Penman (1956) de estimativa da evapotranspiração para estudos climáticos é o método de Priestley & Taylor (1972), que estima a evapotranspiração apenas em função da temperatura do ar e do termo energético da equação

de Penman, dispensando dados de velocidade do vento a 2 m de altura, nem sempre disponíveis em estações convencionais. Portanto, optou-se por estimar a série de dados de evapotranspiração de referência pelo método de Priestley & Taylor (1972), dado por:

$$ET_o = \alpha * [\Delta / (\Delta + \gamma)] * (R_n - S) \quad (3)$$

Onde,  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência (calor latente de evaporação, em  $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ );  $\alpha$  é o parâmetro de Priestley e Taylor=1,26, para condições saturadas e em ausência de advecção;  $\Delta$ , é a tangente à curva que relaciona a pressão de saturação de vapor e temperatura do ar ( $kPa. ^\circ C^{-1}$ );  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico ( $kPa. ^\circ C^{-1}$ );  $R_n$ , o saldo de radiação ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ );  $e$ ,  $S$  é o fluxo de calor no solo ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ). Neste trabalho, foi considerado  $S = 0$ . A tangente à curva que relaciona pressão de saturação do vapor d'água e temperatura do ar, foi obtida segundo equação descrita em Burman & Pochop (1994), em função da temperatura média do ar ( $^\circ C$ ).  $O C_{pm}$ , calor específico a pressão constante ( $1,01 kJ. Kg^{-1}. K^{-1}$ );  $P$ , a pressão atmosférica (101,3 kPa); e  $\epsilon$ , a relação entre o peso molecular do vapor d'água e do ar seco (0,622), utilizados para o cálculo do coeficiente psicrométrico ( $\gamma$ ), foram considerados constantes, sendo apenas o calor latente de vaporização ( $\lambda$ , em  $kJ. Kg^{-1}$ ) obtido pela equação:

$$\lambda = 2501 - (2,3601 * T) \quad (4)$$

Onde  $T$  é a temperatura média do ar ( $^\circ C$ ).

Através do fator de conversão de 2,546, a série mensal de evapotranspiração de referência, estimada em  $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ , foi convertida a  $mm.dia^{-1}$ , e posteriormente, multiplicada pelo número de dias de cada mês para obter a evapotranspiração de referência total (mm).

Para o cálculo do balanço hídrico, as variáveis de entrada necessárias são a precipitação pluvial, a evapotranspiração potencial e a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD). Neste estudo foi utilizada a CAD de 100mm, por esta ser a mais utilizada em estudos agroclimatológicos. Os balanços hídricos seriados, em nível mensal, foram calculados conforme a metodologia desenvolvida por Thornthwaite-Mather (1955), porém, modificada. A modificação consistiu no cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Priestley & Taylor (1972) em vez do método de Thornthwaite (1948). Isto porque o método de Thornthwaite subestima a evapotranspiração de referência na primavera e verão, enquanto que o método Priestley & Taylor, quando utilizado no balanço hídrico é muito mais realístico para estimar as deficiências hídricas, conforme mostrado por Leivas (2003) para o sul do Estado.

Por fim, a série de dados do índice hídrico, foi obtida pela razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspi-

ração de referência. Este índice foi calculado por ser muito utilizado como indicador de disponibilidade hídrica, sendo "zero", quando não há água disponível no solo e "um" quando não há limitação de água.

## Resultados e Discussão

A precipitação pluvial total anual em Bagé, média do período de 1961 a 2016, foi de 1.518 mm. No percentil 90, se encontram os anos em que ocorreram os maiores valores de precipitação pluvial, 2002 com 2.645 mm; 2001 com 2.085 mm; 2014 com 2.082 mm; 2015 com 2.043 mm; e 2003 com 2.002 mm. Já os menores volumes de precipitação pluvial anual ocorreram em 1989 (799 mm); 1964 (909 mm); 1999 (976 mm); 1978 (983 mm); e 1962 (994 mm) (Figura 1a).

Na análise mensal (Figura 1b) observa-se que a precipitação média do período de estudo foi maior nos meses de outubro (143 mm), setembro (141 mm), fevereiro e julho (139 mm) e abril (135 mm). E, dezembro, foi o mês com menor precipitação pluvial mensal (114 mm). A precipitação pluvial em Bagé é, relativamente, bem distribuída ao longo do ano, com média mensal no período de 1961 a 2016, em torno de 127 mm.

Assim como no caso anual, as quatro estações do ano apresentaram alta variabilidade interanual em Bagé no período de 1961 a 2016 (Figuras 1c, 1d, 1e e 1f). No verão, a precipitação média foi de 376 mm, no outono 369 mm, no inverno 372 mm, e, na primavera foi de 401 mm.

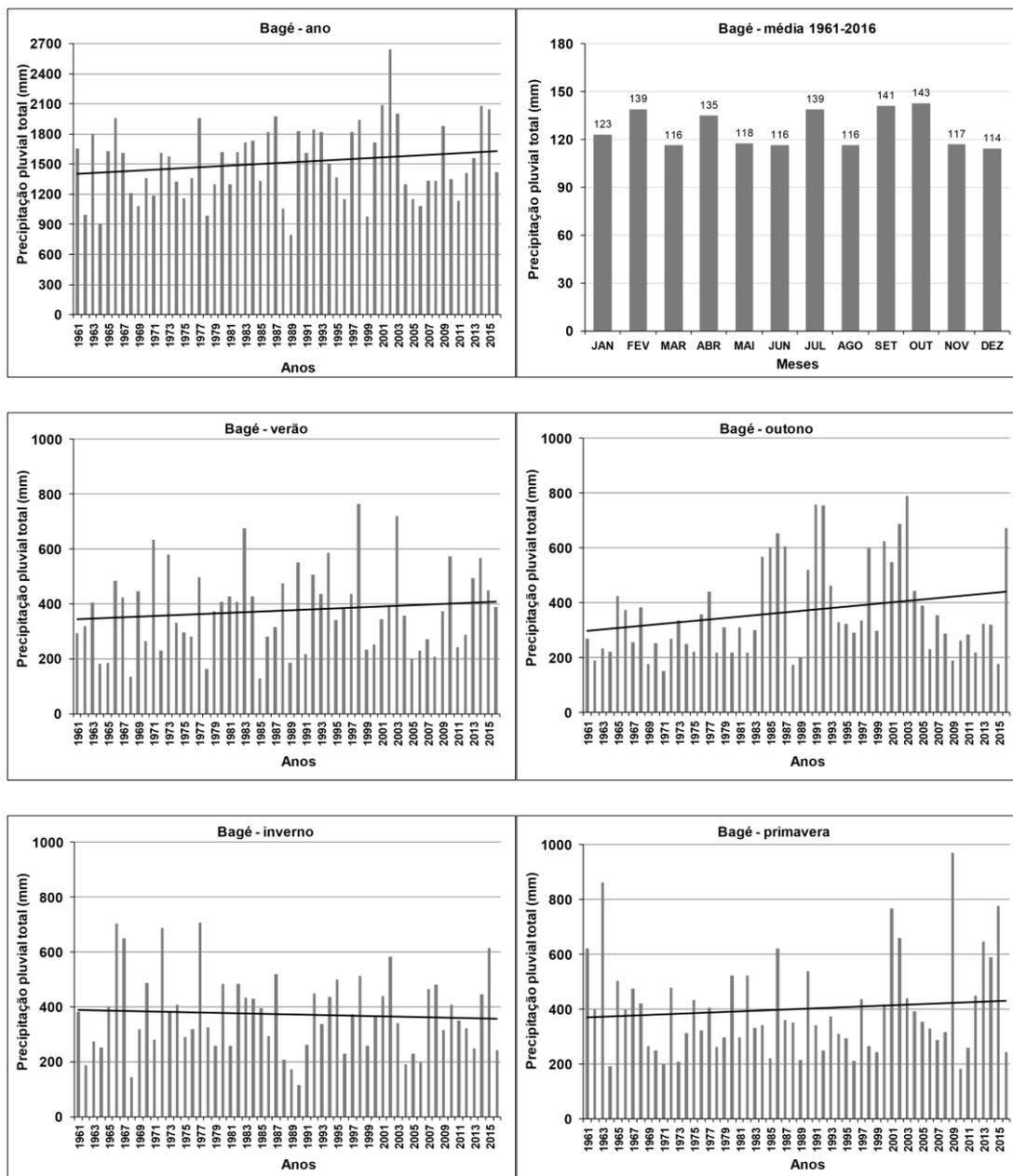
A insolação total anual em Bagé, média do período de estudo, foi de 2.233 horas. Os anos em que ocorreram os maiores valores de insolação (percentil 90) foram: 2012 com 2.623 horas; 2013 com 2.592 horas; 2011 com 2.573 horas; 2006 com 2.550 horas; e, 1989 e 2004 com 2.546 horas. Já os menores valores de insolação total anual ocorreram, principalmente, na década de 1980: em 1984 (1.815 horas); 1983 (1.860 horas); 1963 (1.959 horas); 1986 (1.968 horas) e 1985 (1.996 horas) (Figura 2a).

Na análise mensal (Figura 2b) observa-se que a insolação, média do período de 1961 a 2016, foi maior nos meses de dezembro (253 horas) e janeiro (244 horas). E, menor em junho, com 124 horas de brilho solar, praticamente a metade da insolação de janeiro. A média mensal no período de estudo foi de 186 horas.

As quatro estações do ano, assim como no caso anual, apresentam alta variabilidade interanual em Bagé no período de 1961 a 2016 (Figuras 2c, 2d, 2e e 2f). No verão, a insolação total média do período foi de 702 horas, no outono 538 horas, no inverno 411 horas, e, na primavera, de 582 horas.

A temperatura mínima do ar média anual em Bagé, no período de 1961 a 2016, foi de 13,3  $^\circ C$  (Figura 3a). Na análise mensal (Figura 3b) observa-se que a temperatura mínima

**Figura 1.** Precipitação pluviométrica total (mm) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



do ar, média do período de estudo foi maior nos meses de janeiro e fevereiro (18,4 °C), havendo uma redução no outono, atingindo a mínima no mês central do inverno, em julho (8,3°C), voltando a aumentar nos meses seguintes. No verão, a temperatura mínima do ar, média do período, foi de 17,9 °C (Figura 3c), no inverno 8,8 °C (Figura 3d), no outono 13,8 °C (Figura 3e), e, na primavera, 12,6 °C (Figura 3f).

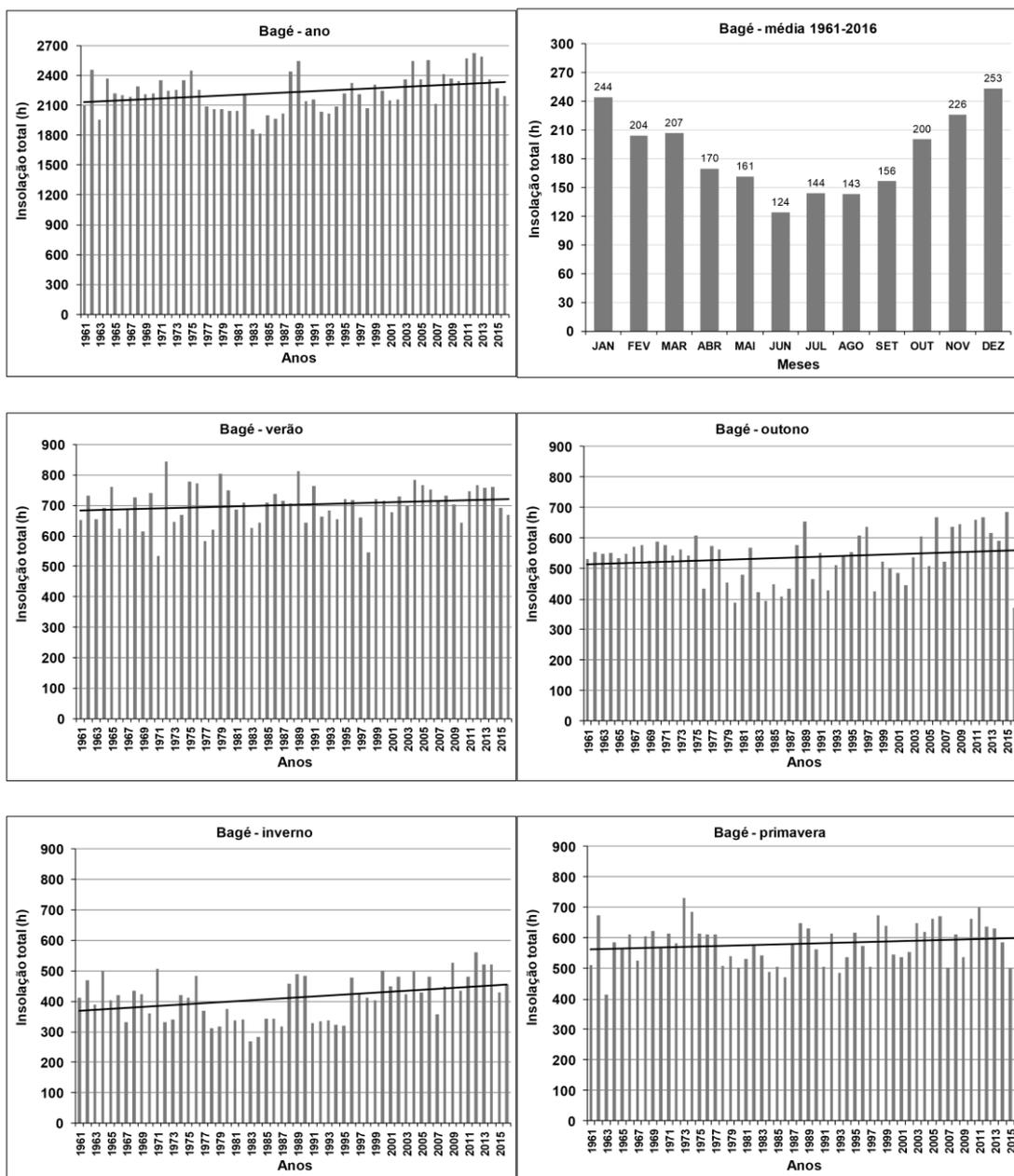
A temperatura máxima do ar média anual em Bagé, no período de 1961 a 2016, foi de 23,8 °C (Figura 4a). Na análise mensal, a temperatura máxima do ar, média do período de estudo foi maior nos meses de janeiro (30,1 °C), seguida por fevereiro (29,2 °C) e dezembro (29 °C). A temperatura máxima diminuiu nos meses de outono, atingindo os menores valores em junho (17,7 °C) e julho (17,6 °C), voltando a aumentar nos meses seguintes (Figura 4b).

No verão, a temperatura máxima do ar foi de 29,5 °C (Figura 4c), no outono 24,1 °C (Figura 4d), no inverno 18,2 °C (Figura 4e), e na primavera, 23,4 °C (Figura 4f).

A temperatura média do ar anual em Bagé no período de 1961 a 2016 foi 18,5 °C (Figura 5a). Na análise mensal, a temperatura média do ar no período de estudo foi maior nos meses de janeiro (24,2 °C), fevereiro (23,8 °C) e dezembro (23,0 °C). A temperatura média diminuiu nos meses de outono, atingindo os menores valores em junho (13,2 °C) e julho (13,0 °C), voltando a aumentar nos meses seguintes (Figura 5b). Na análise estacional, a temperatura média do ar em Bagé, no período de estudo foi de 23,7 °C no verão (Figura 5c), 18,9 °C no outono (Figura 5d), 13,5 °C no inverno (Figura 5e), e 18,0 °C na primavera (Figura 5f).

As temperaturas (mínima, máxima e média), tanto no

**Figura 2.** Insolação total (h) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



caso anual (Figuras 3a, 4a, 5a), como nas quatro estações do ano, também, apresentam alta variabilidade interanual em Bagé (Figuras 3c, 3d, 3e, 3f, 4c, 4d, 4e, 4f, 5c, 5d, 5e e 5f).

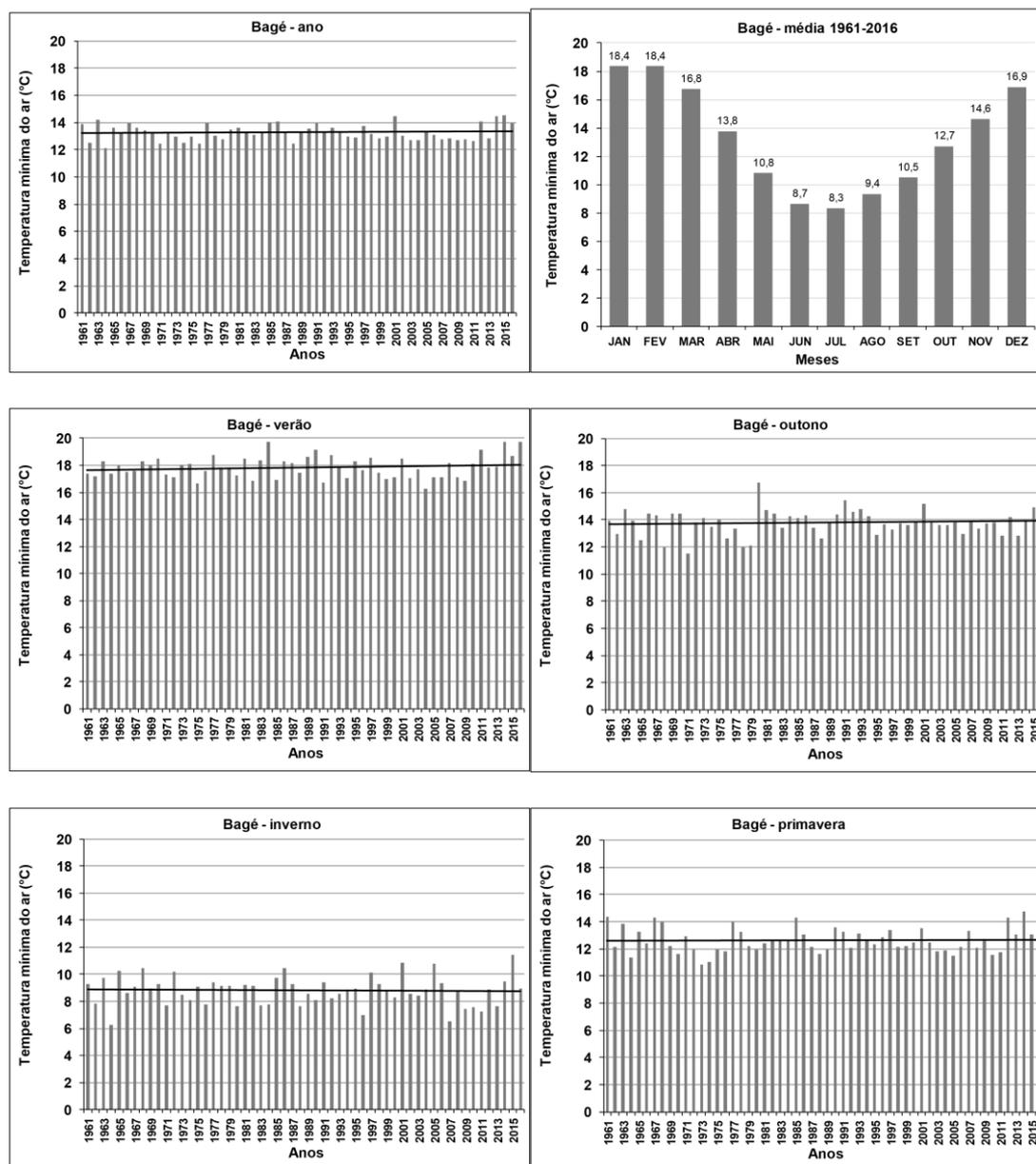
A umidade relativa média do ar anual em Bagé, no período de 1961 a 2016, foi de 72%. No percentil 90, se encontram os anos em que ocorreram os maiores valores de umidade relativa média do ar, 2002 com 79%; 2001 com 78%; 2014, 2015 e 2003 com 77%. Estes anos com umidade maior ou igual a 77% correspondem aos anos com maiores volumes de precipitação pluvial em Bagé (maior do que 2.000 mm): 2.645 mm, 2.085 mm, 2.082 mm e 2.043 mm, 2.002 mm, respectivamente. No período de estudo, precipitações pluviais entre 900 e 1.960 mm estiveram associadas a umidades relativas médias de 66 a 76%. Já os menores valores de umidade relativa média do ar foram registrados

nos anos de 1962 e 1994 (66%); 1964 e 1970 (67%) e 1975 (68%), sendo todos estes anos com volumes de precipitação pluvial anual abaixo da média (1961 a 2016) de 1.518 mm para Bagé. Os anos de 1962 e 1964, inclusive registraram baixíssimas precipitações pluviais: 994 mm e 909 mm, respectivamente (Figura 6a).

Na análise mensal (Figura 6b) observa-se que a umidade relativa do ar, média do período estudado, é maior nos meses de maio (76%), junho (78%) e julho (77%). E, menor nos meses de novembro (66%), dezembro (64%) e janeiro (65%).

A umidade relativa do ar média, no ano (Figura 6a) e nas quatro estações do ano apresentaram alta variabilidade interanual em Bagé (Figuras 6c, 6d, 6e e 6f). No verão, a umidade relativa do ar média do período de 1961 a 2016 é

**Figura 3.** Temperatura mínima do ar (°C) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



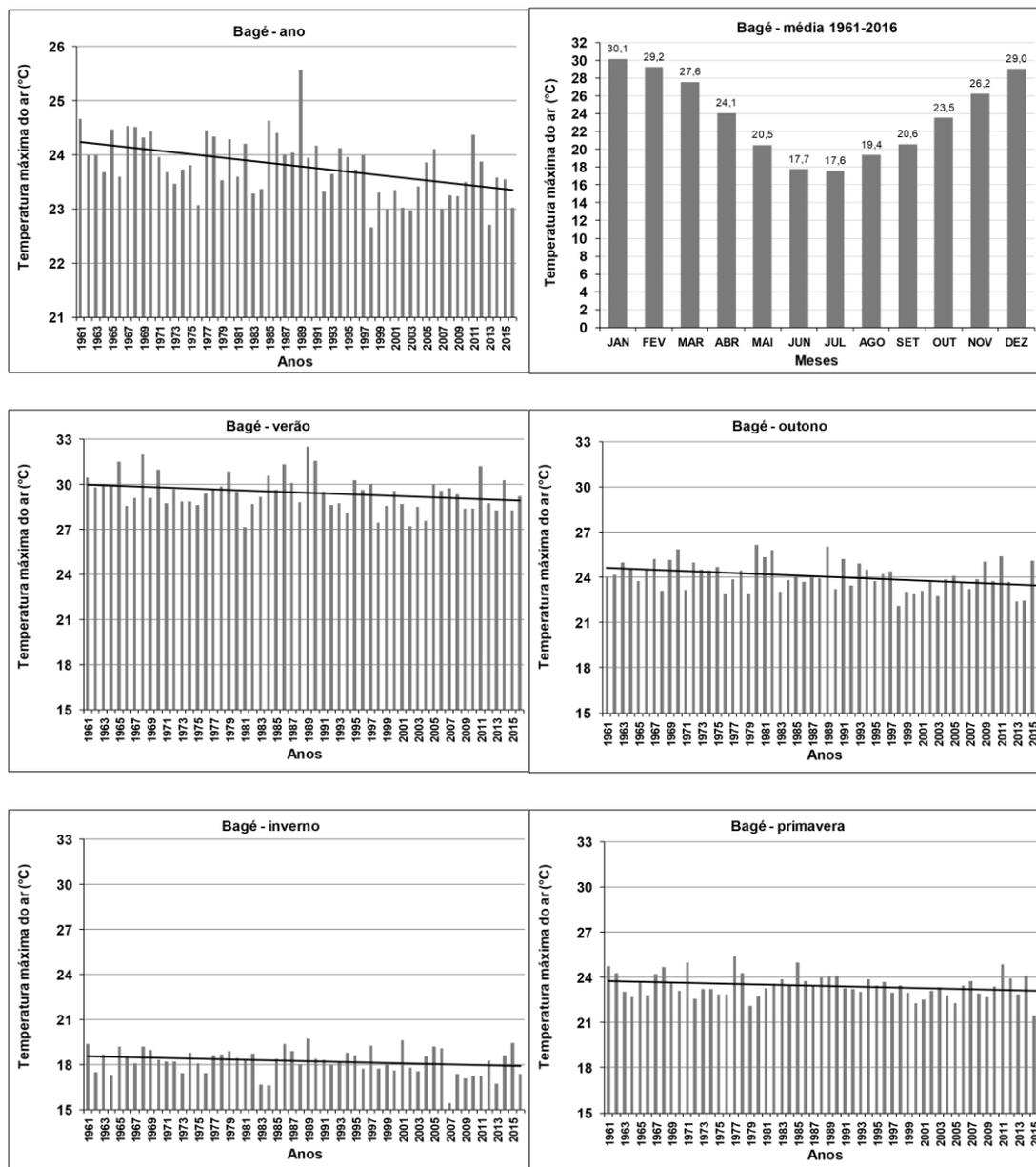
de 67%, no outono 73%, no inverno 76%, e na primavera, 70%.

A velocidade média do vento anual de Bagé, média do período de 1971 a 2016, foi de 3,1 m.s<sup>-1</sup>. Os anos mais ventosos se concentraram nas décadas de 1970 e 2000, com o maior valor médio do período registrado no ano de 1972 com 3,8 m.s<sup>-1</sup>, seguido pelos anos de 1974 e 2001 com 3,7 m.s<sup>-1</sup>; 1971 com 3,6 m.s<sup>-1</sup>; e, 1975, 1976 e 2004 com 3,5 m.s<sup>-1</sup>. Por outro lado, os anos menos ventosos ocorreram, predominantemente na década de 2010, nos anos de 2014, 2015 e 2016 com 2,6 m.s<sup>-1</sup>; e, 1988, 2012, 2013 e 1991 com 2,8 m.s<sup>-1</sup> (Figura 7a). Na análise mensal (Figura 7b) observa-se que a velocidade do vento, média do período de 1971 a 2016, foi maior nos meses de setembro, outubro e novembro (3,5 m.s<sup>-1</sup>), dezembro (3,4 m.s<sup>-1</sup>) e janeiro (3,3 m.s<sup>-1</sup>) em Bagé. E, menor nos meses de maio (2,5 m.s<sup>-1</sup>) e abril (2,6 m.s<sup>-1</sup>).

O caso anual e as quatro estações mostraram alta variabilidade interanual da velocidade do vento (Figuras 7c, 7d, 7e e 7f). No verão, a velocidade do vento, média de 1971 a 2016, foi de 3,3 m.s<sup>-1</sup>, no outono 2,7 m.s<sup>-1</sup>, no inverno 3,1 m.s<sup>-1</sup>, e na primavera 3,5 m.s<sup>-1</sup>.

O saldo de radiação anual calculado para Bagé foi de 9 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (média do período de 1961 a 2016) (Figura 8a). Na análise mensal (Figura 8b) observa-se que o saldo de radiação, no período de estudo foi maior nos meses de dezembro (15 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>), janeiro (14 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>) e novembro (13 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>), seguido por fevereiro e outubro (11 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>), decrescendo no outono, atingindo os menores valores de saldo de radiação em junho e julho (4 e 5 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>, respectivamente). No verão, o saldo de radiação foi de 13 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (Figura 8c), no outono 8 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (Figura 8d), no inverno 5 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (Figura

**Figura 4.** Temperatura máxima do ar (°C) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



8e), e na primavera, 10 MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (Figura 8f).

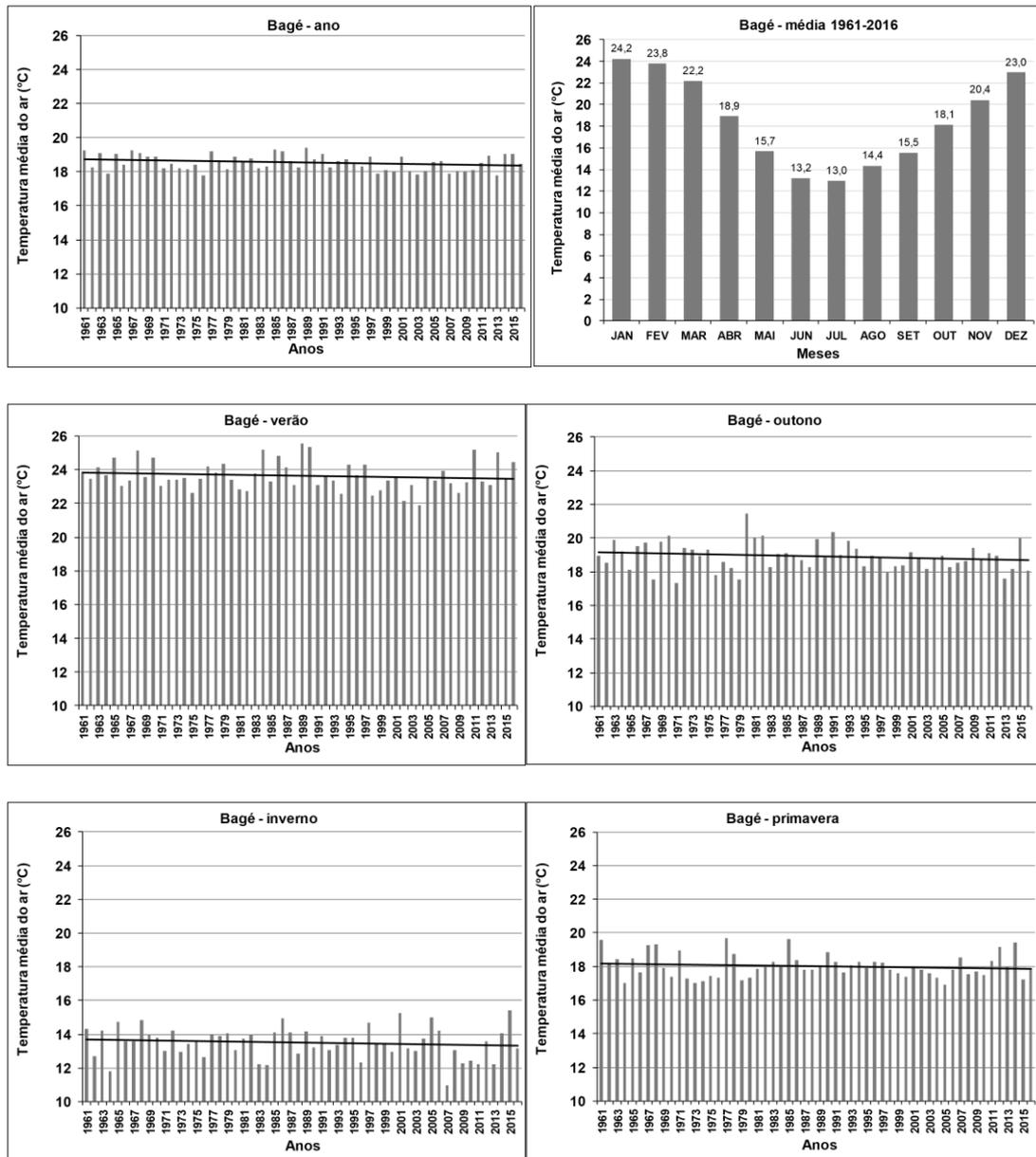
A evapotranspiração de referência total anual em Bagé foi de 1.155 mm (Figura 9a) na média de 1961 a 2016. Na análise mensal (Figura 9b) observa-se que a evapotranspiração de referência total, média do período de estudo, foi maior nos meses de janeiro e dezembro (168 mm e 167 mm, respectivamente), meses de maior demanda atmosférica, seguida por novembro (133 mm), fevereiro (117 mm), outubro (116 mm) e março (113 mm), decrescendo em abril (71 mm), atingindo as menores evapotranspirações nos meses de junho e julho (38 mm e 44 mm, respectivamente), voltando a aumentar nos meses seguintes.

A evapotranspiração de referência total no verão foi de 452 mm (Figura 9c), no outono 240 mm (Figura 9d), no inverno 139 mm (Figura 9e), e na primavera, 324 mm (Figura 9f), na média do período de 1961 a 2016.

A evapotranspiração real total anual de Bagé, média do período de 1961 a 2016, foi de 989 mm (Figura 10a). Na análise mensal (Figura 10b) observa-se que a evapotranspiração real, média do período, foi maior nos meses de janeiro (122 mm) e dezembro (121 mm), seguida por novembro (114 mm) e outubro (112 mm). A menor evapotranspiração real foi no mês de junho (37 mm). No verão, a evapotranspiração real total foi de 338 mm (Figura 10c), no outono 213 mm (Figura 10d), no inverno 137 mm (Figura 10e), e na primavera, 301 mm (Figura 10f).

O déficit hídrico anual de Bagé, média do período de 1961 a 2016, foi de 166 mm (Figura 11a), o equivalente a mais de um mês de precipitação pluvial daquela estação. Na análise mensal (Figura 11b) observa-se que o déficit hídrico médio do período foi maior nos meses de janeiro (46 mm) e dezembro (45 mm), seguido por fevereiro (22 mm),

**Figura 5.** Temperatura média do ar (°C) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



novembro (18 mm) e março (16 mm). E, que os déficits hídricos foram muito baixos ou inexistentes nos meses de abril a outubro, de menor demanda atmosférica.

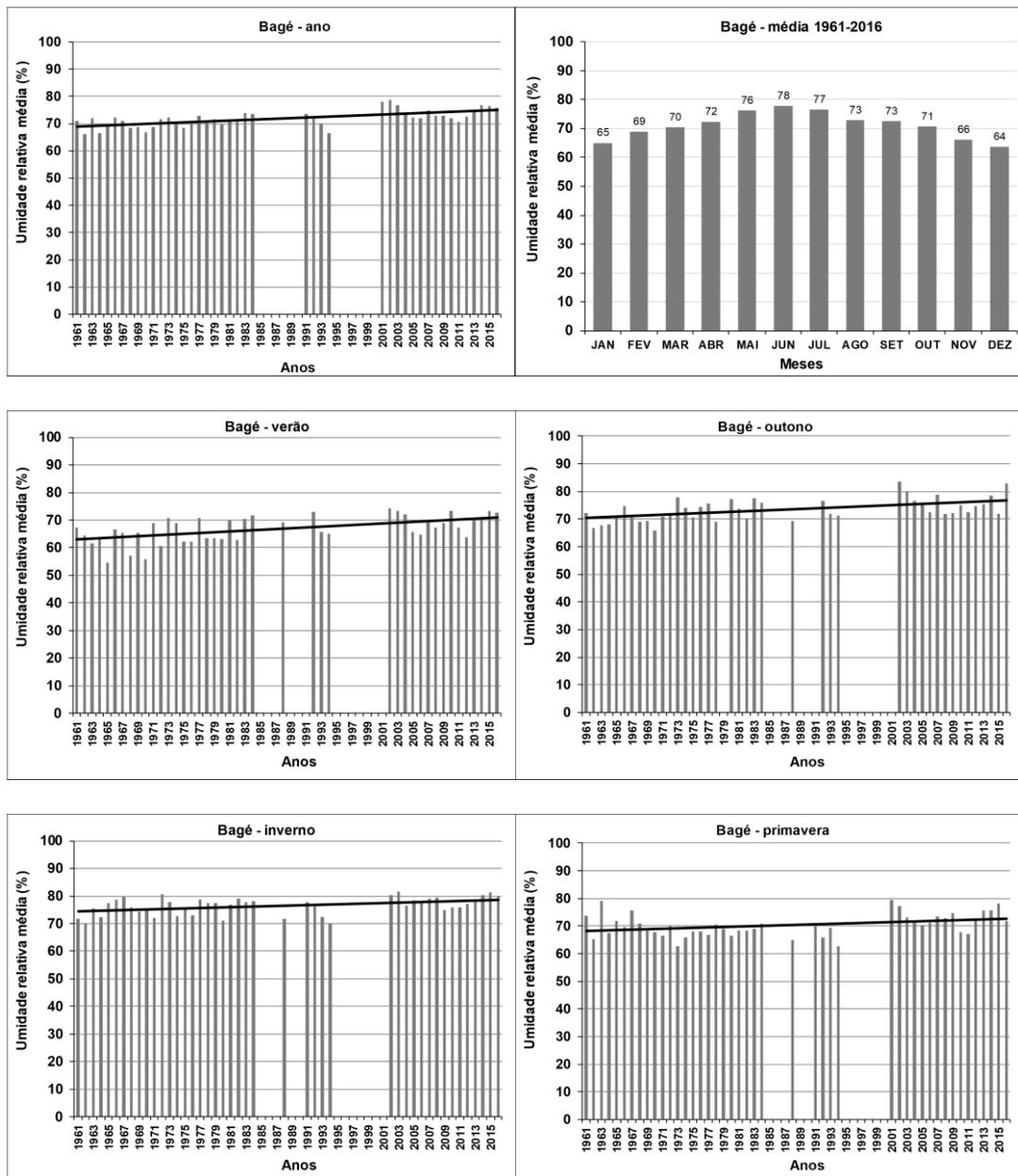
O déficit hídrico total no verão foi de 113 mm (Figura 11c), no outono 27 mm (Figura 11d), praticamente inexistente no inverno, 2 mm (Figura 11e), e na primavera, 24 mm (Figura 11f), na média do período de 1961 a 2016.

O excesso hídrico anual em Bagé foi de 529 mm na média de 1961 a 2016 (Figura 12a). Na análise mensal (Figura 12b) observa-se que o excesso hídrico médio do período foi maior nos meses de menor demanda atmosférica: julho (93 mm), junho (68 mm), setembro (66 mm), agosto (60 mm), abril (58 mm), maio (50 mm) e outubro (42 mm). E, os menores excessos hídricos foram nos meses de maior demanda da atmosfera: janeiro (5 mm), praticamente não houve

excesso; dezembro (15 mm), março (18 mm), novembro (24 mm) e fevereiro (29 mm).

O excesso hídrico total, média do período de 1961 a 2016, foi de 49 mm no verão (Figura 12c), 126 mm no outono (Figura 12d), 222 mm no inverno (Figura 12e), e 132 mm na primavera (Figura 12f). O maior excesso hídrico, já registrado no verão em Bagé, no período de estudo, ocorreu no El Niño de 1997-1998, com 361 mm de magnitude (Figura 12c). No outono, os excessos hídricos passaram de 500 mm nos anos de 2003 (555 mm) e 1992 (535 mm) (Figura 12d). Já no inverno, que, comumente, ocorrem os maiores excessos hídricos, os mesmos ultrapassaram os 500 mm em 1977 (579 mm), 1966 (529 mm), 1967 (525 mm) e 1972 (522 mm) (Figura 12e). Na primavera, foi registrado um excesso hídrico altíssimo em 2009 de 663 mm (Figura

**Figura 6.** Umidade relativa do ar média (mm) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



12f), devido a volumes de precipitação pluvial históricos em todo o Rio Grande do Sul. Na referida primavera em Bagé precipitou 972 mm, quando o normal (1961-2016) para esta estação do ano é 401 mm. Apenas no mês de novembro choveu 583 mm, quando o normal no período de estudo em Bagé é 117 mm. Além desta, apenas na primavera de 1963, o excesso hídrico foi maior do que 500 mm, sendo 581 mm (Figura 12f).

Praticamente, em apenas 40% dos anos estudados houve excesso hídrico no verão (e, por vezes, valores muito baixos) (Figura 12c), o que justifica, comumente a demanda hídrica dos cultivos não ser atendida pela oferta hídrica nesta estação do ano em Bagé, tendo em vista a alta demanda atmosférica nestes meses. Por outro lado, em apenas 10% dos anos não houve excesso hídrico no inver-

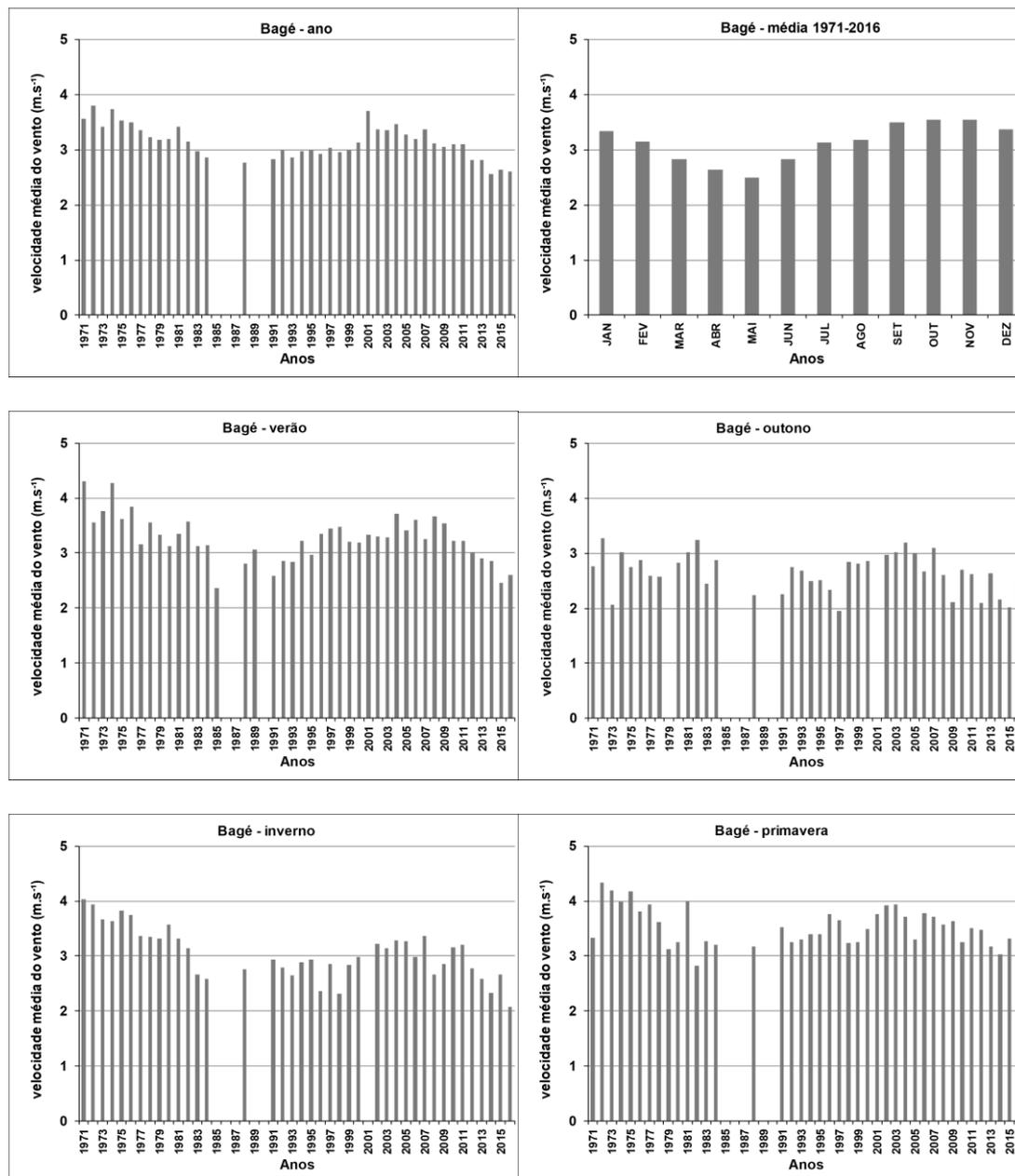
no em Bagé (Figura 12e).

O índice hídrico anual (média de 1961 a 2016) em Bagé foi de 0,90 (Figura 13a). Na análise mensal (Figura 13b) observa-se que o índice hídrico, médio do período de estudo, foi maior ou igual a 0,95 nos meses de maio a outubro, indicando a maior disponibilidade hídrica nestes meses. Já a menor disponibilidade hídrica foi verificada nos meses de maior demanda da atmosfera: janeiro e dezembro, com índices hídricos de 0,73 e 0,74, respectivamente.

O índice hídrico foi de 0,77 no verão (Figura 13c), 0,90 no outono (Figura 13d), 0,99 no inverno (Figura 13e), e 0,94 na primavera (Figura 13f), na média do período de 1961 a 2016.

Segundo Leivas (2003) o índice hídrico de 0,6 (no qual a evapotranspiração real equivale a 60% da evapotranspi-

**Figura 7.** Velocidade média do vento (m.s-1) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



ração de referência ou potencial), pode ser utilizado como ponto crítico de referência para a metade sul do Rio Grande do Sul, pois no caso de ser abaixo desse valor ocorre deficiência hídrica climática severa.

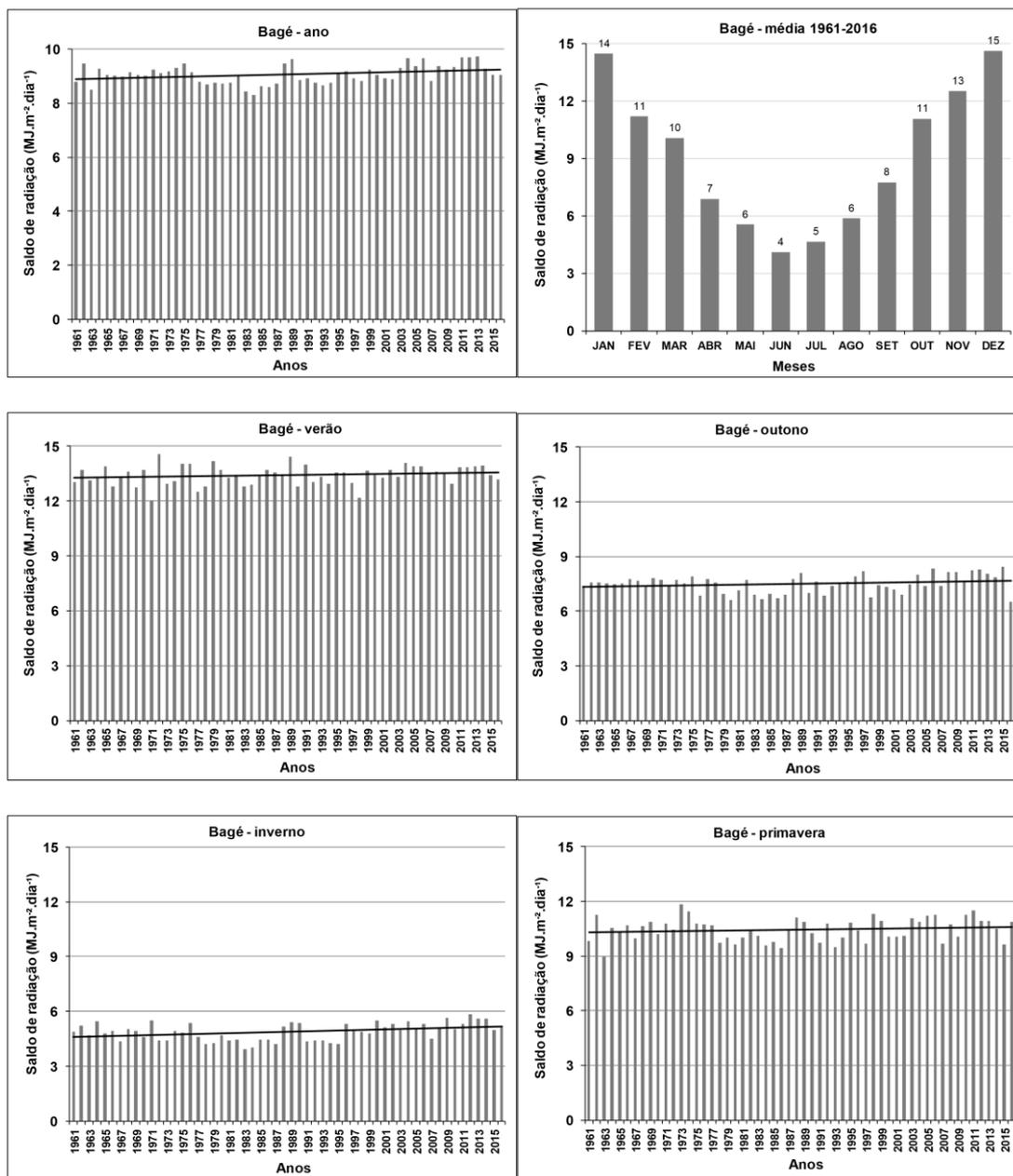
Os valores médios do período (1961-2016) tanto mensais, estacionais, como o anual, podem parecer altos, no entanto, se for observada a variabilidade interanual, verificam-se vários anos com índices hídricos abaixo do considerado crítico. As menores disponibilidades hídricas em Bagé, representadas pelos índices hídricos, foram verificadas no verão, com valores menores ou iguais a 0,6, nos anos de 1978, 1990, 1999, 2005, 2006, 2008, 2011 e 2012; e, menores ou iguais a 0,5 nos verões de 1965, 1968, 1972, 1985 e 1989 (Figura 13c).

A disponibilidade hídrica mensal em Bagé é preocupan-

te. No período de 1961-2016, foi observada alta frequência de índices hídricos baixos nos meses de verão, justamente no período em que se concentram os cultivos de primavera-verão, em que uma adequada disponibilidade hídrica é fundamental para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas. Nestes 56 anos, foram verificadas 20 ocorrências de índices hídricos menores ou iguais a 0,6 em dezembro (36% dos anos), 20 em janeiro (36 % dos anos) e 10 em fevereiro (18 % dos anos). Ou seja, a cada dez anos, três a quatro safras podem apresentar quebras/prejuízos em Bagé, devido às baixas disponibilidades hídricas nos meses de dezembro e janeiro.

Além disso, na análise mensal, foram constatados períodos prolongados de baixos índices hídricos em Bagé, configurando períodos de estiagens, com valores menores ou

**Figura 8.** Saldo de radiação ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



iguais a 0,6 por quatro meses consecutivos de novembro de 1971 a fevereiro de 1972, ou por três meses consecutivos nas estiagens de dezembro de 1967 a fevereiro de 1968; dezembro de 1984 a fevereiro de 1985; e, de novembro de 2010 a janeiro de 2011.

Por outro lado, no inverno, em que são frequentes os excessos hídricos, na quase totalidade dos anos o índice hídrico é igual a 1,0 ou próximo deste valor, apenas nos anos de 1962 e 1989 o índice hídrico no inverno foi menor do que 0,9 (Figura 13e). No inverno, é menor a insolação, e, conseqüentemente, menor a evapotranspiração de referência, sendo frequente a evapotranspiração real se aproximar ou até mesmo, se igualar à evapotranspiração de referência nesta época do ano, resultando em altos índices hídricos.

Na primavera a disponibilidade hídrica é maior do que

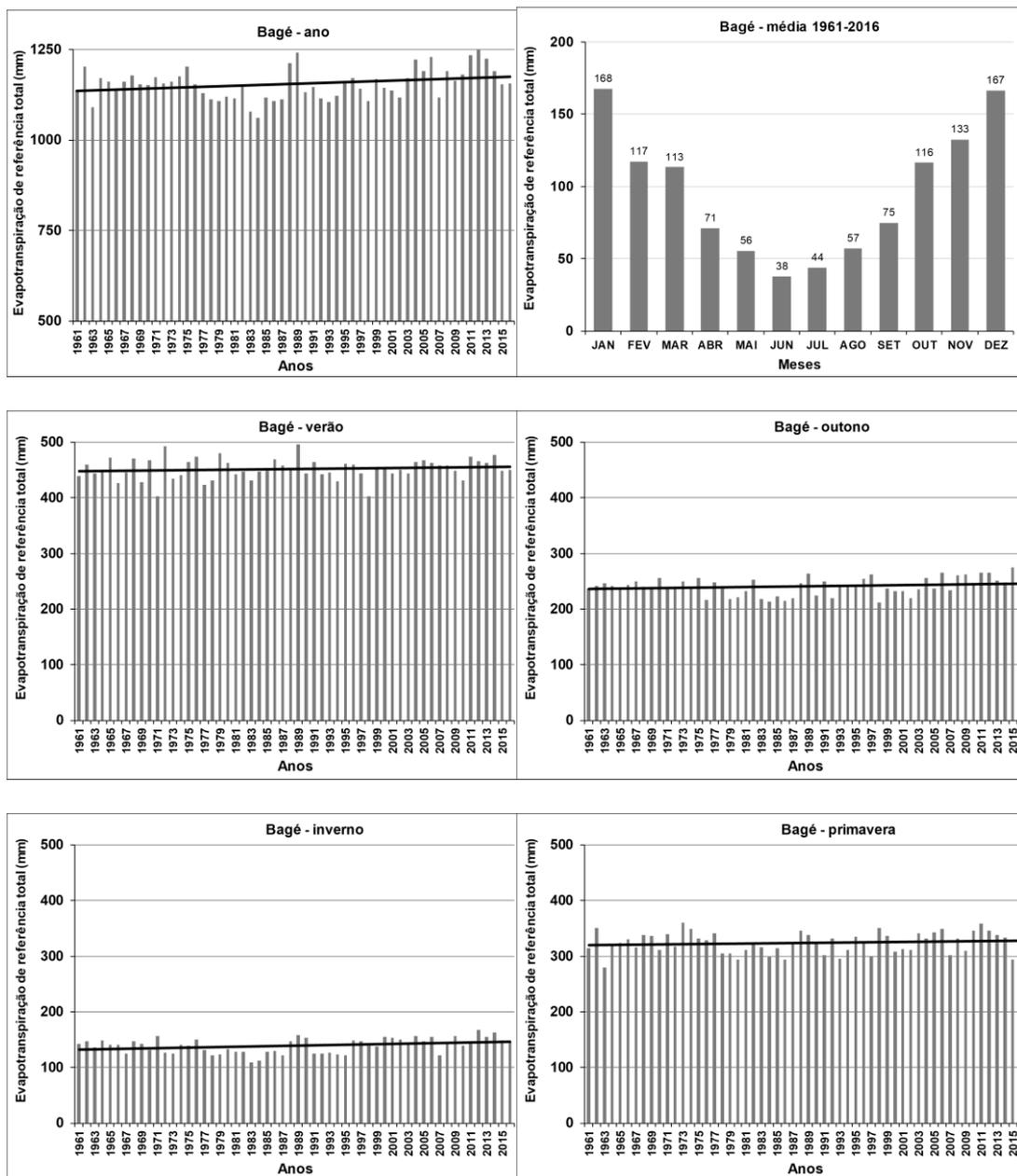
no outono, visto que apenas 5% das primaveras apresentaram índices hídricos menores ou iguais a 0,8 (Figura 13f), contra 21% dos outonos (Figura 13d). Isto porque em Bagé, em média, as primaveras são mais chuvosas do que os outonos, e os outonos são mais quentes (noites e dias) do que as primaveras, o que aumenta a demanda atmosférica no outono.

### Conclusões

Considerando os dados climatológicos de Bagé, RS, conclui-se que:

A precipitação pluvial anual é 1.518 mm e a média mensal é 127 mm, sendo maior em outubro (143 mm) e menor em dezembro (114 mm).

**Figura 9.** Evapotranspiração de referência total (mm) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



A insolação anual é 2.233 horas e a média mensal é 186 horas, sendo maior em dezembro (253 horas) e menor em junho, com 124 horas de brilho solar.

As médias anuais de temperatura do ar (mínima, média e máxima) são 13,3; 18,5 e 23,8°C, com as maiores temperaturas em janeiro (18,4; 24,2 e 30,1°C) e menores em julho (8,3; 13,0 e 17,6°C), respectivamente.

A umidade relativa do ar anual é 72%, variando de 64% em dezembro a 78% em junho.

A velocidade do vento anual é 3,1 m.s<sup>-1</sup>, é maior nos meses de setembro, outubro e novembro (3,5 m.s<sup>-1</sup>) e menor em maio (2,5 m.s<sup>-1</sup>).

O saldo de radiação anual calculado para Bagé é 9 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e varia de 4 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> em junho a 15 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> em dezembro.

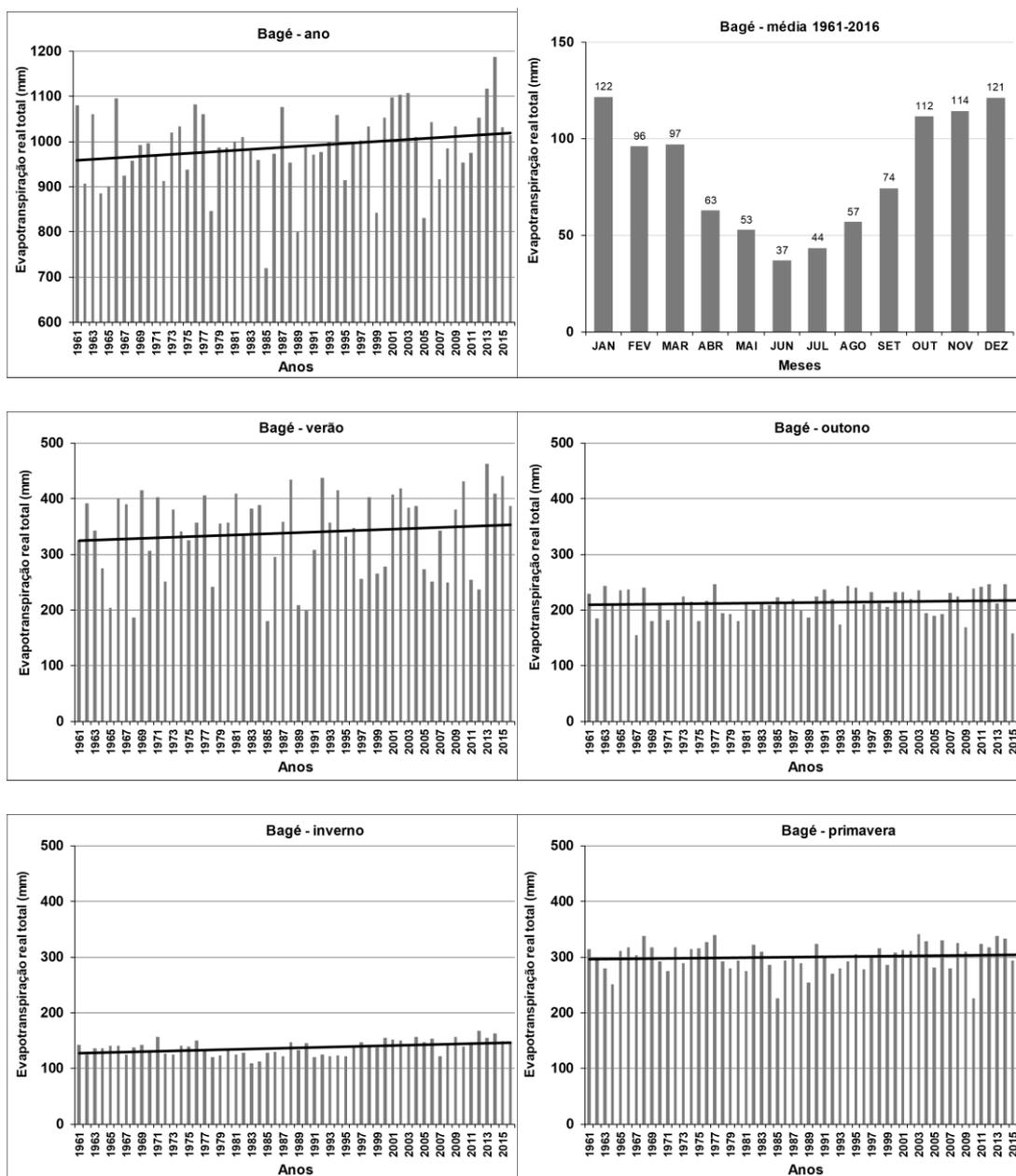
A evapotranspiração de referência anual é 1.155 mm, é maior de outubro a março, com máximos em janeiro (168 mm) e dezembro (167 mm), e mínimo em junho (38 mm).

A evapotranspiração real anual é 989 mm, chegando a 122 mm em janeiro e 121 mm em dezembro e apenas 37 mm em junho.

O déficit hídrico anual médio é 166 mm, é maior de novembro (18 mm) a março (16 mm), atingindo em média, 46 mm em janeiro e 45 mm dezembro, nos meses de maior demanda atmosférica. Os déficits são muito baixos ou inexistentes nos meses de abril a outubro.

O excesso hídrico anual médio é 529 mm. Na média do período estudado, o excesso hídrico é alto de abril (58 mm) a outubro (42 mm), sendo o máximo em julho (93 mm), e baixo de novembro (24 mm) a março (18 mm), praticamen-

**Figura 10.** Evapotranspiração real total (mm) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



te sem excesso em janeiro (5 mm).

O índice hídrico anual é 0,90, é maior ou igual a 0,95 de maio a outubro, e é 0,73 em janeiro e 0,74 em dezembro, indicando a menor disponibilidade hídrica nestes meses.

Há alta frequência de índices hídricos baixos nos meses de verão. De novembro a março, há períodos prolongados de estiagens, com valores de índices hídricos menores ou iguais a 0,6 por três e até quatro meses consecutivos.

Na primavera a disponibilidade hídrica é maior do que outono, pois em média, em Bagé, as primaveras são mais chuvosas do que outonos, e, os outonos são mais quentes (noites e dias) do que as primaveras, o que aumenta a demanda atmosférica no outono.

Todas variáveis estudadas apresentam alta variabilidade interanual tanto no ano quanto nas quatro estações.

## Referências

- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R.; CARDOSO, L. S.; SILVA, M. I. G. DA. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e Região de Abrangência)**. Porto Alegre : UFRGS, 2003.78p.
- BURMAN, R.; POCHOP, L. O. **Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data**. New York : Elsevier, 1994. Cap. 8: Comparisons and example calculations, p. 191-213.
- FONTANA, D. C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 87-91, 1996.
- INCR - INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Relatório ambiental do projeto de assentamento Estância do Fundo - Candiota/RS**. Porto Alegre: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2007. 88p. (Relatório Técnico).
- LEIVAS, J. F. **Climatologia das condições hídricas e análise de risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul**. 2003. 225f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

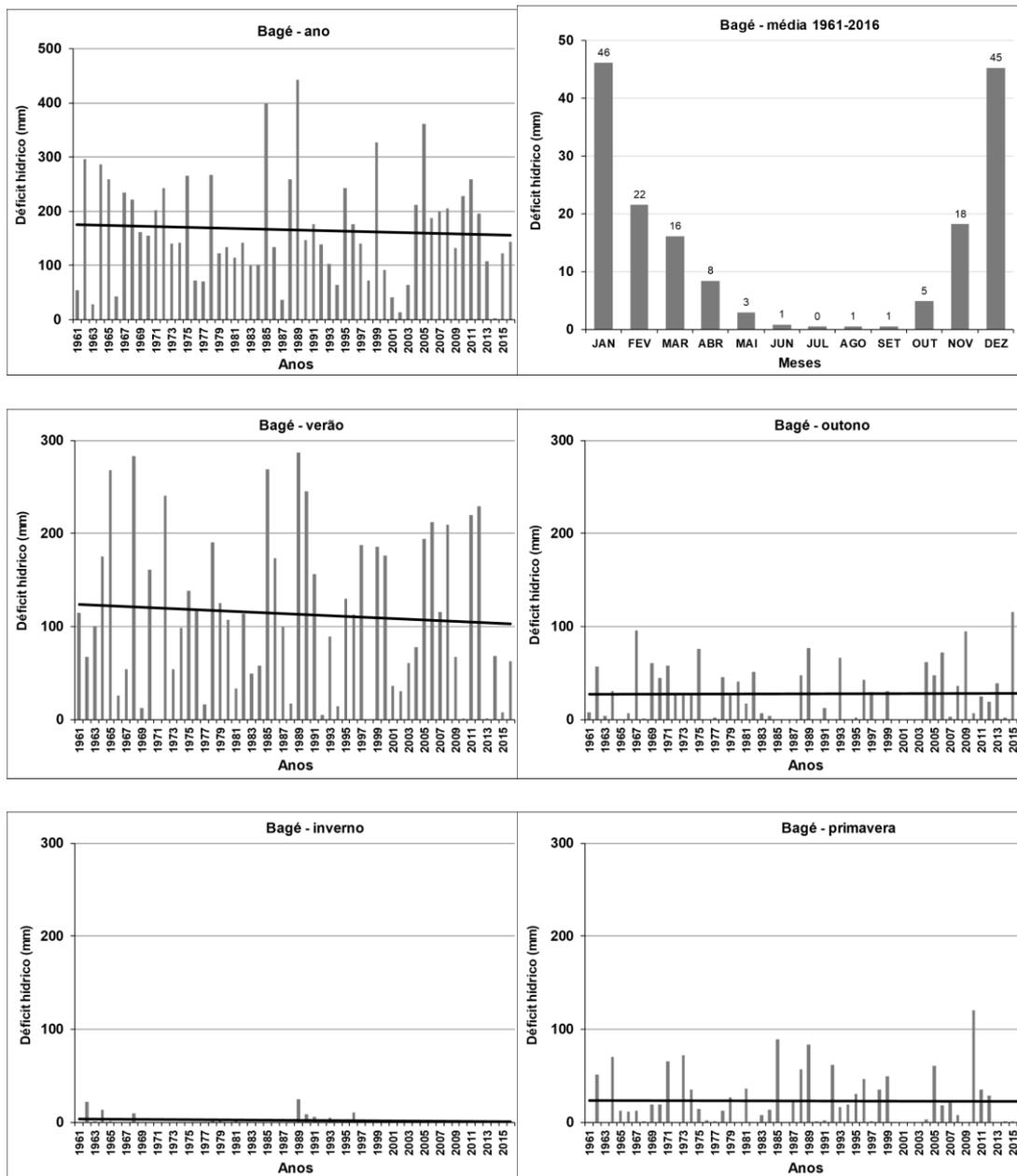
PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, Karachi, v. 100, p. 81-92, 1972.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, Washington, v. 38, p. 55-94, 1948.

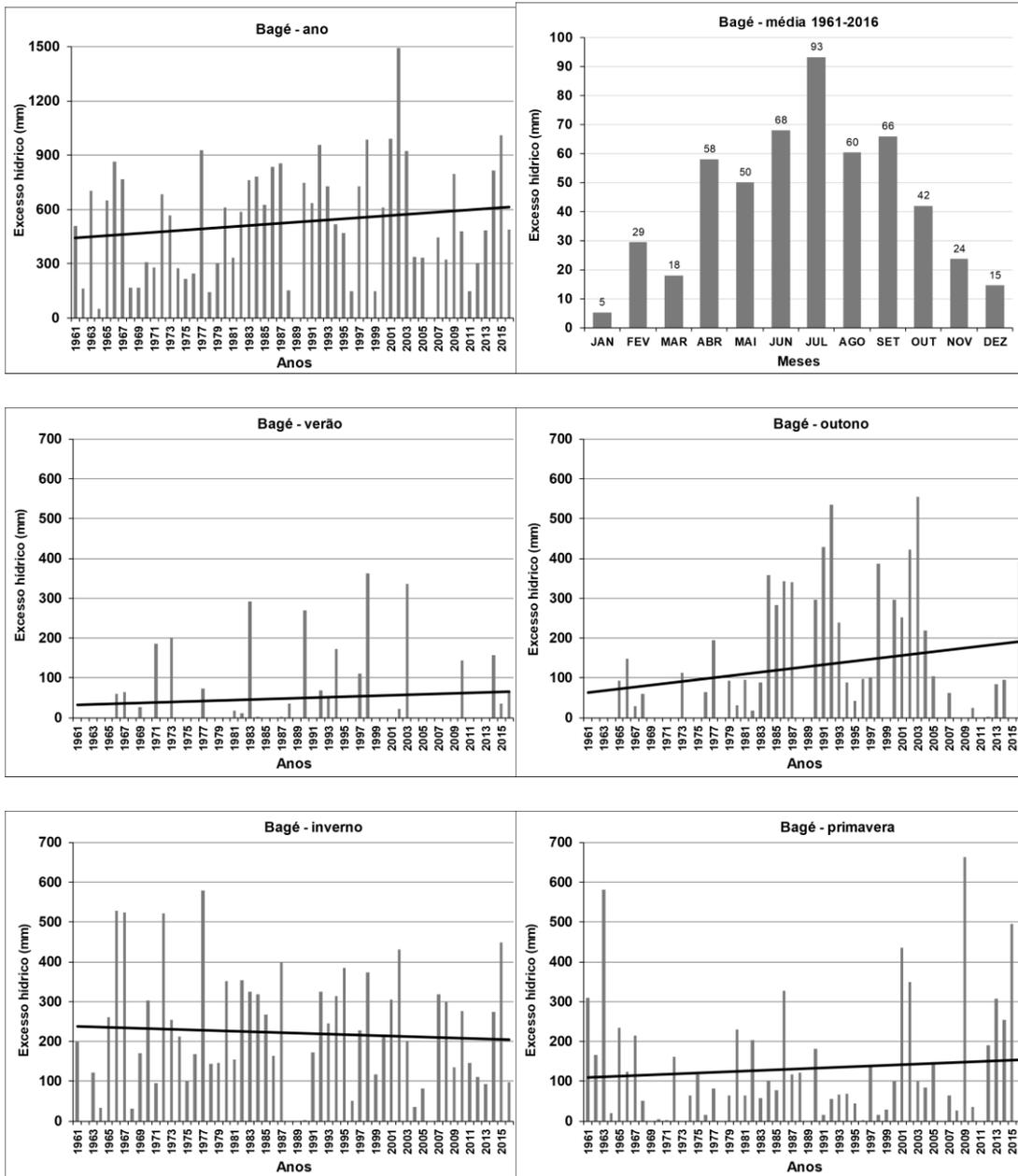
THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. *Publication of Climatology*. New Jersey, v. 8, 1955. 104p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa: UFV, 2000. 448p.

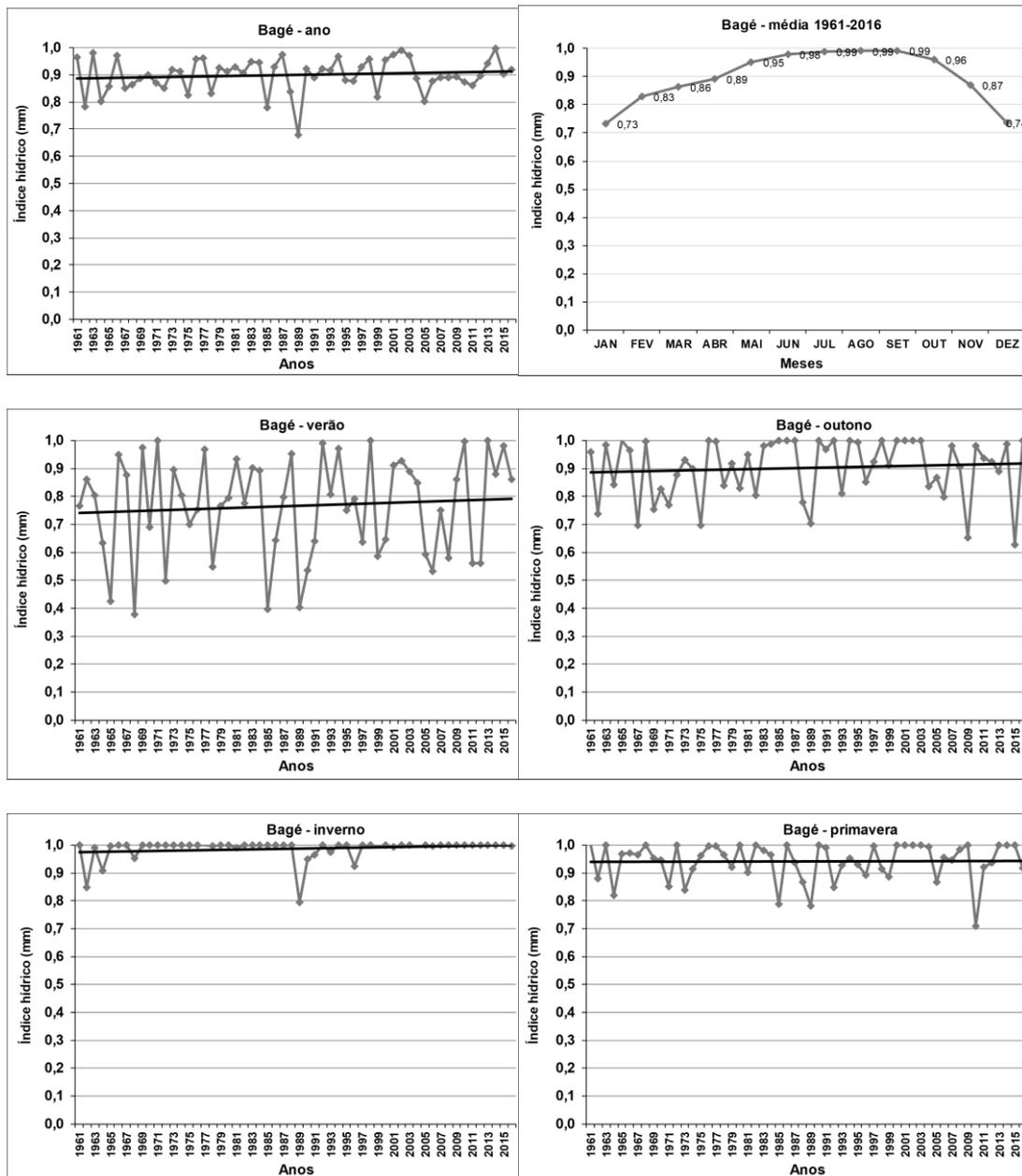
**Figura 11.** Déficit hídrico (mm) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



**Figura 12.** Excesso hídrico (mm) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



**Figura 13.** Índice hídrico (mm) em Bagé (a) anual, (b) mensal, (c) verão, (d) outono, (e) inverno e (f) primavera. Período de 1961 a 2016.



**REFERENCIAÇÃO**

CORDEIRO, A. P. A.; ALVES, R. C. M.; ROCHA, M. B. Caracterização agroclimática de Bagé, RS. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.27, n.2, p.293-309, dez 2019.



# Agroclimatic characterization of Bagé, RS, Brazil

Ana Paula Assumpção Cordeiro<sup>1(\*)</sup>, Rita de Cássia Marques Alves<sup>1</sup> and Maurício Barbosa da Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), Av. Bento Gonçalves, 9500, setor 5, prédio 44202, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS, Brazil. E-mails: apacufrgs@yahoo.com.br, rita.cma@terra.com.br and mauricio.mbr@gmail.com

(\*)Corresponding author.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 12 April 2019

Accepted 11 March 2020

### Index terms:

variability  
meteorological variables  
climate  
water balance

## ABSTRACT

This study aimed the agroclimatic characterization of Bagé, Rio Grande do Sul, Brazil through the meteorological variables, estimated and derived from the serial water balance from 1961 to 2016. The monthly water balance was calculated by Thornthwaite-Mather (1955) and the reference evapotranspiration, by Priestley & Taylor (1972) for 100 mm available water capacity. The annual pluvial precipitation is 1,518 mm and the monthly is 127 mm. The annual sunshine is 2,233 hours and the monthly is 186 hours. Annual mean air temperatures (minimum, average and maximum) are 13.3, 18.5 and 23.8 °C, respectively. The annual air humidity is 72%. The annual wind speed is 3.1 m.s<sup>-1</sup>. The annual radiation balance is 9 MJ.m<sup>2</sup>. day<sup>-1</sup>. The annual reference evapotranspiration is 1,155 mm and real is 989 mm. Water deficits are minimum from April to October and maximum on January and December, when water indices are minimum. Water excess is maximum on July and minimum on January. From November to March, there is a high frequency of low water indices. In the spring, water availability is higher than in the autumn, because the springs are rainier and the autumns are warmer. All variables show high interannual variability.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

## CITATION

CORDEIRO, A. P. A.; ALVES, R. C. M.; ROCHA, M. B. Caracterização agroclimática de Bagé, RS. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.27, n.2, p.293-309, dez 2019.