**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização
edafoclimática referente à região de Santa Maria, RS**

Tanira Marinho Fabres

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2009**

Tanira Marinho Fabres
Licenciada em Biologia

**Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização
edafoclimática referente à região de Santa Maria, RS**

Orientador:

Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2009**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Fabres, Tanira Marinho

Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização edafoclimática referente à região de Santa Maria, RS / Tanira Marinho Fabres. - - Piracicaba, 2009.
127 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1. Água do solo 2. Balanço hídrico 3. Climatologia 4. Edafologia 5. Evapotranspiração
I. Título

630.2516

CDD

F123c

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais Martin e Branca,

Dedico

Ofereço este trabalho ao Professor Dr. Durval Dourado Neto, que me deu suporte e me acompanhou com tamanha ênfase durante minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

- (i) ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq) da Universidade de São Paulo (Usp), ao Instituto Federal Farroupilha (Campus Alegrete, Distrito de Passo Novo, Alegrete, RS), e ao Prof. Élcio Antonio Paim (Ex-Diretor da Escola Agrotécnica Federal de Sertão - EAFS), que viabilizaram a realização do curso de Pós-Graduação em nível de Mestrado, e
- (ii) aos professores Dr. Paulo Augusto Manfron (UFSM), Dr. Pedro Jacob Christoffoleti (Usp), Dr. Durval Dourado Neto (Usp), Dr. João Alexio Scarpate Filho (Usp), Dr. Ricardo Kluge (Usp), Dr. José Laércio Favarin (Usp) e Dr. Paulo César de Tavares Melo (Usp) que, por intermédio das disciplinas oferecidas e sugestões valiosas, contribuíram para melhoria da minha formação acadêmica e profissional.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	13
1 INTRODUÇÃO	24
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 Fundamentos do balanço hídrico	26
2.2 Análise e determinação dos componentes do balanço hídrico	26
2.3 Balanço hídrico climático	27
2.4 Evapotranspiração potencial de referência	29
2.5 Saldo, negativo acumulado e armazenamento de água no solo	30
2.6 Evapotranspiração real e deficiência e excedente hídrico	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 Local e série histórica de temperatura e de chuva	32
3.2 Capacidade de água disponível	33
3.3 Classificação climática de köppen	33
3.4 Classificação climática de thornthwaite.....	39
3.5 Caracterização edafoclimática	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Balanço hídrico cíclico climático.....	51
4.2 Evapotranspiração de referência	53
4.3 Armazenamento de água no solo	57
4.4 Evapotranspiração real	61
4.5 Deficiência hídrica	65
4.6 Excedente hídrico.....	70
4.7 Classificação climática segundo Köppen.....	74
4.8 Classificação climática segundo Thornthwaite.....	78
4.9 Fator de disponibilidade hídrica e profundidade efetiva do sistema radicular	92
4.10 Caracterização edafoclimática	93

	7
4.11 Considerações finais	97
5 CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS	99
ANEXOS	100

RESUMO

Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização edafoclimática referente à região de Santa Maria, RS

O presente trabalho foi desenvolvido com objetivo de analisar a classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite (comparando os valores de armazenamento de água no solo, evapotranspiração real, deficiência hídrica e excedente hídrico para realização do balanço hídrico cíclico mensal), e de propor uma caracterização edafoclimática referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS utilizando uma série histórica de 35 anos (de 1969 a 2003). De acordo com os resultados, as seguintes conclusões podem ser apresentadas: (a) a classificação climática segundo Thornthwaite ou Köppen pode ser feita com base na classe mais freqüente ou utilizando os valores médios de temperatura e de chuva e a capacidade de água disponível de 50 mm; (b) classificação climática segundo Thornthwaite: A r B'3 a' (classe mais freqüente) ou B4 r B'3 a' (utilizando os valores médios de temperatura e de chuva); (c) classificação climática segundo Köppen: Cfga (classe mais freqüente) ou Cwga (utilizando os valores médios de temperatura e de chuva); e (d) A_{29/42S,53/42W,95,35,11,7,27,2,20,3,5,5,471,1/5,1235,2672,1802,20,953,887,915,50}: caracterização edafoclimática proposta. Isso significa que a evapotranspiração real é pelo menos 90% da evapotranspiração potencial de referência (classe A de disponibilidade hídrica), a localização geográfica é de 29°42' (latitude sul), 53°42' (longitude oeste) e altitude de 95 m, e que a série histórica apresenta 35 anos, sendo as temperaturas mínima e máxima mensal de 11°C (julho) e 27°C (fevereiro), a temperatura média anual de 20°C, respectivamente, com coeficiente de variação de 3%, e as chuvas mínima e máxima mensal de 5 mm (maio) e 471 mm (janeiro/maio), as chuvas mínima, máxima e média anual de 1235 mm, 2672 mm e 1802 mm, respectivamente, com coeficiente de variação de 20%, valores médios anuais de evapotranspiração potencial de referência, evapotranspiração real e excedente hídrico de 953 mm, 887 mm e 915 mm, respectivamente, adotando uma capacidade de água disponível de 50 mm.

Palavras-chave: Armazenamento de água no solo; Balanço hídrico; Thornthwaite e Mather

ABSTRACT

Climatic classification by Köppen and Thornthwaite and edaphoclimatic characterization related to Santa Maria region, State of Rio Grande do Sul, Brazil

The present work was developed with the purpose of analyzing the climatic classification by Köppen and Thornthwaite (comparing the values of soil water holding, actual evapotranspiration, water deficit and water excess for cyclic water balance using monthly data), and of proposing an edaphoclimatic characterization related to the mesoclimatic region of Santa Maria, State of Rio Grande do Sul, Brazil, using a historical series of 35 years (from 1969 to 2003). According to the results, the following conclusions can be presented: (a) the climatic classification by Thornthwaite or Köppen can be done based on the modal class or using the mean values of air temperature and rainfall and the soil water holding capacity of 50 mm; (b) the climatic classification by Thornthwaite is A r B'3 a' (modal class) or B4 r B'3 a' (using the mean values of temperature and rainfall); (c) the climatic classification by Köppen is Cfga (modal class) or Cwga (using the mean values of temperature and rainfall); and (d) A₂₉/42S,53/42W,95,35,11,7,27,2,20,3,5,5,471,1/5,1235,2672,1802,20,953,887,915,50 is the proposed edaphoclimatic characterization. It means the actual evapotranspiration is at least 90% of the potential evapotranspiration (class A of soil water availability), the geographic localization is 29°42' South (latitude), 53°42' West (longitude) and altitude of 95 m, using a historic series of 35 years, being monthly minimum and maximum air temperatures of 11°C (July) and 27°C (February), the annual mean air temperature of 20°C, with coefficient of variation of 3%, and the monthly minimum and maximum rainfall of 5 mm (May) and 471 mm (January/May), the annual minimum, maximum and mean rainfall of 1235 mm, 2672 mm and 1802 mm, respectively, with coefficient of variation of 20%, and the annual mean values of potential evapotranspiration, actual evapotranspiration and water excess of 953 mm, 887 mm and 915 mm, respectively, using a soil water holding capacity of 50 mm.

Keywords: Soil water holding; Water balance; Thornthwaite and Mather

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Valores médios mensais de temperatura do ar (T , °C), referente à série de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS	32
Figura 2 -	Valores totais mensais de chuva (P , mm.mês ⁻¹), referente à série de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS	32
Figura 3 -	Balanço hídrico cíclico (THORNTHWAITE; MATHER, 1955). Santa Maria, RS (latitude: 29°42'S). Grama batatais (<i>Paspalum notatum</i>). Capacidade de água disponível: 50 mm. Evapotranspiração potencial de referência (ETo , mm.mês ⁻¹): Thornthwaite (1948). Chuva (C , mm.mês ⁻¹). Evapotranspiração real (ETr , mm.mês ⁻¹). Deficiência hídrica (DH , mm.mês ⁻¹). Excedente hídrico (EH , mm.mês ⁻¹). Classificação climática, utilizando os valores médios de temperatura e de chuva, segundo Thornthwaite (1948): B4 r B'3 a'; e segundo Köppen (1931): Cwga	52
Figura 4 -	Evapotranspiração potencial (ETo , mm.mês ⁻¹), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003), na região mesoclimática de Santa Maria, RS	54
Figura 5 -	Evapotranspiração potencial (ETo , mm.mês ⁻¹), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003), na região mesoclimática de Santa Maria, RS	55
Figura 6 -	Evapotranspiração potencial (ETo , mm.mês ⁻¹), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003), na região mesoclimática de Santa Maria, RS	56
Figura 7 -	Armazenamento de água no solo (Arm , mm), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD , mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	58
Figura 8 -	Armazenamento de água no solo (Arm , mm), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD , mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	59

Figura 9 -	Armazenamento de água no solo (Arm, mm), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	60
Figura 10 -	Evapotranspiração real (ETr, mm.mês ⁻¹), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	62
Figura 11 -	Evapotranspiração real (ETr, mm.mês ⁻¹), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	63
Figura 12 -	Evapotranspiração real (ETr, mm.mês ⁻¹), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	64
Figura 13 -	Deficiência hídrica (DH, mm.mês ⁻¹), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	67
Figura 14 -	Deficiência hídrica (DH, mm.mês ⁻¹), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	68
Figura 15 -	Deficiência hídrica (DH, mm.mês ⁻¹), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	69

Figura 16 -	Excedente hídrico (EH, mm.mês ⁻¹), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	71
Figura 17 -	Excedente hídrico (EH, mm.mês ⁻¹), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	72
Figura 18 -	Excedente hídrico (EH, mm.mês ⁻¹), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS	73
Figura 19 -	Número de classes de clima segundo a classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 anos	77
Figura 20 -	Número de classes de clima segundo a classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Thornthwaite (1948) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 anos	92
Figura 21 -	Valores médios de evapotranspiração real (ET _r , mm.ano ⁻¹) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS	95
Figura 22 -	Valores médios de deficiência hídrica (DH, mm.ano ⁻¹) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS	96
Figura 23 -	Valores médios de excedente hídrico (EH, mm.ano ⁻¹) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Capacidade de água disponível (CAD, mm) em função do fator de disponibilidade hídrica (β , mm.cm ⁻¹) e da Profundidade efetiva do sistema radicular (Z, cm)	33
Tabela 2 -	Clima tipo A: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)	34
Tabela 3 -	Clima tipo B: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)	35
Tabela 4 -	Clima tipo C: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)	38
Tabela 5 -	Clima tipo D: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)	39
Tabela 6 -	Clima tipo E: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)	39
Tabela 7 -	Estações de verão e de inverno em função do hemisfério terrestre segundo Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)	39
Tabela 8 -	Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo A. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j-ésimo mês (DHj, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)	40
Tabela 9 -	Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo B4. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j-ésimo mês (DHj, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)	41
Tabela 10 -	Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo B3. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j-ésimo mês (DHj, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)	42

Tabela 11 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo B2. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j-ésimo mês (DHj, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)	43
Tabela 12 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo B1. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j-ésimo mês (DHj, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)	44
Tabela 13 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo C2. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j-ésimo mês (DHj, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)	45
Tabela 14 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo C1. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j-ésimo mês (DHj, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)	46
Tabela 15 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo D. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j-ésimo mês (DHj, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)	47
Tabela 16 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo E. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j-ésimo mês (DHj, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)	48
Tabela 17 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Sufixos (A', B'4, B'3, B'2, B'1, C'2, C'1 e D') referentes à evapotranspiração de referência total anual (ET _{OT} , mm.ano ⁻¹) (DOURADO NETO, 1996)	49
Tabela 18 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Sufixos (a', b'4, b'3, b'2, b'1, c'2, c'1 e d') referentes ao índice TE (TE, %) (DOURADO NETO, 1996)	49

Tabela 19 -	Classe de disponibilidade hídrica (cDH)	50
Tabela 20 -	Valores de temperatura média mensal (T, °C), evapotranspiração potencial de referência (ET _o , mm.mês ⁻¹), chuva (C, mm.mês ⁻¹), armazenamento de água no solo (Arm, mm), evapotranspiração real (ET _r , mm.mês ⁻¹), deficiência hídrica (DH, mm.mês ⁻¹) e excedente hídrico (EH, mm.mês ⁻¹). Balanço hídrico cíclico (THORNTHWAITTE; MATHER, 1955). Santa Maria, RS (latitude: 29°42'S). Grama batatais (<i>Paspalum notatum</i>). Capacidade de água disponível: 50 mm. Evapotranspiração potencial de referência: Thornthwaite (1948). Classificação climática, utilizando os valores médios de temperatura e de chuva, segundo Thornthwaite (1948): B4 r B'3 a'; e segundo Köppen (1931): Cwga	51
Tabela 21 -	Classificação climática (série histórica de 35 anos: 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1 ano	74
Tabela 22 -	Análise dos sistemas de classificação climática proposto por Köppen (1931) referente à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1 ano	75
Tabela 23 -	Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 5 anos	75
Tabela 24 -	Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 10 anos	76
Tabela 25 -	Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 15 anos	76
Tabela 26 -	Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 20 anos	76

Tabela 27 - Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 25 anos	77
Tabela 28 - Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 30 anos	77
Tabela 29 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 25 mm	79
Tabela 30 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm	80
Tabela 31 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 75 mm	81

Tabela 32 -	Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_0 , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 100 mm	82
Tabela 33 -	Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_0 , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 150 mm	83
Tabela 34 -	Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_0 , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 200 mm	84
Tabela 35 -	Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 25 mm..	85
Tabela 36 -	Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm..	85

Tabela 37 -	Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 75 mm..	86
Tabela 38 -	Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 100 mm.....	87
Tabela 39 -	Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 150 mm	88
Tabela 40 -	Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 200 mm	89
Tabela 41 -	Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 5 anos	89
Tabela 42 -	Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 10 anos	90

- Tabela 43 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 15 anos 90
- Tabela 44 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 20 anos 91
- Tabela 45 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 25 anos 91

Tabela 46 -	Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_0 , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 30 anos	91
Tabela 47 -	Valores anuais mínimos, médios e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_0 , mm.ano^{-1}) e chuva (C , mm.ano^{-1}), e de evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD , mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS	94
Tabela 48 -	Classe de disponibilidade hídrica (cDH), número de anos (Sh , anos) da série histórica, valores anuais mínimo (t_m , $^{\circ}\text{C}$), máximo (T_m , $^{\circ}\text{C}$) e médio (T , $^{\circ}\text{C}$), e coeficiente de variação (CVT , %) da temperatura do ar e valores anuais mínimo (c_m , mm.ano^{-1}), máximo (C_m , mm.ano^{-1}) e médio (c , mm.ano^{-1}), e coeficiente de variação (CVC , %) da chuva, e valores médios anuais de evapotranspiração potencial de referência (ET_0 , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD , mm) de 50 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS.....	95
Tabela 49 -	Valores médios mensais de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), referente à série de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS	101
Tabela 50 -	Valores médios mensais de chuva (mm.mês^{-1}) do ar. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. Série histórica: 1969 a 2003.....	102
Tabela 51 -	Valores estimados mensais de evapotranspiração de referência (mm.mês^{-1}) segundo Thornthwaite (1948). Santa Maria, RS	103

Tabela 52 -	Valores estimados mensais de armazenamento de água no solo (mm). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 25 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	104
Tabela 53 -	Valores estimados mensais de armazenamento de água no solo (mm). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	105
Tabela 54 -	Valores estimados mensais de armazenamento de água no solo (mm). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 75 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	106
Tabela 55 -	Valores estimados mensais de armazenamento de água no solo (mm). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 100 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	107
Tabela 56 -	Valores estimados mensais de armazenamento de água no solo (mm). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 150 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	108
Tabela 57 -	Valores estimados mensais de armazenamento de água no solo (mm). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 200 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	109
Tabela 58 -	Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 25 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	110
Tabela 59 -	Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	111
Tabela 60 -	Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 75 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	112
Tabela 61 -	Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 100 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	113

Tabela 62 -	Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 150 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	114
Tabela 63 -	Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 200 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	115
Tabela 64 -	Valores estimados mensais de deficiência hídrica (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 25 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	116
Tabela 65 -	Valores estimados mensais de deficiência hídrica (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	117
Tabela 66 -	Valores estimados mensais de deficiência hídrica (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 75 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	118
Tabela 67 -	Valores estimados mensais de deficiência hídrica (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 100 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	119
Tabela 68 -	Valores estimados mensais de deficiência hídrica (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 150 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	120
Tabela 69 -	Valores estimados mensais de deficiência hídrica (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 200 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	121
Tabela 70 -	Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 25 mm. Thornthwaite e Mather (1955)..	122
Tabela 71 -	Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm. Thornthwaite e Mather (1955)..	123
Tabela 72 -	Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês ⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 75 mm. Thornthwaite e Mather (1955)..	124

Tabela 73 -	Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês^{-1}). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 100 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	125
Tabela 74 -	Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês^{-1}). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 150 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	126
Tabela 75 -	Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês^{-1}). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 200 mm. Thornthwaite e Mather (1955)	127

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das condições agroclimáticas de áreas com plantas nativas e em áreas agrícolas é básico para o sucesso na preservação ambiental e no desenvolvimento da agricultura, que por sua vez viabiliza o desenvolvimento humano.

Para uma exploração racional (tecnicamente correta, economicamente viável, socialmente justa e ambientalmente sustentável) é necessária a definição das condições limitantes à preservação ambiental e ao cultivo. A escassez de água pode ocasionar mudanças no ecossistema e perdas na produção, dependendo da sua intensidade e da época de ocorrência.

O balanço hídrico permite contabilizar as entradas, as saídas e o saldo de água num dado elemento de volume de solo, o qual apresenta, a qualquer instante, uma disponibilidade de água às plantas que suporta a produção de carboidrato na presença de luz (fotossíntese).

Em termos ambientais, essa disponibilidade define as espécies que predominarão numa dada região (forte elemento de seleção natural das espécies mais adaptadas). Em termos de agricultura, define a produtividade atingível (produtividade potencial deplecionada pelo fator água, onde a produtividade potencial é dependente apenas do genótipo, temperatura, radiação fotossinteticamente ativa e fotoperíodo) e, conseqüentemente, o nível tecnológico.

A água é imprescindível à vida, porque representa cerca de 80 a 95% da massa de matéria fresca da maioria das espécies existentes. Além disso, a água faz, indiretamente, com que a maior parte da composição da matéria seca seja carbono, hidrogênio e oxigênio.

O presente trabalho foi desenvolvido com base nas seguintes hipóteses: (i) a evapotranspiração real, deficiência hídrica e excedente hídrico dependem da capacidade de água disponível, (ii) a capacidade de água disponível de 50 mm deve ser adotada para proceder a caracterização edafoclimática de uma região, (iii) a capacidade de água disponível por unidade de profundidade efetiva do sistema radicular na maioria dos solos da natureza está entre 0,5 (solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica) e $2,0 \text{ mm.cm}^{-1}$ (solos argilosos com alto teor de matéria orgânica), (iv) a profundidade efetiva do sistema radicular é tanto maior quanto menor for a retenção de água e a fertilidade (química) do solo (solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica), (v) a caracterização climática é mais eficiente e prática, pois o estabelecimento de classes (classificação climática) perde informação, e (vi) há variação temporal (variação entre os anos de uma série histórica) dos elementos do clima (temperatura e chuva) que dificultam o

estabelecimento de classes (a classificação deveria ser feita com base na classe modal, em vez de utilizar os valores médios).

O presente trabalho tem por objetivo analisar a classificação climática segundo Köppen (1931) e Thornthwaite (1948) (comparando os valores de armazenamento de água no solo, evapotranspiração real, deficiência hídrica e excedente hídrico para realização do balanço hídrico cíclico mensal), bem como propor uma caracterização edafoclimática referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundamentos do balanço hídrico

A execução do balanço hídrico leva em consideração um volume de solo, delimitado pela sua superfície e por uma superfície imaginária considerada a uma profundidade não mais alcançada pelo sistema radicular da cultura (DOURADO NETO et al., 2005). O mesmo autor descreve que, na prática considera-se a profundidade do perfil até a qual estará contido no mínimo 80% do sistema radicular quando em seu máximo desenvolvimento. A densidade de fluxo de água que ocorre nessas duas superfícies limites é considerado positivo quando ocorre entrada de água no sistema e negativo quando a água sai do sistema.

2.2 Análise e determinação dos componentes do balanço hídrico

A determinação de cada componente do balanço hídrico muitas vezes é difícil e trabalhosa, pois este como um todo depende da dinâmica da água no sistema contínuo, solo-planta-atmosfera, e cada parte deste sistema o afeta sensivelmente. Assim, a radiação solar global incidente, o vento, a umidade atmosférica, a distribuição das chuvas, a arquitetura da planta, o índice de área foliar, o espaçamento, a distribuição das raízes das plantas no solo, e as características físicas do solo são as principais variáveis que afetam o balanço hídrico numa comunidade vegetal (MANFRON, 1992).

A chuva é a principal fonte de suprimento de água para as espécies cultivadas (e não cultivadas) na maioria das regiões agrícolas (e não agrícolas) do mundo. É um elemento meteorológico bastante variável, no tempo e no espaço (REICHARDT, 1987).

O excedente hídrico é um elemento extremamente variável nas diferentes localidades, devido ser uma função da intensidade e duração das chuvas, das características físicas e do teor de água do solo e da declividade do terreno (MANFRON, 1992).

Numa agricultura racional, deve-se usar todas as técnicas possíveis e necessárias para evitar o deflúvio superficial, quer pelo sistema de cultivo empregado, quer pela semeadura e/ou plantio em nível, quer pela construção de terraços, por exemplo, pois além de representar perda de água este elemento acelera o processo de erosão do solo. Para a análise desta variável são consideradas a inclinação do terreno, a capacidade de infiltração do solo e a intensidade de chuva. Para a medida, isola-se uma área de terreno delimitando-se a sua superfície para recolhimento da

água que escoar deste tanque. O volume de água recolhida dividido pela área fornecerá o deflúvio superficial (REICHARDT, 1985).

2.3 Balanço hídrico climático

Nos estudos das aptidões agroclimáticas de uma região, o balanço hídrico climático não representa disponibilidade real de água devido a utilização de dados normais de chuva (valores médios de uma série ininterrupta de 30 anos de observações referente ao período de 1961 a 1990) (MANFRON, 1992).

A variação temporal da evapotranspiração potencial segue em um ritmo uniforme durante o ano, isto é, é mínima no inverno e máxima no verão, enquanto a marcha da chuva é muito variável de uma região para outra e de ano para ano (MANFRON, 1992).

Quando a evapotranspiração é comparada com a chuva e se leva em conta o armazenamento de água no solo e seu uso subsequente, períodos de deficiência e de excesso são claramente revelados e uma melhor compreensão da relativa umidade ou aridez de um clima pode ser obtida (MANFRON, 1992).

Em algumas localidades a chuva é sempre superior à evapotranspiração de maneira que o solo permanece com água ou ocorre excesso, o qual se chama “*Runoff*” (Escoamento superficial ou deflúvio superficial). Em outras localidades, mês após mês, a chuva é menor do que a evapotranspiração potencial ocorrendo falta de água para uso da vegetação e, portanto, uma deficiência ou seca (MANFRON, 1992).

Localidades com períodos secos e úmidos ou com estação fria de pequena necessidade de água, normalmente apresentam: (a) um período de armazenamento total, quando a chuva excede a necessidade de água e um excesso de água se acumula; (b) uma estação seca na qual a água armazenada e a chuva são usadas na evapotranspiração, sendo que o armazenamento vai gradualmente diminuindo, a evapotranspiração real fica menor do que a potencial e uma deficiência de água ocorre; (c) uma estação de umedecimento, quando a chuva novamente excede a necessidade de água e a capacidade total de água no solo é completada novamente (MANFRON, 1992).

A capacidade de água disponível depende da profundidade da camada do solo considerada e do tipo de estrutura do solo. Pode variar desde cerca de $0,5 \text{ mm.cm}^{-1}$, num solo arenoso e com baixo teor de matéria orgânica, a mais de 2 mm.cm^{-1} em solo argiloso e com alto teor de matéria orgânica. Por outro lado, quanto mais profundo, maior será a capacidade de água disponível.

Cabe salientar, que as raízes das plantas compensam, de algum modo, a natureza do solo, pois em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânico as plantas apresentam sistemas radiculares profundos; enquanto que nos solos argilosos e com alto teor de matéria orgânica, as plantas tendem a apresentar um sistema radicular menos profundo (mais superficial) (MANFRON, 1992).

As culturas de sistema radicular médio que crescem nas zonas de clima úmido utilizam cerca de 100 mm do solo, em termos de capacidade de água disponível. À medida que o solo seca, torna-se cada vez mais difícil a perda de água pela evaporação ou transpiração. Conforme diminui o teor de água no solo, decresce a quantidade evapotranspirada, a qual é proporcional à quantidade de água que permanece no solo. Portanto, quando o teor de água está próximo à capacidade de campo, a evapotranspiração real se aproxima da potencial (MANFRON, 1992).

Para se determinar a capacidade máxima de armazenamento de água disponível (CAD, mm) às plantas, precisa-se conhecer o teor de água, a base de volume, no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente e a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura em estudo (na qual, para efeito prático, está concentrada 80% da massa das raízes que é responsável por 90% da evapotranspiração potencial) (MANFRON, 1992).

De posse desses dados, pode-se calcular a capacidade máxima de armazenamento de água disponível (CAD, mm) por intermédio da seguinte equação:

$$CAD = 10. (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) . Ze \quad (1)$$

em que θ_{CC} e θ_{PMP} se referem aos teores de água no solo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente e Ze à profundidade (cm) efetiva do sistema radicular (MANFRON, 1992).

Cabe ressaltar que, o processo de contabilidade hídrica no solo mais utilizado para fins climatológicos é o de Thornthwaite e Mather (1955). Entretanto, para calcular o balanço hídrico de uma localidade é necessário possuir os dados de chuva e evapotranspiração potencial dessa localidade, bem como as tabelas que permitem converter a informação de perda potencial da água em valores de perda atual de água de acordo com os vários teores de água no solo (MANFRON, 1992).

Uma forma que mais se aproxima da realidade consiste no cálculo do balanço hídrico seriado (BURIOL et al., 1977), evitando trabalhar com valores normais. Efetua-se o balanço hídrico para cada ano individualmente de forma seqüencial, ou seja, efetua-se o balanço hídrico

iniciando e finalizando no primeiro e no último ano completo da série histórica, respectivamente, ao contrário do balanço hídrico cíclico, no qual é utilizado um único ano, usualmente, o ano médio. Para iniciar o balanço hídrico cíclico mensal, pode-se utilizar o critério de Mendonça (1958).

O procedimento permite extrair da série de dados dos anos utilizados, mês a mês, os elementos do balanço hídrico seriado (ou sequencial), possibilitando o cálculo da frequência, intensidade e probabilidade de ocorrência, ou elaborar índices agroclimáticos dos mesmos (MANFRON, 1992).

No balanço cíclico, os cálculos devem ser iniciados sempre no último mês da estação chuvosa, em que a soma das precipitações pluviais é superior à soma das perdas por evapotranspiração potencial, considerando assim que neste mês o solo se encontra na capacidade de campo. Por outro lado, o balanço hídrico sequencial permite a inserção das probabilidades de ocorrência das deficiências e dos excessos hídricos (MANFRON, 1992).

2.4 Evapotranspiração potencial de referência

A estimativa da evapotranspiração foi realizada utilizando-se o procedimento proposto por Thornthwaite (1948). Para o cálculo da mesma, esses autores sugeriram a seguinte equação:

$$ETo_j = 0.53 \cdot \left(10 \frac{T_j}{I} \right)^a \frac{H_j}{12} N_j \quad (2)$$

$$I = 0,08745 \sum_{j=1}^{12} T_j^{1,514} \quad (3)$$

em que ETo_j é a evapotranspiração de referência (mm.mês⁻¹), T_j é a temperatura média (°C), I é o índice térmico (ou índice de calor anual), a é um coeficiente empírico composto, H_j é o número possível de horas de brilho solar no dia mediano, e N_j é o número de dias do j -ésimo mês Thornthwaite (1948).

O coeficiente empírico composto (a) é calculado da seguinte maneira:

$$a = \sum_{i=0}^3 a_i I^i \quad (4)$$

Os valores desses coeficientes foram determinados através de análise de regressão utilizando valores mensais médios de temperatura por Thornthwaite em 1948, que resultou em $a_0 = 0,49239$, $a_1 = 0,01792$, $a_2 = -0,0000771$ e $a_3 = 0,000000675$.

O número de horas de brilho solar (H_j , horas.dia⁻¹) necessário para o cálculo da evapotranspiração de referência, é calculado segundo a fórmula:

$$H_j = \frac{24}{\pi} \arccos \left[-\tan \alpha_j \cdot \tan \phi \right] \quad (5)$$

em que ϕ é a latitude do local (rad) e α_j é declinação solar (rad) no dia mediano do j -ésimo mês:

$$\alpha_j = C_0 + \sum_{i=1}^3 \left[C_i \cdot \sin \left(\frac{2i \cdot \pi \cdot d_j}{365} \right) - D_i \cdot \cos \left(\frac{2i \cdot \pi \cdot d_j}{365} \right) \right] \quad (6)$$

em que d_j é o número de ordem (dia Juliano), defasado de 1 dia do dia mediano do j -ésimo mês (número de ordem defasado do dia mediano 16 é 15, p.e.), e C_0 , C_i e D_i são os parâmetros empíricos do modelo ($C_0 = 0,006918$; $C_1 = 0,070257$; $C_2 = 0,000907$; $C_3 = 0,00148$; $D_1 = 0,399912$; $D_2 = 0,006758$ e $D_3 = 0,002697$) (PALTRIDGE; PLATT, 1976).

2.5 Saldo, negativo acumulado e armazenamento de água no solo

Definiu-se saldo (S_j , mm.mês⁻¹) como sendo a diferença entre a chuva (C_j , mm.mês⁻¹) e evapotranspiração potencial de referência (ET_{o_j} , mm.mês⁻¹) ocorrida no j -ésimo mês:

$$S_j = P_j - ET_{o_j} \quad (7)$$

O negativo acumulado pode ser entendido como o módulo da diferença acumulada das chuvas e evapotranspiração ótima da cultura até o período em questão, o qual é estimado utilizando o seguinte procedimento:

$$L_j = L_{j-1} - S_j \text{ e } Arm_j = CAD \cdot e^{\left(\frac{-L_j}{CAD} \right)}, \text{ se } S_j \leq 0 \quad (8)$$

$$Arm_j = Arm_{j-1} + S_j \text{ e } L_j = -CAD \cdot \ln \left(\frac{Arm_j}{CAD} \right), \text{ se } S_j > 0 \quad (9)$$

em que L_j é o negativo acumulado (mm) e Arm_j é o armazenamento (mm) referentes ao j -ésimo mês e CAD_j a capacidade de água disponível (mm).

A hipótese basilar do método de Thornthwaite e Mather (1955) é a de que a perda de água pelo processo de evapotranspiração é diretamente proporcional ao armazenamento de água no solo (os autores assumiram que a evapotranspiração varia linearmente com o armazenamento de água no solo). Sendo assim, deduz-se que o armazenamento (Arm_j , mm) varia exponencialmente com o negativo acumulado.

Para determinação da variação da armazenagem (VA_j , mm.mês⁻¹) de água no período de um mês considerado, existe a necessidade de determinar a armazenagem de água em todo o perfil considerado nos tempos limites do período.

$$VA_j = Arm_j - Arm_{j-1} \quad (10)$$

2.6 Evapotranspiração real e deficiência e excedente hídrico

Estima-se a evapotranspiração real (ETr_j , mm.mês⁻¹) para todos os meses pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955):

$$ETr_j = ETm_j \quad (11)$$

em que C_j (mm.mês⁻¹) se refere à chuva e VA_j à variação de armazenamento (mm.mês⁻¹) ocorrida no j -ésimo período, sendo que

A deficiência hídrica (DH_j , mm.mês⁻¹) é nula quando o saldo é positivo. Quando o saldo é negativo, a deficiência hídrica é definida como a diferença entre a evapotranspiração potencial de referência e a evapotranspiração real:

$$DH_j = 0, \text{ se } S_j > 0 \text{ ou } DH_j = ET_{o_j} - ETr_j, \text{ se } S_j \leq 0 \quad (12)$$

Existirá então deficiência hídrica nos períodos em que a ETr_j (mm.mês⁻¹) é menor que a ET_{o_j} (mm.mês⁻¹), em consequência da falta de chuva e da variação de água armazenada no perfil de solo.

Excedente hídrico (EH_j) é nulo quando o saldo é negativo ou nulo. Quando o saldo é positivo, o excedente é a diferença entre a quantidade de chuva de um período e a evapotranspiração real mais a variação do armazenamento:

$$EH_j = 0, \text{ se } S_j \leq 0 \text{ ou } EH_j = C_j - ET_{o_j} - VA_j, \text{ se } S_j > 0 \quad (13)$$

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e série histórica de temperatura e de chuva

Foram utilizados os valores médios mensais da série histórica (35 anos: 1969 a 2003) da temperatura do ar (Figura 1) e chuva (Figura 2) do posto meteorológico da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS (latitude sul: 29°42'25"; longitude oeste: 53°42'25"; altitude: 95 m).

Figura 1 - Valores médios mensais de temperatura do ar (T , °C), referente à série de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 2 - Valores totais mensais de chuva (P , mm.mês⁻¹), referente à série de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS

3.2 Capacidade de água disponível

Para estimação do armazenamento de água no solo foram utilizados diferentes valores do fator de disponibilidade hídrica (capacidade de água disponível por unidade de profundidade efetiva do sistema radicular): (i) $\beta = 0,5 \text{ mm.cm}^{-1}$; (ii) $\beta = 1,00 \text{ mm.cm}^{-1}$; (iii) $\beta = 1,5 \text{ mm.cm}^{-1}$; e (iv) $\beta = 2,00 \text{ mm.cm}^{-1}$ e de profundidade efetiva do sistema radicular: (i) $z = 50 \text{ cm}$ e (ii) $z = 100 \text{ cm}$.

Tabela 1 - Capacidade de água disponível (CAD, mm) em função do fator de disponibilidade hídrica (β , mm.cm^{-1}) e da Profundidade efetiva do sistema radicular (Z, cm)

β	Z	
	50 cm	100 cm
$0,5 \text{ mm.cm}^{-1}$	25 mm	50 mm
$1,0 \text{ mm.cm}^{-1}$	50 mm	100 mm
$1,5 \text{ mm.cm}^{-1}$	75 mm	150 mm
$2,0 \text{ mm.cm}^{-1}$	100 mm	200 mm

3.3 Classificação climática de Köppen

As Tabelas 2 a 7 se referem à classificação climática proposta por Köppen (1931).

Tabela 2 - Clima tipo A: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)

Condição				Classificação
Tmin ≥ 18	Cmin > 60	$\phi \geq 0$	Mtm < 7	Af
			Mtm ≥ 7	Af g
	Cmin > 60	$\phi < 0$		Af g'
				Af
			Mtm > 6	Af g
			Mtm ≤ 6	Af g'
		$\phi \geq 0$ Tmax-Tmin < 5		Afi
			Mtm < 7	Af i g
	Tc > 10.Cmin	$\phi < 0$ Tmax-Tmin < 5	Mtm ≥ 7	Af i g'
				Afi
		$\phi \geq 0$	Mtm > 6	Af i g
			Mtm ≤ 6	Af i g'
		$\phi < 0$		Am
			Mtm < 7	Am g
		$\phi \geq 0$ Tmax-Tmin < 5	Mtm ≥ 7	Am g'
				Am g
Outras		$\phi < 0$	Mtm > 6	Am g
			Mtm ≤ 6	Am g'
		$\phi \geq 0$ Tmax-Tmin < 5		Ami
			Mtm < 7	Am i g
		$\phi < 0$ Tmax-Tmin < 5	Mtm ≥ 7	Am i g'
				Am i
		$\phi \geq 0$	Mtm > 6	Am i g
			Mtm ≤ 6	Am i g'
		$\phi < 0$		Aw
			Mtm < 7	Aw g
		$\phi \geq 0$ Tmax-Tmin < 5	Mtm ≥ 7	Aw g'
				Aw
		$\phi < 0$	Mtm > 6	Aw g
			Mtm ≤ 6	Aw g'
		$\phi \geq 0$ Tmax-Tmin < 5		Awi
			Mtm < 7	Aw i g
		$\phi < 0$ Tmax-Tmin < 5	Mtm ≥ 7	Aw i g'
				Awi
			Mtm > 6	Aw i g
			Mtm ≤ 6	Aw i g'

Tmin: Temperatura (°C) mínima mensal. Cmin: Chuva mínima (mm). Tc: Chuva (mm). Mtm: Mês de ocorrência da temperatura máxima (oC). ϕ : latitude

Tabela 3 - Clima tipo B: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)

Condição						Classificação
Cinv≥α.Cver	Cta/10 ≤ Tma	Tma>18	Tmin>18	ϕ ≥ 0	8 ≤ Mtm ≤ 10	BWs
				ϕ < 0	2 ≤ Mtm ≤ 4	BWs h'
						BWs h' v
			Tmin≤18			BWs h' v
						BWs h
						BWs h v
		Tma≤18	Tmax>18	ϕ ≥ 0	8 ≤ Mtm ≤ 10	BWs h v
				ϕ < 0	2 ≤ Mtm ≤ 4	BWs h v
						BWs k
			Tmax≤18	ϕ ≥ 0	8 ≤ Mtm ≤ 10	BWs k v
				ϕ < 0	2 ≤ Mtm ≤ 4	BWs k v
						BWs k'
	Cta/10 ≤ 2.Tma	Tma>18	Tmin > 18	ϕ ≥ 0	8 ≤ Mtm ≤ 10	BWs k' v
				ϕ < 0	2 ≤ Mtm ≤ 4	BWs k' v
						BSs
			Tmin ≤ 18	ϕ ≥ 0	8 ≤ Mtm ≤ 10	BSs v
				ϕ < 0	2 ≤ Mtm ≤ 4	BSs v
						BSs h'
		Tma ≤ 18	Tmax > 18	ϕ ≥ 0	8 ≤ Mtm ≤ 10	BSs h' v
				ϕ < 0	2 ≤ Mtm ≤ 4	BSs h' v
						BSs h
			Tmax ≤ 18	ϕ ≥ 0	8 ≤ Mtm ≤ 10	BSs h v
				ϕ < 0	2 ≤ Mtm ≤ 4	BSs h v
						BSs k
Outras			ϕ ≥ 0	8 ≤ Mtm ≤ 10	BSs k v	
			ϕ < 0	2 ≤ Mtm ≤ 4	BSs k v	
					BSs k'	
			ϕ ≥ 0	8 ≤ Mtm ≤ 10	BSs k' v	
			ϕ < 0	2 ≤ Mtm ≤ 4	BSs k' v	
					ACDE	

(*) Se Tmax-Tmin < 5, acrescentar o sufixo **i**. (**) Se $\phi \geq 0$ e Mtm < 7, acrescentar o sufixo **g**. Se $\phi \geq 0$ e Mtm ≥ 7, acrescentar o sufixo **g'**. Se $\phi < 0$ e Mtm > 6, acrescentar o sufixo **g**. Se $\phi < 0$ e Mtm ≤ 6, acrescentar o sufixo **g'**. Cinv: Chuva no inverno. Cver: Chuva no verão. Cta: Chuva total anual (mm). Tma: Temperatura (°C) média anual. Tmin: Temperatura (°C) mínima mensal. Tmax: Temperatura (°C) máxima mensal. Mtm: Mês de ocorrência da temperatura máxima (°C) ϕ : latitude.

(Continua)

Tabela 3 - Clima tipo B: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)

					(Continuação).	
Condição					Classificação	
Cver≥α.Cinv	Cta/10 ≤ Tma+14	Tma > 18	Tmin > 18		BWw	
					BWw h'	
				ϕ ≥ 0 8 ≤ Mtm ≤ 10	BWw h' v	
				ϕ < 0 2 ≤ Mtm ≤ 4	BWw h' v	
			Tmin ≤ 18		BWw h	
				ϕ ≥ 0 8 ≤ Mtm ≤ 10	BWw h v	
		Tma ≤ 18	Tmax > 18	ϕ < 0 2 ≤ Mtm ≤ 4	BWw h v	
					BWw k	
				ϕ ≥ 0 8 ≤ Mtm ≤ 10	BWw k v	
				ϕ < 0 2 ≤ Mtm ≤ 4	BWw k v	
			Tmax ≤ 18		BWw k'	
				ϕ ≥ 0 8 ≤ Mtm ≤ 10	BWw k' v	
		Cta/10 ≤ 2.Tma+28	Tma > 18	Tmin > 18	ϕ < 0 2 ≤ Mtm ≤ 4	BWw k' v
						BSw
					ϕ ≥ 0 8 ≤ Mtm ≤ 10	BSw v
					ϕ < 0 2 ≤ Mtm ≤ 4	BSw v
				Tmin ≤ 18		BSw h'
						BSw h
	Tma ≤ 18		Tmax > 18	ϕ ≥ 0 8 ≤ Mtm ≤ 10	BSw h v	
				ϕ < 0 2 ≤ Mtm ≤ 4	BSw h v	
					BSw k	
				ϕ ≥ 0 8 ≤ Mtm ≤ 10	BSw k v	
			Tmax ≤ 18	ϕ < 0 2 ≤ Mtm ≤ 4	BSw k v	
					BSw k'	
	Outras		ϕ ≥ 0 8 ≤ Mtm ≤ 10	BSw k' v		
			ϕ < 0 2 ≤ Mtm ≤ 4	BSw k' v		
				ACDE		

(*) Se Tmax-Tmin < 5, acrescentar o sufixo **i**. (**) Se φ ≥ 0 e Mtm < 7, acrescentar o sufixo **g**. Se φ ≥ 0 e Mtm ≥ 7, acrescentar o sufixo **g'**. Se φ < 0 e Mtm > 6, acrescentar o sufixo **g**. Se φ < 0 e Mtm ≤ 6, acrescentar o sufixo **g'**. Cinv: Chuva no inverno. Cver: Chuva no verão. Cta: Chuva total anual (mm). Tma: Temperatura (°C) média anual. Tmin: Temperatura (°C) mínima mensal. Tmax: Temperatura (°C) máxima mensal. Mtm: Mês de ocorrência da temperatura máxima (°C). φ: latitude.

(Continua)

Tabela 3 - Clima tipo B: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)

(Continuação)

Condição		Classificação	
Outras	Cta/10 ≤ Tma+7		BWx'
		$\phi \geq 0$ $8 \leq Mtm \leq 10$	BWx' v
		$\phi < 0$ $2 \leq Mtm \leq 4$	BWx' v
		Tma > 18 Tmin > 18	BWx' h'
			BWx' h' v
		Tmin ≤ 18	BWx' h' v
			BWx' h
		Tma ≤ 18 Tmax > 18	BWx' h v
			BWx' h v
		Tmax ≤ 18	BWx' k
			BWx' k v
			BWx' k v
			BWx' k'
	Cta/10 ≤ 2.Tma+14	$\phi \geq 0$ $8 \leq Mtm \leq 10$	BWx' k' v
		$\phi < 0$ $2 \leq Mtm \leq 4$	BWx' k' v
			BSx
		$\phi \geq 0$ $8 \leq Mtm \leq 10$	BSx v
		$\phi < 0$ $2 \leq Mtm \leq 4$	BSx v
		Tma > 18 Tmin > 18	BSx h'
			BSx h' v
		Tmin ≤ 18	BSx h' v
			BSx h
		Tma ≤ 18 Tmax > 18	BSx h v
			BSx h v
		Tmax ≤ 18	BSx k
			BSx k v
	Outras	$\phi \geq 0$ $8 \leq Mtm \leq 10$	BSx k v
		$\phi < 0$ $2 \leq Mtm \leq 4$	BSx k v
			BSx k'
		$\phi \geq 0$ $8 \leq Mtm \leq 10$	BSx k' v
		$\phi < 0$ $2 \leq Mtm \leq 4$	BSx k' v
			ACDE

(*) Se Tmax-Tmin < 5, acrescentar o sufixo **i**. (**) Se $\phi \geq 0$ e Mtm < 7, acrescentar o sufixo **g**. Se $\phi \geq 0$ e Mtm ≥ 7, acrescentar o sufixo **g'**. Se $\phi < 0$ e Mtm > 6, acrescentar o sufixo **g**. Se $\phi < 0$ e Mtm ≤ 6, acrescentar o sufixo **g'**. Cinv: Chuva no inverno. Cver: Chuva no verão. Cta: Chuva total anual (mm). Tma: Temperatura (°C) média anual. Tmin: Temperatura (°C) mínima mensal. Tmax: Temperatura (°C) máxima mensal. Mtm: Mês de ocorrência da temperatura máxima (°C). ϕ : latitude.

Tabela 4 - Clima tipo C: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)

Condição			Classificação
$-3 \leq T_{min} < 18$	$\phi \geq 0$	$5 \leq M_{cm} \leq 7$	Cw
			Mtm < 7 Cw g
			Mtm ≥ 7 Cw g'
			Tmax-Tmin < 5 Cw i
			Mtm < 7 Cw i g
			Mtm ≥ 7 Cw i g'
	$\phi < 0$	Mcm = 1 ou Cmax ≥ 10 . Cmin Mcm ≥ 11	Cw
			Mtm > 6 Cw g
			Mtm ≤ 6 Cw g'
			Tmax-Tmin < 5 Cw i
			Mtm > 6 Cw i g
			Mtm ≤ 6 Cw i g'
	$\phi < 0$	$5 \leq M_{cm} \leq 7$	Cmin < 30 Cs
			Mtm > 6 Cs g
			Mtm ≤ 6 Cs g'
			Tmax-Tmin < 5 Csi
			Mtm > 6 Cs i g
			Mtm ≤ 6 Cs i g'
		Cmin ≥ 30	Cfs
			Mtm > 6 Cfs g
			Mtm ≤ 6 Cfs g'
			Tmax-Tmin < 5 Cfs i
			Mtm > 6 Cfs i g
			Mtm ≤ 6 Cfs i g'
$\phi \geq 0$	Mcm = 1 ou Cmax ≥ 3 . Cmin Mcm ≥ 11	Cmin < 30	Cs
			Mtm < 7 Cs g
			Mtm ≥ 7 Cs g'
			Tmax-Tmin < 5 Cs i
			Mtm < 7 Cs i g
			Mtm ≥ 7 Cs i g'
	Cmin ≥ 30	Tmax-Tmin < 5	Cfs
			Mtm < 7 Cfs g
			Mtm ≥ 7 Cfs g'
			Cfs i
			Mtm < 7 Cfs i g
			Mtm ≥ 7 Cfs i g'
Outras	$\phi < 0$	Tmax-Tmin < 5	Cf
			Mtm > 6 Cf g
			Mtm ≤ 6 Cf g'
			Cfi
			Mtm > 6 Cf i g
			Mtm ≤ 6 Cf i g'
	$\phi \geq 0$	Tmax-Tmin < 5	Cf
			Mtm < 7 Cf g
			Mtm ≥ 7 Cf g'
			Cfi
			Mtm < 7 Cf i g
			Mtm ≥ 7 Cf i g'

(*) Se Tmm ≥ 10 (4x ou mais) e Tmax ≥ 22 , acrescentar o sufixo **a**. M_{cm}: Chuva (mm). Se Tmm ≥ 10 (4x ou mais) e Tmax < 22, acrescentar o sufixo **b**. C_{min}: Chuva mínima (mm). Se Tmm ≥ 10 (menos que 4x) e Tmin ≥ -38 , acrescentar o sufixo **c**. C_{max}: Chuva máxima (mm). Se Tmm ≥ 10 (menos que 4x) e Tmin < -38, acrescentar o sufixo **d**. M_{tm}: Mês de ocorrência da temperatura máxima (°C). T_{min}: Temperatura (°C) mínima mensal. ϕ : latitude. T_{max}: Temperatura (°C) máxima mensal.

Tabela 5 - Clima tipo D: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Classificação
$T_{min} < -3$ $\phi \geq 0$ $T_{max} \geq 10$ $5 \leq M_{cm} \leq 7$ $C_{max} \geq 10.C_{min}$	Dw
	<div>Tmm ≥ 10 (4x) Tmax ≥ 22 Dw a</div> <div>Tmax < 22 Dw b</div> <div>Outras Tmin ≥ -38 Dw c</div> <div>Tmin < -38 Dw d</div>
Outras	Df
	<div>Tmm ≥ 10 (4x) Tmax ≥ 22 Df a</div> <div>Tmax < 22 Df b</div> <div>Outras Tmin ≥ -38 Df c</div> <div>Tmin < -38 Df d</div>

Tmin: Temperatura (°C) mínima mensal. Tmax: Temperatura (°C) máxima mensal. M_{cm}: Chuva (mm). C_{min}: Chuva mínima (mm). C_{max}: Chuva máxima (mm). Tmm: Temperatura (°C) média mensal. ϕ : latitude.

Tabela 6 - Clima tipo E: classificação climática de Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Classificação
$T_{max} \geq 0$	ET
$T_{max} < 0$	EF

Tmax: Temperatura (°C) máxima mensal.

Tabela 7 - Estações de verão e de inverno em função do hemisfério terrestre segundo Köppen (1931) (DOURADO NETO, 1996)

Hemisfério	Chuva de verão (C _{ver} , mm)	Chuva de inverno (C _{inv} , mm)
Norte ($\phi^1 \geq 0$)	Maio a julho [chuva57]	Novembro a janeiro
Sul ($\phi < 0$)	Novembro a janeiro [chuva111]	Maio a julho

¹ ϕ : latitude

3.4 Classificação climática de Thornthwaite

A classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) se baseia nos seguintes índices: (i) índice de umidade, (ii) índice de aridez, (iii) índice hídrico, (iv) índice TE para os hemisférios sul e norte.

Para o cálculo do índice de umidade (Iu), tem-se que:

$$I_u = \frac{EH_T}{ETo_T} 100 \quad (14)$$

em que EH_T se refere ao excedente hídrico total anual (mm.ano^{-1}) e ETo_T à evapotranspiração de referência total anual (mm.ano^{-1})

Para o cálculo do índice de aridez (I_a , %), tem-se que:

$$I_a = \frac{DH_T}{ETo_T} 100 \quad (15)$$

Para o cálculo do índice hídrico (I_m , %), tem-se que:

$$I_m = I_u - 0,6.I_a \quad (16)$$

Para o cálculo do índice TE (TE, %) para o hemisfério norte, tem-se que:

$$TE = \frac{\sum_{i=5}^7 ETo_i}{ETo_T} 100 \quad (17)$$

Para o cálculo do índice TE (TE, %) para o hemisfério sul, tem-se que:

$$TE = \frac{ETo_{11} + ETo_{12} + ETo_1}{ETo_T} 100 \quad (18)$$

Tabela 8 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo A. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (I_m , %), deficiência hídrica ocorrida no j -ésimo mês (DH_j , mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (I_a , %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#1
$I_m \geq 100$	A
$I_a < 16,7$	A r
$(DH_{11}+DH_{12}+DH_1) > (DH_5+DH_6+DH_7)$	
$\phi > 0$	
$I_a < 33,3$	A w
$I_a \geq 33,3$	A w2
$\phi \leq 0$	
$I_a < 33,3$	A s
$I_a \geq 33,3$	A s2
$(DH_{11}+DH_{12}+DH_1) \leq (DH_5+DH_6+DH_7)$ e $I_a \geq 16,7$	
$\phi > 0$	
$I_a < 33,3$	A s
$I_a \geq 33,3$	A s2
$\phi \leq 0$	
$I_a < 33,3$	A w
$I_a \geq 33,3$	A w2

Tabela 9 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo B4. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j -ésimo mês (DH_j, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#1
$80 \leq Im < 100$	B4
Ia < 16,7	B4 r
DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁ > DH ₅ +DH ₆ +DH ₇	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	B4 w
Ia $\geq$ 33,3	B4 w2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	B4 s
Ia $\geq$ 33,3	B4 s2
(DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁) $\leq$ (DH ₅ +DH ₆ +DH ₇) e Ia $\geq$ 16,7	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	B4 s
Ia $\geq$ 33,3	B4 s2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	B4 w
Ia $\geq$ 33,3	B4 w2

Tabela 10 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo B3. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j -ésimo mês (DH_j, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#1
$60 \leq Im < 80$	B3
Ia < 16,7	B3 r
DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁ > DH ₅ +DH ₆ +DH ₇	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	B3 w
Ia $\geq$ 33,3	B3 w2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	B3 s
Ia $\geq$ 33,3	B3 s2
(DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁) $\leq$ (DH ₅ +DH ₆ +DH ₇) e Ia $\geq$ 16,7	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	B3 s
Ia $\geq$ 33,3	B3 s2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	B3 w
Ia $\geq$ 33,3	B3 w2

Tabela 11 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo B2. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j -ésimo mês (DH_j , mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#1
$40 \leq Im < 60$	B2
Ia < 16,7	B2 r
$DH_{11}+DH_{12}+DH_1 > DH_5+DH_6+DH_7$	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	B2 w
Ia $\geq$ 33,3	B2 w2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	B2 s
Ia $\geq$ 33,3	B2 s2
$(DH_{11}+DH_{12}+DH_1) \leq (DH_5+DH_6+DH_7)$ e Ia $\geq$ 16,7	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	B2 s
Ia $\geq$ 33,3	B2 s2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	B2 w
Ia $\geq$ 33,3	B2 w2

Tabela 12 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo B1. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j -ésimo mês (DH_j, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#1
$20 \leq Im < 40$	B1
Ia < 16,7	B1 r
DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁ > DH ₅ +DH ₆ +DH ₇	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	B1 w
Ia $\geq$ 33,3	B1 w2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	B1 s
Ia $\geq$ 33,3	B1 s2
(DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁) $\leq$ (DH ₅ +DH ₆ +DH ₇) e Ia $\geq$ 16,7	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	B1 s
Ia $\geq$ 33,3	B1 s2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	B1 w
Ia $\geq$ 33,3	B1 w2

Tabela 13 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo C2. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j -ésimo mês (DH_j, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#1
$0 \leq \text{Im} < 20$	C2
Ia < 16,7	C2 r
DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁ > DH ₅ +DH ₆ +DH ₇	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	C2 w
Ia $\geq$ 33,3	C2 w2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	C2 s
Ia $\geq$ 33,3	C2 s2
(DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁) $\leq$ (DH ₅ +DH ₆ +DH ₇) e Ia $\geq$ 16,7	
$\phi > 0$	
Ia < 33,3	C2 s
Ia $\geq$ 33,3	C2 s2
$\phi \leq 0$	
Ia < 33,3	C2 w
Ia $\geq$ 33,3	C2 w2

Tabela 14 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo C1. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no j -ésimo mês (DH_j, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#1
$-20 \leq Im < 0$	C1
Iu < 10	C1 d
DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁ > DH ₅ +DH ₆ +DH ₇	
$\phi > 0$	
Ia < 20	C1 s
Ia $\geq$ 20	C1 s2
$\phi \leq 0$	
Ia < 20	C1 w
Ia $\geq$ 20	C1 w2
(DH ₁₁ +DH ₁₂ +DH ₁) $\leq$ (DH ₅ +DH ₆ +DH ₇) e Iu $\geq$ 10	
$\phi > 0$	
Ia < 20	C1 w
Ia $\geq$ 20	C1 w2
$\phi \leq 0$	
Ia < 20	C1 s
Ia $\geq$ 20	C1 s2

Tabela 15 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo D. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no *j*-ésimo mês (DH_j, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#1
$-40 \leq Im < -20$	D
$Iu < 10$	D d
$DH_{11}+DH_{12}+DH_1 > DH_5+DH_6+DH_7$	
$\phi > 0$	
$Ia < 20$	D s
$Ia \geq 20$	D s2
$\phi \leq 0$	
$Ia < 20$	D w
$Ia \geq 20$	D w2
$(DH_{11}+DH_{12}+DH_1) \leq (DH_5+DH_6+DH_7)$ e $Iu \geq 10$	
$\phi > 0$	
$Ia < 20$	D w
$Ia \geq 20$	D w2
$\phi \leq 0$	
$Ia < 20$	D s
$Ia \geq 20$	D s2

Tabela 16 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Tipo E. Prefixo (Pr#1) definido em função do índice hídrico (Im, %), deficiência hídrica ocorrida no *j*-ésimo mês (DH_j, mm), latitude (ϕ) e índice de aridez (Ia, %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#1
$-60 \leq Im < -40$	E
$Iu < 10$	E d
$DH_{11}+DH_{12}+DH_1 > DH_5+DH_6+DH_7$	
$\phi > 0$	
$Ia < 20$	E s
$Ia \geq 20$	E s2
$\phi \leq 0$	
$Ia < 20$	E w
$Ia \geq 20$	E w2
$(DH_{11}+DH_{12}+DH_1) \leq (DH_5+DH_6+DH_7)$ e $Iu \geq 10$	
$\phi > 0$	
$Ia < 20$	E w
$Ia \geq 20$	E w2
$\phi \leq 0$	
$Ia < 20$	E s
$Ia \geq 20$	E s2

Tabela 17 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Sufixos (A', B'4, B'3, B'2, B'1, C'2, C'1 e D') referentes à evapotranspiração de referência total anual (ET_{OT} , mm.ano⁻¹) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Pr#2
$ET_{OT} \geq 1140$	$Pr\#2 = Pr\#1 + A'$
$997 \leq ET_{OT} < 1140$	$Pr\#2 = Pr\#1 + B'4$
$855 \leq ET_{OT} < 997$	$Pr\#2 = Pr\#1 + B'3$
$712 \leq ET_{OT} < 855$	$Pr\#2 = Pr\#1 + B'2$
$570 \leq ET_{OT} < 712$	$Pr\#2 = Pr\#1 + B'1$
$427 \leq ET_{OT} < 570$	$Pr\#2 = Pr\#1 + C'2$
$285 \leq ET_{OT} < 427$	$Pr\#2 = Pr\#1 + C'1$
$142 \leq ET_{OT} < 285$	$Pr\#2 = Pr\#1 + D'$
$ET_{OT} < 142$	$Pr\#2 = Pr\#1 + E'$

Tabela 18 - Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948). Sufixos (a', b'4, b'3, b'2, b'1, c'2, c'1 e d') referentes ao índice TE (TE, %) (DOURADO NETO, 1996)

Condição	Classe
$TE < 48$	Classe = $Pr\#2 + a'$
$48 \leq TE < 51,9$	Classe = $Pr\#2 + b'4$
$51,9 \leq TE < 56,3$	Classe = $Pr\#2 + b'3$
$56,3 \leq TE < 61,6$	Classe = $Pr\#2 + b'2$
$61,6 \leq TE < 68$	Classe = $Pr\#2 + b'1$
$68 \leq TE < 76,3$	Classe = $Pr\#2 + c'2$
$76,3 \leq TE < 88$	Classe = $Pr\#2 + c'1$
$TE \geq 88$	Classe = $Pr\#2 + d'$

3.5 Caracterização edafoclimática

A caracterização proposta tem por objetivo facilitar a descrição, de forma sucinta, da condição edafoclimática de uma região considerando os seguintes termos: (i) classe de disponibilidade hídrica (cDH) (Tabela 8), (ii) latitude (graus - Lg - e minutos - Lm, e especificação do hemisfério - H - S para sul e N para norte), (iii) longitude (graus - lg - e minutos - lm, e especificação do hemisfério - h - E para leste e W para oeste), (iv) duração da série histórica (Sh, anos), (v) temperatura do ar (mínima média mensal) (tm, °C), e mês de ocorrência

da temperatura mínima média mensal (mm), (vi) temperatura do ar (máxima média mensal) (TM, °C) e mês de ocorrência da temperatura máxima média mensal (mM), (vii) temperatura do ar (média anual) (T, °C), e coeficiente de variação (CV_T , %) referente à temperatura do ar, (viii) chuvas mensais mínima (xm, mm), e o mês de ocorrência (mx), e máxima (XM, mm), e o mês de ocorrência (mX), (ix) chuva (mínima anual) (cm, mm.ano⁻¹), (x) chuva (máxima anual) (CM, mm.ano⁻¹), (xi) chuva (média anual) (C, mm.ano⁻¹), (xii) coeficiente de variação (CV_C , %) referente à chuva, (xiii) evapotranspiração potencial de referência (ETo, mm.ano⁻¹), (xiv) evapotranspiração real (média anual) (ETr, mm.ano⁻¹) e (xv) excedente hídrico (média anual) (EH, mm.ano⁻¹), (xvi) utilizando capacidade de água disponível (CAD) de 50 mm (sugere-se adotar 50 mm como valor padrão). Sendo assim, sugere-se o seguinte modelo:

$$cDH_{Lg/LmH,lg/lmh,Sh,tm,mm,TM,mM,T,cv_T,xm,mx,XM,mX,cm,CM,C,cv_C,ETo,ETr,EH,CAD}$$

Tabela 19 - Classe de disponibilidade hídrica (cDH)

cDH	100.ETr/ETo
A	90 a 100
B	70 a 90
C	40 a 70
D	0 a 40

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Balanço hídrico cíclico climático

Utilizando os valores médios de temperatura e de chuva para a região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando capacidade de água disponível de 50 mm, verificou-se que a classificação climática é B4 r B'3 a', segundo Thornthwaite (1948); e Cwga, segundo Köppen (1931) (Tabela 9 e Figura 3).

Tabela 20 - Valores de temperatura média mensal (T, °C), evapotranspiração potencial de referência (ETo, mm.mês⁻¹), chuva (C, mm.mês⁻¹), armazenamento de água no solo (Arm, mm), evapotranspiração real (ETr, mm.mês⁻¹), deficiência hídrica (DH, mm.mês⁻¹) e excedente hídrico (EH, mm.mês⁻¹). Balanço hídrico cíclico (THORNTHWAITE; MATHER, 1955). Santa Maria, RS (latitude: 29°42'S). Grama batatais (*Paspalum notatum*). Capacidade de água disponível: 50 mm. Evapotranspiração potencial de referência: Thornthwaite (1948). Classificação climática, utilizando os valores médios de temperatura e de chuva, segundo Thornthwaite (1948): B4 r B'3 a'; e segundo Köppen (1931): Cwga

Mês	T	ETo	C	Arm	ETr	DH	EH
Janeiro	25,1	141,7	163	50	141,7	0,0	21,3
Fevereiro	24,8	118,5	144	50	118,5	0,0	25,5
Março	23,4	108,3	152	50	108,3	0,0	43,7
Abril	20,0	69,3	152	50	69,3	0,0	82,7
Maio	17,0	47,3	143	50	47,3	0,0	95,7
Junho	14,4	30,9	170	50	30,9	0,0	139,1
Julho	14,5	32,9	161	50	32,9	0,0	128,1
Agosto	15,7	41,4	131	50	41,4	0,0	89,6
Setembro	16,9	50,5	152	50	50,5	0,0	101,5
Outubro	19,7	78,1	156	50	78,1	0,0	77,9
Novembro	21,7	98,9	130	50	98,9	0,0	31,1
Dezembro	24,1	131,8	146	50	131,8	0,0	14,2
Total	19,8	949,5	1800		949,5	0,0	850,5

Durante o período de 1969 a 2003, a temperatura média anual foi de 19,8°C, e a altura de chuva total anual foi de 1800 mm, fazendo com que a evapotranspiração real anual seja igual à

evapotranspiração potencial de referência (949,5 mm), a deficiência hídrica anual seja nula (0 mm) e o excedente hídrico anual seja 850,5 mm (Tabela 9).

A temperatura mínima foi de 14,4°C em junho e a máxima foi 25,1°C em janeiro e, conseqüentemente, a evapotranspiração de referência (e evapotranspiração real) mínima ocorreu em junho (30,9 mm.mês⁻¹) e a máxima em janeiro (141,7 mm.mês⁻¹), equivalente respectivamente a 1,03 e 4,57 mm.dia⁻¹, em média (Tabela 9).

Figura 3 - Balanço hídrico cíclico (THORNTHWAITE; MATHER, 1955). Santa Maria, RS (latitude: 29°42'S). Grama batatais (*Paspalum notatum*). Capacidade de água disponível: 50 mm. Evapotranspiração potencial de referência (ETo, mm.mês⁻¹): Thornthwaite (1948). Chuva (C, mm.mês⁻¹). Evapotranspiração real (ETr, mm.mês⁻¹). Deficiência hídrica (DH, mm.mês⁻¹). Excedente hídrico (EH, mm.mês⁻¹). Classificação climática, utilizando os valores médios de temperatura e de chuva, segundo Thornthwaite (1948): B4 r B'3 a'; e segundo Köppen (1931): Cwga

Em função da baixa temperatura no inverno, verificou-se maiores valores de excedente hídrico nesse período (Tabela 9). Em função da chuva exceder a evapotranspiração potencial todos os meses do ano, o solo se encontra sempre na capacidade de campo (armazenamento de água igual à capacidade de água disponível de 50 mm). Isso significa que as condições são propícias para que ocorra erosão, a qual será tanto maior quanto maior for a erosividade (em função da intensidade de precipitação), a erodibilidade (em função das características e propriedades físicas do solo), o relevo (declividade) e a cobertura vegetal (em função de ser área de preservação ambiental e área de agricultura. Nesse segundo caso, a erosão dependerá do manejo, desde o preparo do solo - plantio direto ou plantio convencional - até a definição da

espécie cultivada, da intensidade de cultivo e da época de semeadura - o ideal é fazer com que haja maior cobertura do solo quando a erosividade for máxima, o que nem sempre é possível na prática).

4.2 Evapotranspiração de referência

As Figuras 4 a 6 apresentam a variação anual da evapotranspiração potencial de referência segundo Thornthwaite (1948).

A evapotranspiração potencial de referência não depende das características e propriedades físicas do solo. Depende apenas dos elementos do clima.

O método proposto por Thornthwaite (1948) apresenta a limitação de se levar em consideração apenas a temperatura, que apesar de refletir o balanço de radiação em nível de dossel das diferentes espécies, sejam nativas ou cultivadas, não contempla o vento. Por outro lado, no Brasil esse método é amplamente utilizado em função da maior disponibilidade de dados de temperatura e chuva, principalmente quando se trabalha com séries históricas com maior número de anos.

Quanto maior for a temperatura e a velocidade do vento e menor for a umidade relativa, maior será a evapotranspiração potencial de referência.

A maior evapotranspiração potencial de referência significa um maior consumo de água pelas espécies de interesse.

É com base na evapotranspiração potencial de referência que se estima a deficiência hídrica, segundo Thornthwaite e Mather (1955).

O elemento do clima limitante à maior produtividade vegetal na região mesoclimática de Santa Maria (RS) é a temperatura, a qual reduz a demanda evapotranspiratória.

As temperaturas baixas limitam o crescimento vegetal, limitando assim a maior produção de cereais e de forragem para a pecuária de leite e de corte (bovinos e ovinos, principalmente na região de Santa Maria).

Figura 4 - Evapotranspiração potencial (ETo, mm.mês⁻¹), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003), na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 5 - Evapotranspiração potencial (ETo, mm.mês⁻¹), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003), na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 6 - Evapotranspiração potencial (ET_o , mm.mês^{-1}), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003), na região mesoclimática de Santa Maria, RS

4.3 Armazenamento de água no solo

O armazenamento de água no solo apresenta maior variação no período de dezembro a abril (dezembro - Figura 9, janeiro, fevereiro, março e abril - Figura 7). No período de maio a novembro, os valores de armazenamento de água no solo apresentaram menores variações (maio, junho, julho e agosto - Figura 8, setembro, outubro e novembro - Figura 9).

O conhecimento do armazenamento de água no solo disponível às plantas, sejam espécies cultivadas ou espécies utilizadas para fins de preservação ambiental, é de fundamental importância para realização do balanço hídrico no intuito de estimar a evapotranspiração real, o excedente e a deficiência hídrica.

No caso dos solos brasileiros, assume-se que a capacidade de água disponível de 50 mm seja o valor que mais se aproxima da realidade, seja para solos arenosos ou argilosos; pois há uma espécie natural de compensação, ou seja, nos solos onde há maior retenção de água devido ao maior teor de matéria orgânica e de argila, a planta tende a apresentar menor profundidade efetiva do sistema radicular, pois esses solos além de reterem mais água são, geralmente, mais férteis. Nos solos com menor teor de matéria orgânica e de argila, a planta tende a apresentar uma maior profundidade efetiva do sistema radicular; isso ocorre porque o solo retém menos água e nutrientes, mas possibilita maior aeração (e, conseqüentemente, maior oxigenação) em maior profundidade no solo.

Quanto menor for a capacidade de armazenamento de água no solo, maior será o excedente e a deficiência hídrica e menor será a evapotranspiração real, diminuindo assim a produtividade das espécies cultivadas e das espécies utilizadas com a finalidade de preservar o meio ambiente.

A água armazenada no solo funciona como um reservatório que permite suprir a demanda evapotranspiratória da espécie de interesse. A utilização de água, mensurada pela evapotranspiração denota maior crescimento. Sendo assim, a água deve ser repostada por intermédio da chuva para que a mesma seja consumida (evapotranspirada). A maior evapotranspiração real representa maior produtividade vegetal. O ideal é ter a evapotranspiração real igual à evapotranspiração potencial, ou seja, deficiência hídrica nula, tanto para espécies cultivadas, quanto para espécies nativas (geralmente utilizadas para fins de preservação).

Figura 7 - Armazenamento de água no solo (Arm, mm), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 8 - Armazenamento de água no solo (Arm, mm), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 9 - Armazenamento de água no solo (Arm, mm), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

4.4 Evapotranspiração real

Verificou-se que nos meses de dezembro (Figura 12), janeiro, fevereiro, março e abril (Figura 10), os valores da evapotranspiração real foram inferiores aos valores da evapotranspiração potencial, fazendo com que a mesma seja influenciada pelos valores de capacidade de água disponível.

Nos meses de maio, junho, julho e agosto (Figura 11), setembro, outubro e novembro (Figura 12), os valores da evapotranspiração real foram praticamente iguais aos valores da evapotranspiração potencial, fazendo com que a capacidade de água disponível apresente pouca influência.

No período de 1969 a 2003 (35 anos), os valores mínimos, médios e máximos de evapotranspiração real em janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro foram, respectivamente, de 39, 20, 53, 37, 29, 20, 18, 28, 37, 54, 38 e 16 mm.mês⁻¹ (valores mínimos), 127, 108, 98, 66, 46, 33, 32, 41, 51, 76, 89 e 119 mm.mês⁻¹ (valores médios) e 157, 136, 137, 81, 61, 53, 48, 62, 72, 95, 119 e 147 mm.mês⁻¹ (valores máximos), levando em consideração a capacidade de água disponível de 50 mm.

No caso de agricultura e pecuária, os resultados indicam que o principal fator limitante de produtividade na região mesoclimática de Santa Maria (RS) é a temperatura durante o inverno, visto que as temperaturas médias mensais são de 17,0; 14,4; 14,5; 15,7 e 16,9°C e as chuvas médias são de 143, 170, 161, 131 e 152 mm referentes aos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, respectivamente. No período de outubro a abril, a temperatura se eleva e a chuva permanece abundante. Os valores de temperatura média do ar e chuva nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril são respectivamente, de 19,7°C e 156 mm, 21,7°C e 130 mm, 24,1°C e 146 mm, 25,1°C e 163 mm, 24,8°C e 144 mm, 23,4°C e 152 mm e 20,0°C e 152 mm. Sendo assim, de maneira geral, a viabilidade econômica da adoção da técnica de irrigação é dificultada.

No caso de preservação ambiental, em função da condição climática, a implantação ou preservação de espécies nativas é facilitada pela alta disponibilidade de água no sistema. Conhecer as espécies adaptadas às condições de inverno frio e chuvoso é fundamental para o sucesso das ações preservacionistas.

Figura 10 - Evapotranspiração real (ETr, mm.mês⁻¹), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 11 - Evapotranspiração real (ETr , mm.mês^{-1}), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 12 - Evapotranspiração real (ET_r , mm.mês^{-1}), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

4.5 Deficiência hídrica

Os meses de junho e julho (Figura 14), e (praticamente) setembro (Figura 15) apresentaram deficiência hídrica nula em todos os trinta e cinco anos da série histórica.

Quanto menor a capacidade de água disponível, maior a deficiência hídrica. Isso foi observado nos meses de janeiro a abril (Figura 13), maio e agosto (Figura 14) e outubro a dezembro (Figura 15).

Na Figura 13, verifica-se que: (i) em 48,6% dos anos analisados ocorreram deficiência hídrica para as CAD de 25; 50; 75; 100 e 150 mm, e 42,8% para a CAD de 200 mm. Entretanto, em 8,6% dos anos da série histórica de (1969 a 2003) não ocorreram deficiências hídricas no mês de janeiro para a região mesoclimática de Santa Maria, ao se considerar os valores médios percentuais de cada CAD, significando sobras variáveis de água segundo as precipitações ocorridas no mês de janeiro nos diversos anos estudados; (ii) em 48,6% dos anos analisados ocorreram deficiência hídrica para a CAD de 25 mm; 45,7% para as CAD de 50; 75; 100 e 150 mm, e 42,8% para a CAD de 200 mm. Entretanto, em 8,6% dos anos da série histórica de (1969 a 2003) não ocorreram deficiências hídricas no mês de fevereiro para a região mesoclimática de Santa Maria, ao se considerar os valores médios percentuais de cada CAD, significando sobras variáveis de água segundo as precipitações ocorridas no mês de janeiro nos diversos anos estudados; (iii) em 40,0% dos anos analisados ocorreram deficiência hídrica para a CAD de 25; 50; 75; 100 e 150; e 200 mm. Entretanto, em 20,0% dos anos da série histórica de (1969 a 2003) não ocorreram deficiências hídricas no mês de março para a região mesoclimática de Santa Maria, ao se considerar os valores médios percentuais de cada CAD, significando sobras variáveis de água segundo as precipitações ocorridas no mês de janeiro nos diversos anos estudados; e (iv) em 25,7% dos anos analisados ocorreram deficiência hídrica para as CAD de 25; 50; 100; 150 e 200 mm; e 20,0% para a CAD de 75 mm. Entretanto, em 45,7% dos anos da série histórica de (1969 a 2003) não ocorreram deficiências hídricas no mês de abril para a região mesoclimática de Santa Maria, ao se considerar os valores médios percentuais de cada CAD, significando sobras variáveis de água segundo as precipitações ocorridas no mês de janeiro nos diversos anos estudados.

Na Figura 14, verifica-se que (i) em 11,4% dos anos analisados ocorreram deficiência hídrica para a CAD de 25 mm; 5,71% para a CAD de 50 mm; e 8,57% para as CAD de 75; 100; 150 e 200 mm. Entretanto, em 88,6% dos anos da série histórica de (1969 a 2003) não ocorreram deficiências hídricas no mês de maio para a região mesoclimática de Santa Maria, ao se considerar

os valores médios percentuais de cada CAD, significando sobras variáveis de água segundo as precipitações ocorridas no mês de janeiro nos diversos anos estudados; (ii) para as CAD estudadas e em 100% dos anos analisados, não ocorreram deficiências hídricas no mês de junho para a região mesoclimática de Santa Maria. Portanto, em todos os anos analisados ocorreram sobras variáveis de água segundo as precipitações ocorridas no mês de janeiro nos diversos anos estudados; (iii) para as CAD estudadas e em 100% dos anos analisados, não ocorreram deficiências hídricas no mês de julho para a região mesoclimática de Santa Maria. Portanto, em todos os anos analisados ocorreram sobras variáveis de água segundo as precipitações ocorridas no mês de janeiro nos diversos anos estudados; e (iv) em 11,4% dos anos analisados ocorreram deficiência hídrica para as CAD de 25 e 50 mm; 8,57% para a CAD de 150 mm; 5,71% para as CAD de 200 mm. Entretanto, segundo a série histórica de (1969 a 2003) não ocorreram deficiências hídricas para as CAD de 75 e 100 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, ao se considerar os valores das precipitações ocorridas no mês de agosto.

Na Figura 15, (i) verifica-se que em somente 2,8% dos anos analisados para o mês de setembro ocorreram deficiência hídrica para as CAD de 25 mm, sendo que para as demais CAD não ocorreram deficiências, devido o nível de precipitação ocorrida neste mês considerando a série histórica estudada; (ii) são apresentados os dados de deficiência hídrica que mostram um percentual de 17,1% para a CAD de 25 mm e 14,3% para as CAD de 50; 75; 100; 150 e 200 mm. Entretanto, ao se considerar os valores médios das respectivas CAD se pode deduzir que, em 35,2% dos anos estudados no mês de outubro, não houve deficiência hídrica para a região mesoclimática de Santa Maria, RS; (iii) pode-se observar que em toda a série estudada foi possível definir deficiências hídricas nas diversas CAD analisadas. Para a CAD de 25 mm obteve-se um percentual de 34,3%; para a CAD de 50 mm foi de 31,4%; para as CAD de 75 e 100 mm foi de 25,7% e 22,8% para as CAD de 150 e 200 mm, respectivamente. Entretanto, ao se considerar os valores médios das CAD estudadas para o mês de novembro, verificou-se que em 42,9% dos anos não ocorreram falta de água devido exclusivamente as precipitações que supriram com água os solos da região; e (iv) observou-se que em 42,8% dos anos estudados considerando-se o mês de dezembro, tem-se uma deficiência hídrica para as CAD de 25; 50; 75; e 100 mm; e 40,0% para as CAD de 150 e 200 mm, para o mês de dezembro na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Entretanto, ao se considerar os valores médios das CAD verifica-se que em 17,2% dos anos não ocorreu estresse por deficiência.

Figura 13 - Deficiência hídrica (DH, mm.mês⁻¹), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 14 - Deficiência hídrica (DH, mm.mês⁻¹), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 15 - Deficiência hídrica (DH, mm.mês⁻¹), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

4.6 Excedente hídrico

Ocorreu excedente hídrico em todos os meses do ano (Figuras 16, 17 e 18). Isso indica que em áreas com agricultura, torna-se necessário adotar técnicas conservacionistas para minimizar problemas de erosão, a qual causa prejuízo tanto para o agricultor quanto para a sociedade.

No caso do agricultor, a erosão reduz a fertilidade do solo por carrear a parte mais superficial do horizonte A, onde se encontra maior teor de matéria orgânica e de nutrientes.

No caso da sociedade, a erosão ao carrear os sedimentos superficiais, carreiam junto produtos químicos existentes no solo, como herbicidas principalmente (herbicidas aplicados em pré-emergência e em pós-emergência).

A perda de 12 a 14 toneladas de solo por hectare representa uma perda de uma camada média do 1 mm superficial em solos de 1,2 (solos argilosos) a 1,4 (solos arenosos) g.cm^{-3} , respectivamente.

Nas áreas urbanas, principalmente nos locais com relevo acidentado, torna-se importante o planejamento da rede de drenagem. Além do planejamento, a correta construção de drenos superficiais podem minimizar acidentes (construção civil) e alagamentos.

O paisagismo deve utilizar espécies adequadas e visar a máxima infiltração da água de chuva, como a utilização de áreas gramadas que protegem o solo contra ação da chuva, e aumentam a rugosidade hidráulica, aumentando assim a infiltração de água no solo, minimizando os problemas de enchentes.

Do ponto de vista ambiental, é fundamental a existência de cobertura vegetal principalmente nas áreas adjacentes aos drenos naturais, o que contituem as áreas de preservação permanente. As reservas legais devem ser alocadas em solos de maior erodibilidade, em locais mais declivosos e se possível fazendo a interligação entre diferentes áreas de preservação permanente.

No período de 1969 a 2003 (35 anos), os valores médios de excedente hídrico em janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro foram, respectivamente, de 39, 35, 52, 81, 90, 134, 129, 91, 100, 84, 47 e 32 mm, levando em consideração os valores nulos (meses que não ocorreram excedente hídrico) e a capacidade de água disponível de 50 mm.

Figura 16 - Excedente hídrico (EH, mm.mês⁻¹), referente aos meses de janeiro a abril (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 17 - Excedente hídrico (EH, mm.mês⁻¹), referente aos meses de maio a agosto (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 18 - Excedente hídrico (EH, mm.mês⁻¹), referente aos meses de setembro a dezembro (série histórica de 35 anos - 1969 a 2003) e aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm, na região mesoclimática de Santa Maria, RS

4.7 Classificação climática segundo Köppen

A classificação climática segundo Köppen (1931) (Tabela 21) , utilizando períodos de 1 ano, em Santa Maria, RS, apresentou os seguintes cinco tipos (Tabela 22): (1) Cfga: 15 em 35 anos (frequência de 43%); (2) Cwga: 10 em 35 anos (frequência de 29%); (3) Cfsga: 3 em 35 anos (frequência de 8%); (4) Cfsga: 3 em 35 anos (frequência de 8%); e (5) Cfg'a: 4 em 35 anos (frequência de 12%).

Tabela 21 - Classificação climática (série histórica de 35 anos: 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1 ano

Ano	Köppen	Ano	Köppen	Ano	Köppen
1969	Cfga	1981	Csga	1993	Csga
1970	Cwga	1982	Cwga	1994	Cfg'a
1971	Cwga	1983	Cwga	1995	Cfg'a
1972	Cfga	1984	Cwga	1996	Csga
1973	Cfga	1985	Cfg'a	1997	Cfga
1974	Cfga	1986	Cwga	1998	Cfga
1975	Cfga	1987	Cwga	1999	Cwga
1976	Cfga	1988	Cfga	2000	Cwga
1977	Cwga	1989	Cfga	2001	Cfsga
1978	Cfsga	1990	Cfga	2002	Cfga
1979	Cfga	1991	Cfg'a	2003	Cfsga
1980	Cfga	1992	Cfga		

Tabela 22 - Análise dos sistemas de classificação climática proposto por Köppen (1931) referente à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1 ano

Id	Ano	Köppen	Id	Ano	Köppen	Id	Ano	Köppen
1	1969	Cfga (15)	16	1985	Cfg'a (4)	26	1970	Cwga (10)
2	1972	Cfga	17	1991	Cfg'a	27	1971	Cwga
3	1973	Cfga	18	1994	Cfg'a	28	1977	Cwga
4	1974	Cfga	19	1995	Cfg'a	29	1982	Cwga
5	1975	Cfga				30	1983	Cwga
6	1976	Cfga	20	1978	Cfsga (3)	31	1984	Cwga
7	1979	Cfga	21	2001	Cfsga	32	1986	Cwga
8	1980	Cfga	22	2003	Cfsga	33	1987	Cwga
9	1988	Cfga				34	1999	Cwga
10	1989	Cfga	23	1981	Csga (3)	35	2000	Cwga
11	1990	Cfga	24	1993	Csga			
12	1992	Cfga	25	1996	Csga			
13	1997	Cfga						
14	1998	Cfga						
15	2002	Cfga						

* Frequência entre parênteses

Tabela 23 - Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 5 anos

Período	Köppen	Período	Köppen	Período	Köppen
1969 a 1973	Cwga	1980 a 1984	Cwga	1990 a 1994	Cfga
1970 a 1974	Cwga	1981 a 1985	Cwga	1991 a 1995	Cwg'a
1971 a 1975	Cfga	1982 a 1986	Cwga	1992 a 1996	Cfga
1972 a 1976	Cfga	1983 a 1987	Cwga	1993 a 1997	Cfga
1973 a 1977	Cfga	1984 a 1988	Cfga	1994 a 1998	Cfga
1974 a 1978	Cfga	1985 a 1989	Cfga	1995 a 1999	Cfga
1975 a 1979	Cwga	1986 a 1990	Cfga	1996 a 2000	Cfga
1976 a 1980	Cfga	1987 a 1991	Cfga	1997 a 2001	Cfga
1977 a 1981	Cfga	1988 a 1992	Cfga	1998 a 2002	Cfga
1978 a 1982	Cfga	1989 a 1993	Cfga	1999 a 2003	Cfga
1979 a 1983	Cfga				

* 3 tipos (frequência): Cfga (23). Cwga (7). Cwg'a (1).

Tabela 24 - Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 10 anos

Período	Köppen	Período	Köppen	Período	Köppen
1969 a 1978	Cfga	1978 a 1987	Cwga	1987 a 1996	Cfga
1970 a 1979	Cfga	1979 a 1988	Cwga	1988 a 1997	Cfga
1971 a 1980	Cfga	1980 a 1989	Cwga	1989 a 1998	Cfga
1972 a 1981	Cfga	1981 a 1990	Cwga	1990 a 1999	Cfga
1973 a 1982	Cwga	1982 a 1991	Cfga	1991 a 2000	Cfga
1974 a 1983	Cwga	1983 a 1992	Cfga	1992 a 2001	Cfga
1975 a 1984	Cwga	1984 a 1993	Cfga	1993 a 2002	Cfga
1976 a 1985	Cwga	1985 a 1994	Cfga	1994 a 2003	Cfga
1977 a 1986	Cwga	1986 a 1995	Cfga		

* 2 tipos (frequência): Cfga (17). Cwga (9).

Tabela 25 - Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 15 anos

Período	Köppen	Período	Köppen	Período	Köppen
1969 a 1983	Cwga	1976 a 1990	Cwga	1983 a 1997	Cfga
1970 a 1984	Cwga	1977 a 1991	Cfga	1984 a 1998	Cfga
1971 a 1985	Cwga	1978 a 1992	Cfga	1985 a 1999	Cfga
1972 a 1986	Cwga	1979 a 1993	Cfga	1986 a 2000	Cfga
1973 a 1987	Cwga	1980 a 1994	Cwga	1987 a 2001	Cfga
1974 a 1988	Cwga	1981 a 1995	Cwga	1988 a 2002	Cfga
1975 a 1989	Cwga	1982 a 1996	Cfga	1989 a 2003	Cfga

* 2 tipos (frequência): Cwga (11) e Cfga (10).

Tabela 26 - Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 20 anos

Período	Köppen	Período	Köppen	Período	Köppen
1969 a 1988	Cwga	1975 a 1994	Cwga	1980 a 1999	Cwga
1970 a 1989	Cwga	1976 a 1995	Cwga	1981 a 2000	Cwga
1971 a 1990	Cwga	1977 a 1996	Cfga	1982 a 2001	Cfga
1972 a 1991	Cwga	1978 a 1997	Cwga	1983 a 2002	Cfga
1973 a 1992	Cfga	1979 a 1998	Cfga	1984 a 2003	Cfga
1974 a 1993	Cwga				

* 2 tipos (frequência): Cwga (10) e Cfga (6).

Tabela 27 - Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 25 anos

Período	Köppen	Período	Köppen	Período	Köppen
1969 a 1993	Cwga	1973 a 1997	Cwga	1977 a 2001	Cfga
1970 a 1994	Cwga	1974 a 1998	Cwga	1978 a 2002	Cwga
1971 a 1995	Cwga	1975 a 1999	Cwga	1979 a 2003	Cfga
1972 a 1996	Cwga	1976 a 2000	Cwga		

* 2 tipos (frequência): Cwga (9) e Cfga (2).

Tabela 28 - Classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 30 anos

Período	Köppen	Período	Köppen	Período	Köppen
1969 a 1998	Cwga	1971 a 2000	Cwga	1973 a 2002	Cwga
1970 a 1999	Cwga	1972 a 2001	Cwga	1974 a 2003	Cwga

* 1 tipo (frequência): Cwga (6).

Figura 19 - Número de classes de clima segundo a classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 anos

O número de classes de clima, segundo a classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Köppen (1931) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1 (Tabelas 21 e 22), 5 (Tabela 23), 10 (Tabela 24), 15 (Tabela 25), 20 (Tabela 26), 25 (Tabela 27), 30 (Tabela 28) e 35 anos (Tabela 20), variou de 5 a 1 (Figura 19). A medida que o número de anos aumenta, aumenta a estabilidade da classificação.

Quando se utilizou períodos de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 anos, foram obtidas as seguintes classificações mais frequentes: Cfga (43%: 15 em 35 períodos de 1 ano) (Tabelas 21 e

22), Cfga (74%: 23 em 31 períodos de 5 anos) (Tabela 23), Cfga (65%: 17 em 26 períodos de 10 anos) (Tabela 24), Cwga (52%: 11 em 21 períodos de 15 anos) (Tabela 25), Cwga (63%: 10 em 16 períodos de 20 anos) (Tabela 26), Cwga (82%: 9 em 11 períodos de 25 anos) (Tabela 27), Cwga (100%: 6 em 6 períodos de 30 anos), (Tabela 28) e Cwga (100%: 1 em 1 período de 35 anos) (Tabela 20), respectivamente.

4.8 Classificação climática segundo Thornthwaite

Os valores médios anuais de temperatura do ar, evapotranspiração potencial de referência, evapotranspiração real, deficiência hídrica e excedente hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955), bem como os valores totais anuais de precipitação, e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS, para os valores de capacidade de água disponível de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm estão apresentadas nas Tabelas 29, 30, 31, 32, 33 e 34, respectivamente.

A classificação climática segundo Thornthwaite (1948), em Santa Maria, RS, assumindo capacidade de água disponível de 25 mm, apresentou os seguintes sete tipos: (1) A r B'3 a': 12 em 35 anos (frequência de 34,3%); (2) A r B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (3) B1 r B'3 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (4) B2 r B'3 a': 4 em 35 anos (frequência de 11,4%); (5) B2 w B'3 a': 3 em 35 anos (frequência de 8,6%); (6) B3 r B'3 a': 3 em 35 anos (frequência de 8,6%); (7) B3 w B'3 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (8) B4 r B'3 a': 9 em 35 anos (frequência de 25,7%) e (9) B4 w B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%) (Tabela 29).

A classificação climática segundo Thornthwaite (1948), em Santa Maria, RS, assumindo capacidade de água disponível de 50 mm, apresentou os seguintes sete tipos: (1) A r B'3 a': 12 em 35 anos (frequência de 34,3%); (2) A r B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (3) B1 r B'3 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (4) B2 r B'3 a': 6 em 35 anos (frequência de 17,1%); (5) B2 w B'3 a': 2 em 35 anos (frequência de 5,7%); (6) B3 r B'3 a': 3 em 35 anos (frequência de 8,6%); (7) B3 w B'3 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (8) B4 r B'3 a': 7 em 35 anos (frequência de 20%); (9) B4 r B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); e (10) B4 w B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%) (Tabela 30).

Tabela 29 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T, °C), evapotranspiração potencial de referência (ET_o, mm.ano⁻¹), evapotranspiração real (ET_r, mm.ano⁻¹), deficiência hídrica (DH, mm.ano⁻¹) e excedente hídrico (EH, mm.ano⁻¹) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C, mm.ano⁻¹), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 25 mm

Ano	T	ET _o	C	ET _r	DH	EH	Thornthwaite
1969	19,1	898	1641	898	0	743	B4 r B'3 a'
1970	19,4	924	1439	806	117	632	B3 r B'3 a'
1971	19,2	930	1387	866	64	522	B2 r B'3 a'
1972	19,5	913	2080	833	80	1247	A r B'3 a'
1973	19,3	928	1734	859	69	875	B4 r B'3 a'
1974	19,3	916	1326	866	50	460	B2 r B'3 a'
1975	19,5	918	1718	902	16	815	B4 r B'3 a'
1976	18,9	901	1619	802	99	818	B4 r B'3 a'
1977	20,5	996	2058	990	7	1068	A r B'3 a'
1978	19,6	942	1235	873	70	362	B1 r B'3 a'
1979	19,2	923	1586	740	183	846	B3 w B'3 a'
1980	20,0	976	1367	894	82	473	B2 r B'3 a'
1981	20,3	979	1387	834	145	554	B2 r B'3 a'
1982	20,2	955	2310	818	137	1492	A r B'3 a'
1983	19,5	954	1727	884	70	843	B4 r B'3 a'
1984	19,8	965	2443	891	74	1553	A r B'3 a'
1985	20,5	1007	1871	732	275	1139	B4 w B'4 a'
1986	20,4	992	2214	862	130	1352	A r B'3 a'
1987	19,3	932	2101	932	0	1169	A r B'3 a'
1988	19,0	927	1582	780	147	802	B3 r B'3 a'
1989	19,4	943	1421	772	171	649	B2 w B'3 a'
1990	19,5	954	1822	930	24	891	B4 r B'3 a'
1991	20,4	989	1394	721	268	673	B2 w B'3 a'
1992	19,5	940	1747	895	45	851	B4 r B'3 a'
1993	19,7	951	1964	922	29	1043	A r B'3 a'
1994	20,2	973	2130	853	120	1277	A r B'3 a'
1995	20,1	973	1446	771	202	675	B2 w B'3 a'
1996	19,5	957	1696	876	81	820	B4 r B'3 a'
1997	20,1	973	1999	882	91	1117	A r B'3 a'
1998	19,6	935	2159	930	4	1229	A r B'3 a'
1999	19,7	957	1617	865	92	752	B3 r B'3 a'
2000	19,6	947	2055	937	10	1117	A r B'3 a'
2001	21,0	1027	1934	1003	24	931	B4 r B'4 a'
2002	20,5	1003	2672	988	16	1684	A r B'4 a'
2003	20,0	966	2190	966	0	1224	A r B'3 a'

Tabela 30 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm

Ano	ET_r	DH	EH	Thornthwaite
1969	898	0	743	B4 r B'3 a'
1970	839	85	600	B2 r B'3 a'
1971	883	47	504	B2 r B'3 a'
1972	850	63	1231	A r B'3 a'
1973	882	46	852	B4 r B'3 a'
1974	884	32	442	B2 r B'3 a'
1975	909	10	809	B4 r B'3 a'
1976	831	70	788	B4 r B'3 a'
1977	993	4	1065	A r B'3 a'
1978	891	52	344	B1 r B'3 a'
1979	764	159	821	B3 w B'3 a'
1980	918	58	449	B2 r B'3 a'
1981	868	111	520	B2 r B'3 a'
1982	853	102	1457	A r B'3 a'
1983	907	47	820	B4 r B'3 a'
1984	915	50	1529	A r B'3 a'
1985	757	250	1114	B4 w B'4 a'
1986	885	107	1329	A r B'3 a'
1987	932	0	1169	A r B'3 a'
1988	803	124	779	B3 r B'3 a'
1989	800	143	620	B2 r B'3 a'
1990	939	15	882	B4 r B'3 a'
1991	767	222	627	B2 w B'3 a'
1992	909	31	837	B4 r B'3 a'
1993	933	18	1031	A r B'3 a'
1994	884	90	1247	A r B'3 a'
1995	798	175	648	B2 w B'3 a'
1996	905	53	792	B3 r B'3 a'
1997	910	63	1090	A r B'3 a'
1998	932	2	1227	A r B'3 a'
1999	882	75	734	B3 r B'3 a'
2000	942	6	1113	A r B'3 a'
2001	1012	15	922	B4 r B'4 a'
2002	994	9	1678	A r B'4 a'
2003	966	0	1224	A r B'3 a'

Tabela 31 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 75 mm

Ano	ET_r	DH	EH	Thornthwaite
1969	898	0	743	B4 r B'3 a'
1970	858	66	581	B2 r B'3 a'
1971	893	36	494	B2 r B'3 a'
1972	862	51	1218	A r B'3 a'
1973	894	34	840	B4 r B'3 a'
1974	893	23	433	B2 r B'3 a'
1975	912	7	806	B4 r B'3 a'
1976	848	53	772	B4 r B'3 a'
1977	994	3	1064	A r B'3 a'
1978	902	40	333	B1 r B'3 a'
1979	785	138	800	B3 r B'3 a'
1980	931	45	436	B2 r B'3 a'
1981	889	89	498	B2 r B'3 a'
1982	875	80	1435	A r B'3 a'
1983	919	35	808	B4 r B'3 a'
1984	927	38	1516	A r B'3 a'
1985	781	227	1090	B4 w B'4 a'
1986	902	90	1311	A r B'3 a'
1987	932	0	1169	A r B'3 a'
1988	821	106	761	B3 r B'3 a'
1989	822	121	599	B2 r B'3 a'
1990	944	11	878	B4 r B'3 a'
1991	803	186	591	B2 w B'3 a'
1992	917	24	830	B4 r B'3 a'
1993	938	13	1026	A r B'3 a'
1994	903	71	1228	A r B'3 a'
1995	821	152	625	B2 r B'3 a'
1996	918	39	778	B3 r B'3 a'
1997	925	48	1075	A r B'3 a'
1998	933	2	1226	A r B'3 a'
1999	895	62	722	B3 r B'3 a'
2000	943	4	1111	A r B'3 a'
2001	1016	11	918	B4 r B'4 a'
2002	997	7	1675	A r B'4 a'
2003	966	0	1224	A r B'3 a'

Tabela 32 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 100 mm

Ano	ET_r	DH	EH	Thornthwaite
1969	898	0	743	B4 r B'3 a'
1970	870	54	568	B2 r B'3 a'
1971	900	30	487	B2 r B'3 a'
1972	870	43	1210	A r B'3 a'
1973	901	27	833	B4 r B'3 a'
1974	898	18	428	B2 r B'3 a'
1975	913	5	805	B4 r B'3 a'
1976	858	43	761	B4 r B'3 a'
1977	994	2	1063	A r B'3 a'
1978	909	33	326	B1 r B'3 a'
1979	803	121	783	B3 r B'3 a'
1980	940	36	427	B2 r B'3 a'
1981	904	74	483	B2 r B'3 a'
1982	889	66	1421	A r B'3 a'
1983	925	29	803	B4 r B'3 a'
1984	935	30	1509	A r B'3 a'
1985	802	205	1069	B4 w B'4 a'
1986	916	76	1298	A r B'3 a'
1987	932	0	1169	A r B'3 a'
1988	836	91	746	B3 r B'3 a'
1989	839	105	582	B2 r B'3 a'
1990	946	8	876	B4 r B'3 a'
1991	830	159	564	B2 r B'3 a'
1992	922	19	825	B4 r B'3 a'
1993	941	10	1024	A r B'3 a'
1994	915	58	1215	A r B'3 a'
1995	839	134	607	B2 r B'3 a'
1996	926	31	770	B3 r B'3 a'
1997	934	38	1065	A r B'3 a'
1998	933	1	1226	A r B'3 a'
1999	905	52	712	B3 r B'3 a'
2000	944	3	1110	A r B'3 a'
2001	1019	8	915	B4 r B'4 a'
2002	998	5	1674	A r B'4 a'
2003	966	0	1224	A r B'3 a'

Tabela 33 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 150 mm

Ano	ET_r	DH	EH	Thornthwaite
1969	898	0	743	B4 r B'3 a'
1970	885	39	554	B2 r B'3 a'
1971	908	22	479	B2 r B'3 a'
1972	881	32	1199	A r B'3 a'
1973	909	19	825	B4 r B'3 a'
1974	903	13	423	B2 r B'3 a'
1975	915	4	803	B4 r B'3 a'
1976	870	31	749	B4 r B'3 a'
1977	995	1	1063	A r B'3 a'
1978	918	24	317	B1 r B'3 a'
1979	828	96	758	B3 r B'3 a'
1980	950	26	417	B2 r B'3 a'
1981	923	56	464	B2 r B'3 a'
1982	907	48	1403	A r B'3 a'
1983	932	22	795	B4 r B'3 a'
1984	943	21	1500	A r B'3 a'
1985	837	170	1034	B4 w B'4 a'
1986	933	58	1280	A r B'3 a'
1987	932	0	1169	A r B'3 a'
1988	856	71	726	B3 r B'3 a'
1989	862	81	559	B2 r B'3 a'
1990	948	6	874	B4 r B'3 a'
1991	866	123	528	B2 r B'3 a'
1992	927	14	820	B4 r B'3 a'
1993	944	7	1021	A r B'3 a'
1994	931	43	1200	A r B'3 a'
1995	866	107	579	B2 r B'3 a'
1996	936	22	761	B3 r B'3 a'
1997	945	27	1054	A r B'3 a'
1998	934	1	1226	A r B'3 a'
1999	917	40	699	B3 r B'3 a'
2000	945	2	1109	A r B'3 a'
2001	1021	6	913	B4 r B'4 a'
2002	1000	4	1672	A r B'4 a'
2003	966	0	1224	A r B'3 a'

Tabela 34 -Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 200 mm

Ano	ET_r	DH	EH	Thornthwaite
1969	898	0	743	B4 r B'3 a'
1970	893	31	545	B2 r B'3 a'
1971	913	17	475	B2 r B'3 a'
1972	888	25	1193	A r B'3 a'
1973	913	15	821	B4 r B'3 a'
1974	906	10	420	B2 r B'3 a'
1975	916	3	802	B4 r B'3 a'
1976	877	24	742	B4 r B'3 a'
1977	995	1	1062	A r B'3 a'
1978	923	19	311	B1 r B'3 a'
1979	845	79	741	B3 r B'3 a'
1980	955	20	411	B2 r B'3 a'
1981	934	44	453	B2 r B'3 a'
1982	917	38	1393	A r B'3 a'
1983	936	18	791	B4 r B'3 a'
1984	948	17	1495	A r B'3 a'
1985	863	145	1008	B4 r B'4 a'
1986	945	47	1269	A r B'3 a'
1987	932	0	1169	A r B'3 a'
1988	869	58	713	B3 r B'3 a'
1989	877	66	544	B2 r B'3 a'
1990	950	4	872	B4 r B'3 a'
1991	889	99	505	B2 r B'3 a'
1992	930	11	817	B4 r B'3 a'
1993	945	5	1019	A r B'3 a'
1994	940	34	1191	A r B'3 a'
1995	885	88	561	B2 r B'3 a'
1996	940	17	756	B3 r B'3 a'
1997	951	21	1048	A r B'3 a'
1998	934	1	1226	A r B'3 a'
1999	925	32	691	B3 r B'3 a'
2000	946	2	1109	A r B'3 a'
2001	1022	4	911	B4 r B'4 a'
2002	1000	3	1671	A r B'4 a'
2003	966	0	1224	A r B'3 a'

Tabela 35 - Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 25 mm

Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite
1	1972	A r B'3 a' (12)	15	1971	B2 r B'3 a' (4)		1969	B4 r B'3 a' (9)
2	1977	A r B'3 a'	16	1974	B2 r B'3 a'	27	1973	B4 r B'3 a'
3	1982	A r B'3 a'	17	1980	B2 r B'3 a'	28	1975	B4 r B'3 a'
4	1984	A r B'3 a'	18	1981	B2 r B'3 a'	29	1976	B4 r B'3 a'
5	1986	A r B'3 a'				30	1983	B4 r B'3 a'
6	1987	A r B'3 a'	19	1989	B2 w B'3 a' (3)	31	1990	B4 r B'3 a'
7	1993	A r B'3 a'	20	1991	B2 w B'3 a'	32	1992	B4 r B'3 a'
8	1994	A r B'3 a'	21	1995	B2 w B'3 a'	33	1996	B4 r B'3 a'
9	1997	A r B'3 a'	22			34	2001	B4 r B'4 a'
10	1998	A r B'3 a'	23	1970	B3 r B'3 a' (3)			
11	2000	A r B'3 a'	24	1988	B3 r B'3 a'	35	1985	B4 w B'4 a' (1)
12	2003	A r B'3 a'	25	1999	B3 r B'3 a'			
			26					
13	2002	A r B'4 a' (1)		1979	B3 w B'3 a' (1)			
14	1978	B1 r B'3 a' (1)						

* Frequência entre parênteses

Tabela 36 - Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm

Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite
1	1972	A r B'3 a' (12)	15	1970	B2 r B'3 a' (6)	27	1969	B4 r B'3 a' (7)
2	1977	A r B'3 a'	16	1971	B2 r B'3 a'	28	1973	B4 r B'3 a'
3	1982	A r B'3 a'	17	1974	B2 r B'3 a'	29	1975	B4 r B'3 a'
4	1984	A r B'3 a'	18	1980	B2 r B'3 a'	30	1976	B4 r B'3 a'
5	1986	A r B'3 a'	19	1981	B2 r B'3 a'	31	1983	B4 r B'3 a'
6	1987	A r B'3 a'	20	1989	B2 r B'3 a'	32	1990	B4 r B'3 a'
7	1993	A r B'3 a'				33	1992	B4 r B'3 a'
8	1994	A r B'3 a'	21	1991	B2 w B'3 a' (2)			
9	1997	A r B'3 a'	22	1995	B2 w B'3 a'	34	2001	B4 r B'4 a' (1)
10	1998	A r B'3 a'						
11	2000	A r B'3 a'	23	1988	B3 r B'3 a' (3)	35	1985	B4 w B'4 a' (1)
12	2003	A r B'3 a'	24	1996	B3 r B'3 a'			
			25	1999	B3 r B'3 a'			
13	2002	A r B'4 a' (1)						
			26	1979	B3 w B'3 a' (1)			
14	1978	B1 r B'3 a' (1)						

* Frequência entre parênteses

A classificação climática segundo Thornthwaite (1948), em Santa Maria, RS, assumindo capacidade de água disponível de 75 mm, apresentou os seguintes sete tipos: (1) A r B'3 a': 12 em 35 anos (frequência de 34,3%); (2) A r B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (3) B1 r B'3 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (4) B2 r B'3 a': 7 em 35 anos (frequência de 20,0%); (5) B2 w B'3 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (6) B3 r B'3 a': 4 em 35 anos (frequência de 11,4%); (7) B4 r B'3 a': 8 em 35 anos (frequência de 22,9%); e (8) B4 w B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%) (Tabela 31).

Em grande parte da região mesoclimática de Santa Maria, RS, o solo característico é o ARGISSOLO VERMELHO distrófico arênico (SILVA et al., 2008).

Por outro lado, a variação dos elementos meteorológicos de um ano para outro são evidenciados pelo cálculo da evapotranspiração real, do excedente e da deficiência hídrica. Porém, quando a abordagem é a classificação climática, séries diferentes, porém acima de 30 anos, também podem apresentar resultados análogos. Ou seja, dependendo da série utilizada, obtém-se uma classificação climática específica.

Tabela 37 - Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 75 mm

Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite
1	1972	A r B'3 a' (12)	15	1970	B2 r B'3 a' (7)	27	1969	B4 r B'3 a' (8)
2	1977	A r B'3 a'	16	1971	B2 r B'3 a'	28	1973	B4 r B'3 a'
3	1982	A r B'3 a'	17	1974	B2 r B'3 a'	29	1975	B4 r B'3 a'
4	1984	A r B'3 a'	18	1980	B2 r B'3 a'	30	1976	B4 r B'3 a'
5	1986	A r B'3 a'	19	1981	B2 r B'3 a'	31	1983	B4 r B'3 a'
6	1987	A r B'3 a'	20	1989	B2 r B'3 a'	32	1990	B4 r B'3 a'
7	1993	A r B'3 a'	21	1995	B2 r B'3 a'	33	1992	B4 r B'3 a'
8	1994	A r B'3 a'				34	2001	B4 r B'4 a'
9	1997	A r B'3 a'	22	1991	B2 w B'3 a' (1)			
10	1998	A r B'3 a'				35	1985	B4 w B'4 a' (1)
11	2000	A r B'3 a'	23	1979	B3 r B'3 a' (4)			
12	2003	A r B'3 a'	24	1988	B3 r B'3 a'			
			25	1996	B3 r B'3 a'			
13	2002	A r B'4 a' (1)	26	1999	B3 r B'3 a'			
14	1978	B1 r B'3 a' (1)						

* Frequência entre parênteses

A classificação climática segundo Thornthwaite (1948), em Santa Maria, RS, assumindo capacidade de água disponível de 100 mm, apresentou os seguintes sete tipos: (1) A r B'3 a': 12

em 35 anos (frequência de 34,3%); (2) A r B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (3) B1 r B'3 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (4) B2 r B'3 a': 8 em 35 anos (frequência de 22,9%); (5) B3 r B'3 a': 4 em 35 anos (frequência de 11,4%); (6) B4 r B'3 a': 7 em 35 anos (frequência de 20%); (7) B4 r B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); e (8) B4 w B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%) (Tabela 32).

Tabela 38 - Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 100 mm

Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite
1	1972	A r B'3 a' (12)	15	1970	B2 r B'3 a' (8)	27	1969	B4 r B'3 a' (7)
2	1977	A r B'3 a'	16	1971	B2 r B'3 a'	28	1973	B4 r B'3 a'
3	1982	A r B'3 a'	17	1974	B2 r B'3 a'	29	1975	B4 r B'3 a'
4	1984	A r B'3 a'	18	1980	B2 r B'3 a'	30	1976	B4 r B'3 a'
5	1986	A r B'3 a'	19	1981	B2 r B'3 a'	31	1983	B4 r B'3 a'
6	1987	A r B'3 a'	20	1989	B2 r B'3 a'	32	1990	B4 r B'3 a'
7	1993	A r B'3 a'	21	1991	B2 r B'3 a'	33	1992	B4 r B'3 a'
8	1994	A r B'3 a'	22	1995	B2 r B'3 a'			
9	1997	A r B'3 a'				34	2001	B4 r B'4 a' (1)
10	1998	A r B'3 a'	23	1979	B3 r B'3 a' (4)			
11	2000	A r B'3 a'	24	1988	B3 r B'3 a'	35	1985	B4 w B'4 a' (1)
12	2003	A r B'3 a'	25	1996	B3 r B'3 a'			
			26	1999	B3 r B'3 a'			
13	2002	A r B'4 a' (1)						
14	1978	B1 r B'3 a' (1)						

* Frequência entre parênteses

A classificação climática segundo Thornthwaite (1948), em Santa Maria, RS, assumindo capacidade de água disponível de 150 mm, apresentou os seguintes sete tipos: (1) A r B'3 a': 12 em 35 anos (frequência de 34,3%); (2) A r B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (3) B1 r B'3 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (4) B2 r B'3 a': 8 em 35 anos (frequência de 22,9%); (5) B3 r B'3 a': 4 em 35 anos (frequência de 11,4%); (6) B4 r B'3 a': 8 em 35 anos (frequência de 22,9%); e (7) B4 w B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%) (Tabela 33).

Tabela 39 - Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 150 mm

Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite
1	1972	A r B'3 a' (12)	15	1970	B2 r B'3 a' (8)	27	1969	B4 r B'3 a' (7)
2	1977	A r B'3 a'	16	1971	B2 r B'3 a'	28	1973	B4 r B'3 a'
3	1982	A r B'3 a'	17	1974	B2 r B'3 a'	29	1975	B4 r B'3 a'
4	1984	A r B'3 a'	18	1980	B2 r B'3 a'	30	1976	B4 r B'3 a'
5	1986	A r B'3 a'	19	1981	B2 r B'3 a'	31	1983	B4 r B'3 a'
6	1987	A r B'3 a'	20	1989	B2 r B'3 a'	32	1990	B4 r B'3 a'
7	1993	A r B'3 a'	21	1991	B2 r B'3 a'	33	1992	B4 r B'3 a'
8	1994	A r B'3 a'	22	1995	B2 r B'3 a'	34	2001	B4 r B'4 a'
9	1997	A r B'3 a'						
10	1998	A r B'3 a'	23	1979	B3 r B'3 a' (4)	35	1985	B4 w B'4 a' (1)
11	2000	A r B'3 a'	24	1988	B3 r B'3 a'			
12	2003	A r B'3 a'	25	1996	B3 r B'3 a'			
			26	1999	B3 r B'3 a'			
13	2002	A r B'4 a' (1)						
14	1978	B1 r B'3 a' (1)						

* Frequência entre parênteses

A classificação climática segundo Thornthwaite (1948), em Santa Maria, RS, assumindo capacidade de água disponível de 200 mm, apresentou os seguintes sete tipos: (1) A r B'3 a': 12 em 35 anos (frequência de 34,3%); (2) A r B'4 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (3) B1 r B'3 a': 1 em 35 anos (frequência de 2,9%); (4) B2 r B'3 a': 8 em 35 anos (frequência de 22,9%); (5) B3 r B'3 a': 4 em 35 anos (frequência de 11,4%); (6) B4 r B'3 a': 7 em 35 anos (frequência de 20,0%); e (7) B4 w B'4 a': 2 em 35 anos (frequência de 5,7%) (Tabela 34).

Tabela 40 - Análise dos sistemas de classificação climática propostos por Thornthwaite (1948), referentes à série de 1969 a 2003 (35 anos) na região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 200 mm

Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite	Id	Ano	Thornthwaite
1	1972	A r B'3 a' (12)	15	1970	B2 r B'3 a' (8)	27	1969	B4 r B'3 a' (7)
2	1977	A r B'3 a'	16	1971	B2 r B'3 a'	28	1973	B4 r B'3 a'
3	1982	A r B'3 a'	17	1974	B2 r B'3 a'	29	1975	B4 r B'3 a'
4	1984	A r B'3 a'	18	1980	B2 r B'3 a'	30	1976	B4 r B'3 a'
5	1986	A r B'3 a'	19	1981	B2 r B'3 a'	31	1983	B4 r B'3 a'
6	1987	A r B'3 a'	20	1989	B2 r B'3 a'	32	1990	B4 r B'3 a'
7	1993	A r B'3 a'	21	1991	B2 r B'3 a'	33	1992	B4 r B'3 a'
8	1994	A r B'3 a'	22	1995	B2 r B'3 a'			
9	1997	A r B'3 a'				34	1985	B4 r B'4 a' (2)
10	1998	A r B'3 a'	23	1979	B3 r B'3 a' (4)	35	2001	B4 r B'4 a'
11	2000	A r B'3 a'	24	1988	B3 r B'3 a'			
12	2003	A r B'3 a'	25	1996	B3 r B'3 a'			
			26	1999	B3 r B'3 a'			
13	2002	A r B'4 a' (1)						
14	1978	B1 r B'3 a' (1)						

* Frequência entre parênteses

Tabela 41 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , °C), evapotranspiração potencial de referência (ETo , mm.ano⁻¹), evapotranspiração real (ETr , mm.ano⁻¹), deficiência hídrica (DH , mm.ano⁻¹) e excedente hídrico (EH , mm.ano⁻¹) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano⁻¹), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 5 anos

Período	ETr	DH	EH	CCT	Período	ETr	DH	EH	CCT
1969 a 1973	914	2	742	B4 r B'3 a'	1985 a 1989	909	48	928	B4 r B'3 a'
1970 a 1974	917	2	676	B3 r B'3 a'	1986 a 1990	921	25	906	B4 r B'3 a'
1971 a 1975	918	0	731	B3 r B'3 a'	1987 a 1991	926	21	738	B3 r B'3 a'
1972 a 1976	914	0	782	B4 r B'3 a'	1988 a 1992	931	17	662	B3 r B'3 a'
1973 a 1977	929	0	762	B4 r B'3 a'	1989 a 1993	952	2	718	B3 r B'3 a'
1974 a 1978	932	0	659	B3 r B'3 a'	1990 a 1994	957	3	855	B4 r B'3 a'
1975 a 1979	933	0	710	B3 r B'3 a'	1991 a 1995	960	2	776	B4 r B'3 a'
1976 a 1980	935	9	638	B3 r B'3 a'	1992 a 1996	955	0	842	B4 r B'3 a'
1977 a 1981	959	1	567	B2 r B'3 a'	1993 a 1997	962	1	886	B4 r B'3 a'
1978 a 1982	939	12	638	B3 r B'3 a'	1994 a 1998	957	2	929	B4 r B'3 a'
1979 a 1983	947	6	728	B3 r B'3 a'	1995 a 1999	953	3	831	B4 r B'3 a'
1980 a 1984	963	0	885	B4 r B'3 a'	1996 a 2000	952	0	953	A r B'3 a'
1981 a 1985	967	2	980	A r B'3 a'	1997 a 2001	964	0	988	A r B'3 a'
1982 a 1986	948	22	1165	A r B'3 a'	1998 a 2002	970	0	1118	A r B'3 a'
1983 a 1987	958	9	1113	A r B'3 a'	1999 a 2003	976	0	1117	A r B'3 a'
1984 a 1988	944	17	1099	A r B'3 a'					

* 4 tipos: (Frequência) B4 r B'3 a' (12), B3 r B'3 a' (10), A r B'3 a' (8), B2 r B'3 a' (1)

Tabela 42 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 10 anos

Período	ET _r	DH	EH	CCT	Período	ET _r	DH	EH	CCT
1969 a 1978	923	0	701	B3 r B'3 a'	1982 a 1991	949	8	883	B4 r B'3 a'
1970 a 1979	927	0	691	B3 r B'3 a'	1983 a 1992	956	1	900	B4 r B'3 a'
1971 a 1980	931	0	680	B3 r B'3 a'	1984 a 1993	952	7	872	B4 r B'3 a'
1972 a 1981	935	0	676	B3 r B'3 a'	1985 a 1994	949	4	833	B4 r B'3 a'
1973 a 1982	941	0	693	B3 r B'3 a'	1986 a 1995	951	0	780	B4 r B'3 a'
1974 a 1983	942	0	692	B3 r B'3 a'	1987 a 1996	955	0	765	B4 r B'3 a'
1975 a 1984	946	0	799	B4 r B'3 a'	1988 a 1997	955	0	822	B4 r B'3 a'
1976 a 1985	952	3	808	B4 r B'3 a'	1989 a 1998	957	0	840	B4 r B'3 a'
1977 a 1986	963	2	857	B4 r B'3 a'	1990 a 1999	957	0	864	B4 r B'3 a'
1978 a 1987	956	2	868	B4 r B'3 a'	1991 a 2000	961	0	914	B4 r B'3 a'
1979 a 1988	952	5	907	B4 r B'3 a'	1992 a 2001	967	0	1000	A r B'3 a'
1980 a 1989	955	4	887	B4 r B'3 a'	1993 a 2002	967	0	1023	A r B'3 a'
1981 a 1990	954	3	934	B4 r B'3 a'	1994 a 2003	949	8	883	B4 r B'3 a'

* 3 tipos: (Frequência) B4 r B'3 a' (18). B3 r B'3 a' (6). A r B'3 a' (2).

Tabela 43 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (ET_r , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 15 anos

Período	ET _r	DH	EH	CCT	Período	ET _r	DH	EH	CCT
1969 a 1983	933	0	708	B3 r B'3 a'	1980 a 1994	958	0	874	B4 r B'3 a'
1970 a 1984	937	0	757	B4 r B'3 a'	1981 a 1995	958	1	879	B4 r B'3 a'
1971 a 1985	944	0	780	B4 r B'3 a'	1982 a 1996	958	0	900	B4 r B'3 a'
1972 a 1986	945	1	833	B4 r B'3 a'	1983 a 1997	958	0	879	B4 r B'3 a'
1973 a 1987	948	0	832	B4 r B'3 a'	1984 a 1998	957	0	909	B4 r B'3 a'
1974 a 1988	948	0	822	B4 r B'3 a'	1985 a 1999	957	0	854	B4 r B'3 a'
1975 a 1989	948	1	827	B4 r B'3 a'	1986 a 2000	953	0	870	B4 r B'3 a'
1976 a 1990	949	4	834	B4 r B'3 a'	1987 a 2001	956	0	848	B4 r B'3 a'
1977 a 1991	957	1	811	B4 r B'3 a'	1988 a 2002	958	0	884	B4 r B'3 a'
1978 a 1992	951	4	796	B4 r B'3 a'	1989 a 2003	963	0	920	B4 r B'3 a'
1979 a 1993	954	1	841	B4 r B'3 a'					

* 2 tipos: (Frequência) B4 r B'3 a' (20). B3 r B'3 a' (1).

Tabela 44 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (E_{To} , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (E_{Tr} , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 20 anos

Período	E_{Tr}	DH	EH	CCT	Período	E_{Tr}	DH	EH	CCT
1969 a 1988	939	0	802	B4 r B'3 a'	1977 a 1996	957	0	818	B4 r B'3 a'
1970 a 1989	942	0	789	B4 r B'3 a'	1978 a 1997	957	0	815	B4 r B'3 a'
1971 a 1990	942	1	807	B4 r B'3 a'	1979 a 1998	957	0	861	B4 r B'3 a'
1972 a 1991	945	0	805	B4 r B'3 a'	1980 a 1999	957	0	862	B4 r B'3 a'
1973 a 1992	948	0	785	B4 r B'3 a'	1981 a 2000	956	0	898	B4 r B'3 a'
1974 a 1993	950	0	795	B4 r B'3 a'	1982 a 2001	960	0	922	B4 r B'3 a'
1975 a 1994	953	0	832	B4 r B'3 a'	1983 a 2002	961	0	938	B4 r B'3 a'
1976 a 1995	955	1	817	B4 r B'3 a'	1984 a 2003	962	0	961	B4 r B'3 a'

* 1 tipo: (Frequência) B4 r B'3 a' (16).

Tabela 45 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (E_{To} , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (E_{Tr} , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 25 anos

Período	E_{Tr}	DH	EH	CCT	Período	E_{Tr}	DH	EH	CCT
1969 a 1993	942	0	785	B4 r B'3 a'	1975 a 1999	954	0	831	B4 r B'3 a'
1970 a 1994	945	0	801	B4 r B'3 a'	1976 a 2000	955	0	843	B4 r B'3 a'
1971 a 1995	947	0	799	B4 r B'3 a'	1977 a 2001	960	0	851	B4 r B'3 a'
1972 a 1996	947	0	812	B4 r B'3 a'	1978 a 2002	959	0	876	B4 r B'3 a'
1973 a 1997	951	0	805	B4 r B'3 a'	1979 a 2003	959	0	914	B4 r B'3 a'
1974 a 1998	951	0	822	B4 r B'3 a'					

* 1 tipo: (Frequência) B4 r B'3 a' (11).

Tabela 46 - Valores médios anuais de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial de referência (E_{To} , mm.ano^{-1}), evapotranspiração real (E_{Tr} , mm.ano^{-1}), deficiência hídrica (DH , mm.ano^{-1}) e excedente hídrico (EH , mm.ano^{-1}) segundo Thornthwaite e Mather (1955), valores totais anuais de precipitação (C , mm.ano^{-1}), e classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) (CCT) referente à série histórica de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 50 mm, utilizando períodos de 30 anos

Período	E_{Tr}	DH	EH	CCT	Período	E_{Tr}	DH	EH	CCT
1969 a 1998	944	0	809	B4 r B'3 a'	1972 a 2001	951	0	840	B4 r B'3 a'
1970 a 1999	947	0	805	B4 r B'3 a'	1973 a 2002	953	0	858	B4 r B'3 a'
1971 a 2000	948	0	826	B4 r B'3 a'	1974 a 2003	956	0	871	B4 r B'3 a'

* 1 tipo: (Frequência) B4 r B'3 a' (6).

Figura 20 - Número de classes de clima segundo a classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Thornthwaite (1948) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 anos

O número de classes de clima, segundo a classificação climática (série histórica de 1969 a 2003) proposta por Thornthwaite (1948) referente à região mesoclimática de Santa Maria, RS, utilizando períodos de 1 (Tabela 36), 5 (Tabela 41), 10 (Tabela 42), 15 (Tabela 43), 20 (Tabela 44), 25 (Tabela 45), 30 (Tabela 46) e 35 anos (Tabela 20), variou de 10 a 1 (Figura 20). Tal como para a classificação proposta por Köppen, a medida que o número de anos aumenta, aumenta a estabilidade da classificação. Porém, a classificação proposta por Köppen se apresentou mais estável.

Quando se utilizou a capacidade de água disponível de 50 mm e os períodos de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 anos, foram obtidas as seguintes classificações mais frequentes: A r B'3 a' (34%: 12 em 35 períodos de 1 ano) (Tabela 36), B4 r B'3 a' (39%: 12 em 31 períodos de 5 anos) (Tabela 41), B4 r B'3 a' (69%: 18 em 26 períodos de 10 anos) (Tabela 42), B4 r B'3 a' (95%: 20 em 21 períodos de 15 anos) (Tabela 43), B4 r B'3 a' (100%: 16 em 16 períodos de 20 anos) (Tabela 44), B4 r B'3 a' (100%: 11 em 11 períodos de 25 anos) (Tabela 45), B4 r B'3 a' (100%: 6 em 6 períodos de 30 anos) (Tabela 46) e B4 r B'3 a' (100%: 1 em 1 período de 35 anos) (Tabela 20), respectivamente.

4.9 Fator de disponibilidade hídrica e profundidade efetiva do sistema radicular

Foram utilizados diferentes valores de fator de disponibilidade hídrica para contemplar solos com baixa retenção de água, como os solos de baixo teor de matéria orgânica e alto teor de

areia (solos arenosos) ($\beta = 0,5 \text{ mm.cm}^{-1}$) e os solos de alto teor de matéria orgânica e de argila ($\beta = 2,00 \text{ mm.cm}^{-1}$). Os demais valores intermediários ($\beta = 1,00$ e $\beta = 1,50 \text{ mm.cm}^{-1}$) representam os casos mais freqüentes na natureza.

A profundidade efetiva do sistema radicular representa a profundidade do solo que contribui com pelo menos 90% da evapotranspiração potencial de referência.

Para efeito de cálculo da capacidade de água disponível, foram utilizados os valores de 50 e 100 cm. Porém, sabe-se que em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica há uma tendência da profundidade efetiva ser inferior à situação em que o solo apresenta mais argila e matéria orgânica. No primeiro caso (solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica) há oxigenação em maior intensidade e profundidade, o que propicia maior produção de raízes, que por sua vez, ao explorar maior volume de solo por planta, compensa a menor disponibilidade (retenção) de água e de nutrientes.

A rigor, os valores de capacidade de água disponível de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm podem representar infinitas combinações de fator de disponibilidade hídrica e de profundidade efetiva do sistema radicular. A capacidade de água disponível de 25 mm, pode representar, por exemplo, não só $\beta = 0,5 \text{ mm.cm}^{-1}$ e $Z = 50 \text{ cm}$ como $\beta = 0,6 \text{ mm.cm}^{-1}$ e $Z = 41,67 \text{ cm}$ ou $\beta = 0,7 \text{ mm.cm}^{-1}$ e $Z = 35,71$ ou $\beta = 0,8 \text{ mm.cm}^{-1}$ e $Z = 31,25 \text{ cm}$ ou $\beta = 0,9 \text{ mm.cm}^{-1}$ e $Z = 27,78 \text{ cm}$ ou $\beta = 1,0 \text{ mm.cm}^{-1}$ e $Z = 25 \text{ cm}$ ou $\beta = 1,5 \text{ mm.cm}^{-1}$ e $Z = 16,67 \text{ cm}$, e assim por diante (o mesmo raciocínio pode ser feito para capacidade de água disponível de 50, 75, 100, 150 e 200 mm).

4.10 Caracterização edafoclimática

A caracterização climática tem a vantagem de definir a ordem de grandeza da evapotranspiração potencial de referência, evapotranspiração real, deficiência e excedente hídrico em função da temperatura, chuva e da capacidade de água disponível adotada (Tabela 36).

Os valores anuais mínimo, médio e máximo de temperatura e de chuva, bem como os de coeficiente de variação, permitem realizar uma simulação utilizando o procedimento estocástico. Para tal, assume-se que ambos os elementos do clima apresentam distribuição normal. Sendo assim, pode-se utilizar a simulação normal truncada (nos valores extremos mínimo e máximo) (Tabela 36 e Figuras 21, 22 e 23).

Observa-se que a evapotranspiração real, deficiência hídrica e excedente hídrico dependem da capacidade de água disponível. Quando maior a capacidade de água disponível, maior é a

evapotranspiração real e menor são a deficiência e o excedente hídrico (Tabela 36 e Figuras 21, 22 e 23).

Para a região mesoclimática de Santa Maria, RS, a deficiência hídrica foi a variável que apresentou maior coeficiente de variação, seguido do excedente hídrico. Já a evapotranspiração real apresentou coeficiente de variação máximo de 8%. Dos elementos do clima, a temperatura apresentou baixo coeficiente de variação (3%), enquanto a chuva apresentou coeficiente de variação de 20% (Tabela 36).

Tabela 47 - Valores anuais mínimos, médios e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação de temperatura do ar (T , °C), evapotranspiração potencial de referência (ET_o , mm.ano⁻¹) e chuva (C , mm.ano⁻¹), e de evapotranspiração real (ET_r , mm.ano⁻¹), deficiência hídrica (DH , mm.ano⁻¹) e excedente hídrico (EH , mm.ano⁻¹) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD , mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Id	T			ETo			C		
Valor mínimo (Vmin)	19			898			1235		
Valor médio (Vmed)	20			953			1802		
Valor máximo (Vmax)	21			1027			2672		
Desvio padrão (DP)	1			31			353		
Coeficiente de variação (CV)	3%			3%			20%		
Valor	CAD = 25 mm			CAD = 50 mm			CAD = 75 mm		
	ETr	DH	EH	ETr	DH	EH	ETr	DH	EH
Vmin	721	0	362	757	0	344	781	0	333
Vmed	868	85	934	887	67	915	899	55	903
Vmax	1003	275	1684	1012	250	1678	1016	227	1675
DP	72	73	323	64	63	326	57	56	329
CV	8%	85%	35%	7%	95%	36%	6%	102%	36%
Valor	CAD = 100 mm			CAD = 150 mm			CAD = 200 mm		
	ETr	DH	EH	ETr	DH	EH	ETr	DH	EH
Vmin	802	0	326	828	0	317	845	0	311
Vmed	907	46	895	918	35	884	925	29	877
Vmax	1019	205	1674	1021	170	1672	1022	145	1671
DP	51	49	330	44	40	333	39	33	335
CV	6%	107%	37%	5%	112%	38%	4%	116%	38%

Tabela 48 - Classe de disponibilidade hídrica (cDH), número de anos (Sh, anos) da série histórica, valores anuais mínimo (tm, °C), máximo (TM, °C) e médio (T, °C), e coeficiente de variação (CV_T , %) da temperatura do ar e valores anuais mínimo (cm, mm.ano⁻¹), máximo (CM, mm.ano⁻¹) e médio (c, mm.ano⁻¹), e coeficiente de variação (CV_C , %) da chuva, e valores médios anuais de evapotranspiração potencial de referência (ETo, mm.ano⁻¹), evapotranspiração real (ETr, mm.ano⁻¹) e excedente hídrico (EH, mm.ano⁻¹) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 50 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS

cDH	Sh	tm	TM	T	CV_T	cm	CM	C	CV_C	ETo	ETr	EH
A	35	19	21	20	3	1235	2672	1802	20	953	887	915

Figura 21 - Valores médios de evapotranspiração real (ETr, mm.ano⁻¹) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 22 - Valores médios de deficiência hídrica (DH, mm.ano⁻¹) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Figura 23 - Valores médios de excedente hídrico (EH, mm.ano⁻¹) referentes aos valores de capacidade de água disponível (CAD, mm) de 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mm na região mesoclimática de Santa Maria, RS

Para efeito de comparação, sugere-se adotar a capacidade de água disponível de 50 mm por se aproximar de um valor representativo dos solos brasileiros. Com essa caracterização, o usuário tem uma noção mais exata do clima da região. A classificação, além de perder

informação, pode apresentar variação em função do critério adotado (como por exemplo: utilização dos valores médios dos elementos do clima ou utilização da classe modal).

4.11 Considerações finais

Estudos similares de comparação poderiam ser feitos em outras localidades, bem como poderiam ser utilizadas outras escalas de tempo inferiores, tais como decendial, semanal ou diária.

Outra melhoria deste estudo de comparação seria a utilização do fator de depleção variável em função da ordem de magnitude da evapotranspiração potencial de referência.

Estudos específicos para culturas de interesse também poderiam ser efetuados. Nesse caso, ter-se-ia a necessidade de utilizar valores de coeficiente de cultura, contemplando, inclusive, sua variação temporal em função da idade (ou do estágio fenológico ou do índice de área foliar) da planta.

5 CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, correspondentes ao estudo de caso da região mesoclimática de Santa Maria, RS (série histórica de 35 anos, 1969 a 2003), referente às classificações climáticas propostas por Köppen (1931) e Thornthwaite (1948) e à caracterização edafoclimática proposta neste trabalho, pode-se concluir que:

- (a) a classificação climática segundo Thornthwaite ou Köppen pode ser feita com base na classe mais freqüente ou utilizando os valores médios de temperatura e de chuva e a capacidade de água disponível de 50 mm;
- (b) classificação climática segundo Thornthwaite: A r B'3 a' (classe mais freqüente - 12 em 35 anos: freqüência de 34,3%) ou B4 r B'3 a' (utilizando os valores médios de temperatura e de chuva e a capacidade de água disponível de 50 mm);
- (c) classificação climática segundo Köppen: Cfga (classe mais freqüente - 15 em 35 anos: freqüência de 43%) ou Cwga (utilizando os valores médios de temperatura e de chuva); e
- (d) A_{29/42S,53/42W,95,35,11,7,27,2,20,3,5,5,471,1/5,1235,2672,1802,20,953,887,915,50} é a caracterização edafoclimática proposta. Isso significa que: a evapotranspiração real é pelo menos 90% da evapotranspiração potencial de referência (classe A de disponibilidade hídrica), a localização geográfica é de 29°42' (latitude sul), 53°42' (longitude oeste) e altitude de 95 m, e que a série histórica apresenta 35 anos, sendo as temperaturas mínima e máxima mensal de 11°C (julho) e 27°C (fevereiro), a temperatura média anual de 20°C, com coeficiente de variação de 3%, e as chuvas mínima e máxima mensal de 5 mm (maio) e 471 mm (janeiro/maio), as chuvas mínima, máxima e média anual de 1235 mm, 2672 mm e 1802 mm, respectivamente, com coeficiente de variação de 20%, valores médios anuais de evapotranspiração potencial de referência, evapotranspiração real e excedente hídrico de 953 mm, 887 mm e 915 mm, respectivamente, adotando uma capacidade de água disponível de 50 mm.

REFERÊNCIAS

- BURIOL, G.A.; FERREIRA, M.; ESTEFANEL, V. Estimativa das médias das temperaturas máximas mensais e anuais do Estado de Santa Catarina. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.4, n.3, p.81-102, 1974.
- KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.
- MANFRON, P.A. Evapotranspiração e balanço hídrico. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992. 97p. (Apostila didática).
- DOURADO NETO, D. BHCC: Balanço hídrico e classificação climática (Köppen e Thornthwaite). Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1996. 20p.
- DOURADO NETO, D.; ASSIS, J.P. de; TIMM, L.C.; MANFRON, P.A.; SPAROVEK, G.; MARTIN, T.N. Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.13, n.2, p.273-283, 2005.
- MENDONÇA, P. de V.E. Sobre o novo método de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather. In: CONGRESSO LUSO-ESPANHOL PARA O PROGRESSO DAS CIÊNCIAS, 24., Madrid, 1958. **Anais...** Madrid: Editora, 1958. 415-425p.
- PALTRIDGE, G.W.; PLATT, C.M.R. **Radiative processes in meteorology and climatology**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing, 1976. 318p. (Developments in Atmospheric Science, 5).
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.
- SILVA, J.C.; HELDWEIN, A.B.; TRENTIN, G.; STRECK, N.A.; MARTINS, F.B. Funções de distribuição de probabilidade decendial e mensal para a deficiência hídrica no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.7, p.1893-1899, 2008.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Drexel Institute of Technology**, New York, v.8, n.1, p.1-14, 1955.

ANEXOS

ANEXO 1 - Temperatura do ar

Tabela 49 - Valores médios mensais de temperatura do ar (°C), referente à série de 1969 a 2003 (35 anos), da região mesoclimática de Santa Maria, RS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	23,2	24,1	22,1	19,9	17,8	14,9	15,2	12,9	16,9	17,7	21,6	23,0
1970	24,6	24,8	23,9	21,5	17,2	14,2	14,5	14,8	17,1	18,5	19,1	23,2
1971	24,9	24,3	22,5	17,3	14,8	11,3	15,3	15,1	19,7	19,1	22,0	24,6
1972	24,3	23,8	22,2	18,4	18,9	18,1	14,3	14,9	17,7	17,7	20,0	23,6
1973	25,3	25,1	23,1	20,8	17,0	15,3	14,2	12,9	15,5	19,2	19,9	23,9
1974	25,4	24,0	23,0	19,5	18,2	12,2	16,1	15,1	16,5	18,0	20,9	22,5
1975	23,4	24,6	22,9	19,5	17,6	15,4	13,9	16,1	17,3	18,5	21,0	23,6
1976	25,1	23,8	21,3	18,6	16,3	13,4	14,2	14,5	16,6	18,6	21,3	23,5
1977	25,1	26,1	23,7	19,6	16,1	14,9	17,9	14,7	19,5	21,8	22,0	24,4
1978	25,0	23,9	23,6	17,7	14,9	14,8	16,3	15,1	18,4	20,8	21,2	24,4
1979	24,6	25,6	22,2	18,5	15,0	13,0	14,8	17,0	15,9	20,3	20,8	23,9
1980	24,6	25,1	25,8	22,9	19,0	14,5	13,2	15,6	14,9	19,6	21,5	24,1
1981	25,2	26,1	22,5	20,6	21,5	13,4	15,2	17,0	16,9	19,0	22,7	23,5
1982	24,2	24,4	23,6	20,9	17,9	15,2	16,0	17,8	19,3	18,9	20,5	23,7
1983	26,1	24,5	21,8	19,7	16,9	12,4	13,0	16,4	15,4	20,1	22,7	25,4
1984	26,4	27,1	23,7	19,3	18,2	13,9	14,8	13,2	16,3	21,5	21,4	22,2
1985	25,1	24,8	23,4	20,5	16,8	15,3	15,6	15,5	18,0	20,5	24,6	26,1
1986	27,4	25,2	22,4	21,1	17,2	17,8	14,7	16,4	17,8	19,1	22,1	24,3
1987	24,8	24,8	23,9	20,6	13,7	13,1	17,2	14,1	15,4	19,5	21,6	23,6
1988	25,2	23,6	25,3	18,7	13,1	11,5	13,6	15,9	16,0	18,4	21,4	25,1
1989	25,1	25,4	23,2	20,4	16,4	13,7	11,7	16,0	15,4	18,9	21,6	25,0
1990	25,6	25,2	23,0	20,8	15,7	12,0	12,1	16,1	15,5	21,2	23,6	23,1
1991	24,5	24,5	24,5	20,4	19,5	14,9	13,6	16,6	17,9	20,8	22,1	25,2
1992	24,5	25,7	23,7	20,1	16,3	17,3	11,5	14,7	16,9	19,1	20,8	24,2
1993	25,5	23,6	23,6	21,6	16,9	14,5	13,0	15,8	15,5	21,1	21,7	23,8
1994	24,5	23,8	22,7	19,5	19,4	15,2	15,6	15,5	18,9	20,1	21,6	26,2
1995	25,4	24,1	22,8	19,6	15,9	14,6	17,3	16,2	17,1	18,4	23,9	25,7
1996	25,3	24,0	23,5	21,3	16,2	11,7	11,0	16,7	16,3	19,9	23,1	24,9
1997	26,6	24,7	22,2	20,0	17,0	14,3	16,1	17,6	17,5	19,5	21,7	24,8
1998	24,8	24,2	22,0	19,5	17,1	14,4	16,1	15,6	16,2	20,3	22,2	23,5
1999	25,8	24,2	25,7	18,8	15,8	13,7	13,9	16,5	17,6	18,7	21,1	24,6
2000	26,0	24,5	22,3	21,2	16,4	16,8	11,6	14,9	16,8	20,1	21,1	24,1
2001	25,4	26,6	25,4	21,4	16,4	16,4	15,7	19,6	17,8	21,5	22,2	23,6
2002	25,5	24,1	26,2	20,4	19,0	14,6	14,4	17,0	15,9	21,4	22,9	24,3
2003	25,8	26,0	23,6	19,6	17,7	16,7	14,3	14,5	16,7	20,9	22,3	22,5

ANEXO 2 - Chuva

Tabela 50 - Valores médios mensais de chuva (mm.mês⁻¹) do ar. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. Série histórica: 1969 a 2003

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	183	283	139	111	171	140	133	58	79	82	144	119
1970	105	64	108	77	184	277	122	70	48	159	9	217
1971	221	127	117	63	66	223	103	150	88	37	53	140
1972	155	97	283	87	105	227	172	333	224	227	146	25
1973	165	259	58	178	124	160	219	178	104	98	18	174
1974	134	234	107	15	88	134	72	152	95	31	142	122
1975	121	112	141	33	137	147	96	309	192	66	98	266
1976	209	36	246	127	140	75	211	92	178	152	91	62
1977	275	217	154	226	99	113	302	130	110	188	130	113
1978	161	89	57	33	61	94	126	50	64	136	233	132
1979	13	105	62	155	197	39	147	167	223	275	99	103
1980	120	47	246	55	103	98	149	57	36	218	96	142
1981	284	108	30	58	47	226	92	27	185	24	136	171
1982	51	235	52	27	175	351	221	280	182	318	255	164
1983	93	150	141	211	257	126	265	88	48	108	56	184
1984	298	105	77	373	471	341	207	88	175	87	157	63
1985	124	125	243	287	177	192	231	201	207	55	17	13
1986	51	141	316	214	336	148	79	218	161	154	299	98
1987	157	150	259	140	132	248	278	198	135	121	99	185
1988	152	88	43	179	33	207	76	63	363	149	160	70
1989	112	9	271	115	18	71	97	129	204	121	170	104
1990	109	164	188	254	124	86	92	33	213	193	249	118
1991	49	41	96	331	55	179	170	25	54	47	26	323
1992	83	253	134	276	153	155	115	83	153	134	78	129
1993	311	90	103	65	237	169	227	19	97	213	256	177
1994	56	310	49	192	283	226	246	160	125	252	111	121
1995	127	109	235	46	93	154	195	112	233	70	10	61
1996	471	179	67	138	5	132	46	167	88	133	50	219
1997	100	217	19	68	112	188	115	155	79	458	193	295
1998	227	259	179	340	123	115	193	167	219	124	100	114
1999	111	142	114	159	222	131	201	52	119	207	83	75
2000	246	90	256	72	148	262	95	99	244	183	204	154
2001	310	125	144	250	57	180	202	110	240	122	115	82
2002	134	89	243	180	207	178	235	284	307	340	243	233
2003	178	205	355	190	69	171	113	74	57	193	229	357

ANEXO 3 - Evapotranspiração potencial de referência

Tabela 51 - Valores estimados mensais de evapotranspiração de referência (mm.mês⁻¹) segundo Thornthwaite (1948). Santa Maria, RS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	121	112	98	71	55	37	37	29	53	65	100	121
1970	136	119	114	82	49	32	33	38	53	70	77	122
1971	140	114	100	53	37	20	37	40	72	75	103	139
1972	133	109	98	59	60	53	32	38	57	63	84	126
1973	145	122	106	77	49	38	32	28	43	76	84	130
1974	146	111	106	67	56	24	42	40	50	66	93	115
1975	122	117	104	67	52	38	30	45	54	70	93	127
1976	143	110	91	62	46	30	33	38	52	72	98	127
1977	141	133	110	64	40	32	48	34	66	95	100	134
1978	140	109	110	54	36	34	41	39	61	88	94	135
1979	136	127	98	60	38	27	35	51	46	85	92	131
1980	135	121	133	92	59	31	25	40	37	76	96	131
1981	142	132	99	73	77	26	34	48	49	70	107	124
1982	130	114	110	75	51	35	38	53	66	70	86	127
1983	154	116	93	68	47	24	26	46	42	82	109	147
1984	157	143	111	64	55	29	33	28	47	93	95	110
1985	141	117	107	71	44	34	35	38	55	83	128	157
1986	171	122	96	76	46	48	31	43	54	70	101	133
1987	138	119	114	75	31	27	47	34	43	78	99	127
1988	143	108	128	62	29	22	30	45	47	70	98	144
1989	142	125	107	73	45	30	21	44	42	72	99	143
1990	148	123	104	76	41	22	22	45	43	92	119	120
1991	134	114	119	70	61	32	26	45	55	86	101	145
1992	135	128	112	70	44	48	20	36	51	74	91	133
1993	146	107	110	82	47	33	25	42	42	90	99	128
1994	134	107	100	65	61	35	36	39	62	80	97	158
1995	145	111	101	66	40	32	45	43	51	66	121	151
1996	144	111	109	80	43	21	18	48	47	80	113	142
1997	161	117	95	68	46	30	39	52	53	75	98	139
1998	138	112	95	66	48	32	40	42	47	84	105	125
1999	150	113	132	61	40	29	29	46	55	70	93	138
2000	152	115	98	79	44	45	20	37	50	82	93	132
2001	144	138	128	77	40	38	34	62	52	90	101	123
2002	147	111	137	70	58	31	29	46	42	91	109	133
2003	150	131	110	65	51	43	30	34	49	88	104	112

ANEXO 4 - Armazenamento de água no solo

Tabela 52 - Valores estimados mensais de armazenamento de água no solo (mm). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 25 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

[illegible]

ANEXO 5 - Evapotranspiração real

Tabela 58 - Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês⁻¹). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 25 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	121	112	98	71	55	37	37	29	53	65	100	121
1970	123	70	108	77	49	32	33	38	53	70	33	122
1971	140	114	100	53	37	20	37	40	72	56	58	139
1972	133	106	98	59	60	53	32	38	57	63	84	50
1973	145	122	79	77	49	38	32	28	43	76	41	130
1974	144	111	106	37	56	24	42	40	50	50	93	115
1975	122	116	104	52	52	38	30	45	54	69	93	127
1976	143	59	91	62	46	30	33	38	52	72	97	79
1977	141	133	110	64	40	32	48	34	66	95	100	128
1978	140	103	67	34	36	34	41	39	61	88	94	135
1979	21	105	62	60	38	27	35	51	46	85	92	119
1980	131	60	133	74	59	31	25	40	37	76	96	131
1981	142	124	39	58	47	26	34	41	49	45	107	124
1982	75	114	74	29	51	35	38	53	66	70	86	127
1983	116	116	93	68	47	24	26	46	42	82	78	147
1984	157	125	81	64	55	29	33	28	47	93	95	85
1985	124	117	107	71	44	34	35	38	55	72	25	13
1986	57	122	96	76	46	48	31	43	54	70	101	116
1987	138	119	114	75	31	27	47	34	43	78	99	127
1988	143	93	47	62	29	22	30	45	47	70	98	93
1989	116	11	107	73	34	30	21	44	42	72	99	124
1990	127	123	104	76	41	22	22	42	43	92	119	120
1991	73	42	96	70	61	32	26	39	54	56	28	145
1992	94	128	112	70	44	48	20	36	51	74	88	131
1993	146	102	106	70	47	33	25	34	42	90	99	128
1994	61	107	71	65	61	35	36	39	62	80	97	140
1995	127	109	101	60	40	32	45	43	51	66	35	62
1996	144	111	88	80	25	21	18	48	47	80	73	142
1997	123	117	42	68	46	30	39	52	53	75	98	139
1998	138	112	95	66	48	32	40	42	47	84	104	122
1999	112	113	127	61	40	29	29	46	55	70	92	91
2000	152	106	98	78	44	45	20	37	50	82	93	132
2001	144	135	128	77	40	38	34	62	52	90	101	102
2002	144	98	137	70	58	31	29	46	42	91	109	133
2003	150	131	110	65	51	43	30	34	49	88	104	112

Tabela 59 - Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês^{-1}). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 50 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	121	112	98	71	55	37	37	29	53	65	100	121
1970	128	81	109	78	49	32	33	38	53	70	46	122
1971	140	114	100	53	37	20	37	40	72	64	68	139
1972	133	103	98	59	60	53	32	38	57	63	84	68
1973	145	122	89	77	49	38	32	28	43	76	55	130
1974	145	111	106	47	56	24	42	40	50	56	93	115
1975	122	116	104	58	52	38	30	45	54	69	93	127
1976	143	74	91	62	46	30	33	38	52	72	97	93
1977	141	133	110	64	40	32	48	34	66	95	100	131
1978	140	106	79	37	36	34	41	39	61	88	94	135
1979	39	106	63	60	38	27	35	51	46	85	92	124
1980	133	76	133	81	59	31	25	40	37	76	96	131
1981	142	127	53	60	49	26	34	44	49	54	107	124
1982	91	114	86	37	51	35	38	53	66	70	86	127
1983	128	116	93	68	47	24	26	46	42	82	89	147
1984	157	132	89	64	55	29	33	28	47	93	95	94
1985	124	117	107	71	44	34	35	38	55	76	42	16
1986	74	122	96	76	46	48	31	43	54	70	101	123
1987	138	119	114	75	31	27	47	34	43	78	99	127
1988	143	94	53	62	29	22	30	45	47	70	98	108
1989	122	20	107	73	39	30	21	44	42	72	99	131
1990	135	123	104	76	41	22	22	43	43	92	119	120
1991	90	48	97	70	61	32	26	41	55	65	38	145
1992	106	128	112	70	44	48	20	36	51	74	89	132
1993	146	104	108	74	47	33	25	37	42	90	99	128
1994	75	107	81	65	61	35	36	39	62	80	97	147
1995	128	109	101	62	40	32	45	43	51	66	55	66
1996	144	111	96	80	32	21	18	48	47	80	86	142
1997	136	117	58	68	46	30	39	52	53	75	98	139
1998	138	112	95	66	48	32	40	42	47	84	104	123
1999	117	113	125	61	40	29	29	46	55	70	92	104
2000	152	110	98	79	44	45	20	37	50	82	93	132
2001	144	136	128	77	40	38	34	62	52	90	101	110
2002	145	103	137	70	58	31	29	46	42	91	109	133
2003	150	131	110	65	51	43	30	34	49	88	104	112

Tabela 60 - Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês^{-1}). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 75 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	121	112	98	71	55	37	37	29	53	65	100	121
1970	130	89	110	79	49	32	33	38	53	70	54	122
1971	140	114	100	53	37	20	37	40	72	67	75	139
1972	133	103	98	59	60	53	32	38	57	63	84	81
1973	145	122	93	77	49	38	32	28	43	76	62	130
1974	145	111	106	53	56	24	42	40	50	59	93	115
1975	122	116	104	60	52	38	30	45	54	70	93	127
1976	143	83	91	62	46	30	33	38	52	72	97	101
1977	141	133	110	64	40	32	48	34	66	95	100	132
1978	140	107	86	40	36	34	41	39	61	88	94	135
1979	54	108	65	60	38	27	35	51	46	85	92	126
1980	133	86	133	84	59	31	25	40	37	76	96	131
1981	142	129	62	62	52	26	34	45	49	59	107	124
1982	100	114	92	43	51	35	38	53	66	70	86	127
1983	134	116	93	68	47	24	26	46	42	82	94	147
1984	157	135	94	64	55	29	33	28	47	93	95	98
1985	124	117	107	71	44	34	35	38	55	78	56	23
1986	89	122	96	76	46	48	31	43	54	70	101	126
1987	138	119	114	75	31	27	47	34	43	78	99	127
1988	143	96	61	62	29	22	30	45	47	70	98	117
1989	127	33	107	73	40	30	21	44	42	72	99	135
1990	139	123	104	76	41	22	22	44	43	92	119	120
1991	100	56	98	70	61	32	26	42	55	70	47	145
1992	113	128	112	70	44	48	20	36	51	74	90	132
1993	146	105	108	76	47	33	25	39	42	90	99	128
1994	85	107	86	65	61	35	36	39	62	80	97	150
1995	128	109	101	63	40	32	45	43	51	66	68	73
1996	144	111	100	80	35	21	18	48	47	80	93	142
1997	142	117	67	68	46	30	39	52	53	75	98	139
1998	138	112	95	66	48	32	40	42	47	84	105	124
1999	122	113	124	61	40	29	29	46	55	70	93	112
2000	152	112	98	79	44	45	20	37	50	82	93	132
2001	144	137	128	77	40	38	34	62	52	90	101	114
2002	146	105	137	70	58	31	29	46	42	91	109	133
2003	150	131	110	65	51	43	30	34	49	88	104	112

Tabela 61 - Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês^{-1}). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 100 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	121	112	98	71	55	37	37	29	53	65	100	121
1970	132	94	110	79	49	32	33	38	53	70	58	122
1971	140	114	100	53	37	20	37	40	72	69	80	139
1972	133	104	98	59	60	53	32	38	57	63	84	89
1973	145	122	96	77	49	38	32	28	43	76	66	130
1974	145	111	106	56	56	24	42	40	50	61	93	115
1975	122	116	104	62	52	38	30	45	54	70	93	127
1976	143	88	91	62	46	30	33	38	52	72	97	106
1977	141	133	110	64	40	32	48	34	66	95	100	132
1978	140	108	91	42	36	34	41	39	61	88	94	135
1979	66	110	68	60	38	27	35	51	46	85	92	127
1980	134	92	133	86	59	31	25	40	37	76	96	131
1981	142	130	69	63	55	26	34	46	49	61	107	124
1982	106	114	96	48	51	35	38	53	66	70	86	127
1983	137	116	93	68	47	24	26	46	42	82	97	147
1984	157	137	97	64	55	29	33	28	47	93	95	101
1985	124	117	107	71	44	34	35	38	55	79	67	32
1986	100	122	96	76	46	48	31	43	54	70	101	127
1987	138	119	114	75	31	27	47	34	43	78	99	127
1988	143	98	69	62	29	22	30	45	47	70	98	122
1989	130	43	107	73	41	30	21	44	42	72	99	137
1990	141	123	104	76	41	22	22	44	43	92	119	120
1991	106	63	100	70	61	32	26	43	55	73	55	145
1992	117	128	112	70	44	48	20	36	51	74	90	132
1993	146	105	109	77	47	33	25	40	42	90	99	128
1994	93	107	89	65	61	35	36	39	62	80	97	152
1995	129	109	101	64	40	32	45	43	51	66	77	81
1996	144	111	102	80	37	21	18	48	47	80	97	142
1997	146	117	72	68	46	30	39	52	53	75	98	139
1998	138	112	95	66	48	32	40	42	47	84	105	124
1999	126	113	125	61	40	29	29	46	55	70	93	117
2000	152	112	98	79	44	45	20	37	50	82	93	132
2001	144	137	128	77	40	38	34	62	52	90	101	116
2002	146	106	137	70	58	31	29	46	42	91	109	133
2003	150	131	110	65	51	43	30	34	49	88	104	112

Tabela 62 - Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês^{-1}). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 150 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	121	112	98	71	55	37	37	29	53	65	100	121
1970	133	101	111	80	49	32	33	38	53	70	64	122
1971	140	114	100	53	37	20	37	40	72	71	86	139
1972	133	104	98	59	60	53	32	38	57	63	84	99
1973	145	122	99	77	49	38	32	28	43	76	71	130
1974	146	111	106	59	56	24	42	40	50	62	93	115
1975	122	116	104	63	52	38	30	45	54	70	93	127
1976	143	94	91	62	46	30	33	38	52	72	97	112
1977	141	133	110	64	40	32	48	34	66	95	100	133
1978	140	108	96	45	36	34	41	39	61	88	94	135
1979	82	113	73	60	38	27	35	51	46	85	92	128
1980	134	100	133	88	59	31	25	40	37	76	96	131
1981	142	131	77	65	60	26	34	46	49	64	107	124
1982	113	114	100	55	51	35	38	53	66	70	86	127
1983	141	116	93	68	47	24	26	46	42	82	101	147
1984	157	139	101	64	55	29	33	28	47	93	95	103
1985	126	117	107	71	44	34	35	38	55	80	82	50
1986	117	122	96	76	46	48	31	43	54	70	101	129
1987	138	119	114	75	31	27	47	34	43	78	99	127
1988	143	100	80	62	29	22	30	45	47	70	98	129
1989	133	60	107	73	42	30	21	44	42	72	99	139
1990	143	123	104	76	41	22	22	44	43	92	119	120
1991	114	74	103	70	61	32	26	44	55	77	66	145
1992	122	128	112	70	44	48	20	36	51	74	91	133
1993	146	106	109	79	47	33	25	40	42	90	99	128
1994	104	107	92	65	61	35	36	39	62	80	97	154
1995	132	109	101	65	40	32	45	43	51	66	89	94
1996	144	111	104	80	39	21	18	48	47	80	102	142
1997	150	117	79	68	46	30	39	52	53	75	98	139
1998	138	112	95	66	48	32	40	42	47	84	105	125
1999	132	113	126	61	40	29	29	46	55	70	93	123
2000	152	113	98	79	44	45	20	37	50	82	93	132
2001	144	137	128	77	40	38	34	62	52	90	101	118
2002	146	107	137	70	58	31	29	46	42	91	109	133
2003	150	131	110	65	51	43	30	34	49	88	104	112

Tabela 63 - Valores estimados mensais de evapotranspiração real (mm.mês^{-1}). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 200 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	121	112	98	71	55	37	37	29	53	65	100	121
1970	134	105	112	80	49	32	33	38	53	70	67	122
1971	140	114	100	53	37	20	37	40	72	72	90	139
1972	133	105	98	59	60	53	32	38	57	63	84	104
1973	145	122	101	77	49	38	32	28	43	76	74	130
1974	146	111	106	61	56	24	42	40	50	63	93	115
1975	122	116	104	64	52	38	30	45	54	70	93	127
1976	143	98	91	62	46	30	33	38	52	72	97	116
1977	141	133	110	64	40	32	48	34	66	95	100	133
1978	140	108	99	47	36	34	41	39	61	88	94	135
1979	93	115	76	60	38	27	35	51	46	85	92	129
1980	134	104	133	89	59	31	25	40	37	76	96	131
1981	142	131	81	67	63	26	34	47	49	65	107	124
1982	116	114	102	59	51	35	38	53	66	70	86	127
1983	143	116	93	68	47	24	26	46	42	82	103	147
1984	157	140	103	64	55	29	33	28	47	93	95	105
1985	128	117	107	71	44	34	35	38	55	81	91	64
1986	127	122	96	76	46	48	31	43	54	70	101	130
1987	138	119	114	75	31	27	47	34	43	78	99	127
1988	143	102	89	62	29	22	30	45	47	70	98	132
1989	135	71	107	73	43	30	21	44	42	72	99	140
1990	144	123	104	76	41	22	22	44	43	92	119	120
1991	118	81	106	70	61	32	26	44	55	79	72	145
1992	125	128	112	70	44	48	20	36	51	74	91	133
1993	146	106	109	79	47	33	25	41	42	90	99	128
1994	110	107	94	65	61	35	36	39	62	80	97	155
1995	134	109	101	65	40	32	45	43	51	66	96	103
1996	144	111	105	80	40	21	18	48	47	80	104	142
1997	153	117	82	68	46	30	39	52	53	75	98	139
1998	138	112	95	66	48	32	40	42	47	84	105	125
1999	135	113	127	61	40	29	29	46	55	70	93	127
2000	152	114	98	79	44	45	20	37	50	82	93	132
2001	144	138	128	77	40	38	34	62	52	90	101	119
2002	146	108	137	70	58	31	29	46	42	91	109	133
2003	150	131	110	65	51	43	30	34	49	88	104	112

Tabela 68 - Valores estimados mensais de deficiência hídrica (mm.mês⁻¹). Santa Maria, RS. Capacidade de água disponível: 150 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

[illegible]

Tabela 69 - Valores estimados mensais de deficiência hídrica (mm.mês⁻¹). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 200 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

[illegible]

ANEXO 7 - Excedente hídrico

Tabela 70 - Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês⁻¹). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 25 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	60	171	41	41	117	103	96	28	25	18	45	0
1970	0	0	0	0	110	245	89	32	0	84	0	72
1971	58	13	17	11	30	203	65	110	16	0	0	0
1972	0	0	174	28	45	174	140	295	167	163	63	0
1973	20	137	0	80	76	123	187	149	61	22	0	21
1974	0	113	1	0	10	111	30	112	46	0	30	7
1975	0	0	32	0	66	109	66	264	137	0	2	140
1976	43	0	131	64	94	46	179	54	127	80	0	0
1977	120	84	44	162	60	81	254	96	44	93	30	0
1978	17	0	0	0	0	60	85	11	3	47	139	0
1979	0	0	0	70	159	12	112	117	177	191	7	0
1980	0	0	89	0	25	67	124	18	0	141	1	10
1981	142	0	0	0	0	175	58	0	122	0	8	47
1982	0	97	0	0	99	317	183	227	116	248	169	37
1983	0	11	48	144	209	102	240	42	7	26	0	15
1984	120	0	0	286	416	312	174	60	129	0	56	0
1985	0	0	119	217	133	158	197	164	152	0	0	0
1986	0	0	213	138	289	100	48	175	108	84	198	0
1987	18	31	145	65	101	221	231	164	93	43	0	57
1988	0	0	0	91	4	185	46	18	316	79	62	0
1989	0	0	139	42	0	25	76	85	162	48	71	0
1990	0	21	84	178	83	64	70	0	161	102	130	0
1991	0	0	0	236	0	141	144	0	0	0	0	153
1992	0	102	23	206	110	107	95	47	102	61	0	0
1993	165	0	0	0	171	136	202	0	40	123	157	49
1994	0	178	0	106	222	191	210	121	63	172	14	0
1995	0	0	109	0	40	122	150	68	182	4	0	0
1996	328	68	0	39	0	92	28	119	41	52	0	54
1997	0	78	0	0	42	158	77	103	26	383	95	156
1998	77	147	83	274	75	82	153	126	173	40	0	0
1999	0	4	0	86	182	103	171	6	64	137	0	0
2000	94	0	142	0	99	218	75	62	194	102	111	22
2001	146	0	6	173	17	142	168	47	187	31	14	0
2002	0	0	87	110	149	147	206	237	265	249	135	99
2003	27	74	246	125	18	128	83	40	9	106	125	245

Tabela 71 - Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês⁻¹). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 50 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	60	171	41	41	117	103	96	28	25	18	45	0
1970	0	0	0	0	92	245	89	32	0	84	0	58
1971	41	13	17	11	30	203	65	110	16	0	0	0
1972	0	0	158	28	45	174	140	295	167	163	63	0
1973	20	137	0	71	76	123	187	149	61	22	0	8
1974	0	112	1	0	0	110	30	112	46	0	23	7
1975	0	0	31	0	60	109	66	264	137	0	2	140
1976	28	0	117	64	94	46	179	54	127	80	0	0
1977	117	84	44	162	60	81	254	96	44	93	30	0
1978	17	0	0	0	0	42	85	11	3	47	139	0
1979	0	0	0	46	159	12	112	117	177	191	7	0
1980	0	0	72	0	18	67	124	18	0	141	1	10
1981	142	0	0	0	0	154	58	0	120	0	0	46
1982	0	81	0	0	80	317	183	227	116	248	169	37
1983	0	0	47	144	209	102	240	42	7	26	0	5
1984	111	0	0	271	416	312	174	60	129	0	56	0
1985	0	0	94	217	133	158	197	164	152	0	0	0
1986	0	0	190	138	289	100	48	175	108	84	198	0
1987	18	31	145	65	101	221	231	164	93	43	0	57
1988	0	0	0	69	4	185	46	18	316	79	62	0
1989	0	0	116	42	0	20	76	85	162	48	71	0
1990	0	13	84	178	83	64	70	0	160	102	130	0
1991	0	0	0	212	0	140	144	0	0	0	0	131
1992	0	88	23	206	110	107	95	47	102	61	0	0
1993	165	0	0	0	163	136	202	0	37	123	157	49
1994	0	158	0	96	222	191	210	121	63	172	14	0
1995	0	0	84	0	37	122	150	68	182	4	0	0
1996	328	68	0	30	0	85	28	119	41	52	0	41
1997	0	65	0	0	27	158	77	103	26	383	95	156
1998	75	147	83	274	75	82	153	126	173	40	0	0
1999	0	0	0	73	182	103	171	6	64	137	0	0
2000	94	0	138	0	98	218	75	62	194	102	111	22
2001	138	0	4	173	17	142	168	47	187	31	14	0
2002	0	0	80	110	149	147	206	237	265	249	135	99
2003	27	74	246	125	18	128	83	40	9	106	125	245

Tabela 72 - Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês⁻¹). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 75 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	60	171	41	41	117	103	96	28	25	18	45	0
1970	0	0	0	0	80	245	89	32	0	84	0	51
1971	30	13	17	11	30	203	65	110	16	0	0	0
1972	0	0	146	28	45	174	140	295	167	163	63	0
1973	20	137	0	66	76	123	187	149	61	22	0	0
1974	0	112	1	0	0	105	30	112	46	0	21	7
1975	0	0	31	0	58	109	66	264	137	0	2	140
1976	20	0	108	64	94	46	179	54	127	80	0	0
1977	115	84	44	162	60	81	254	96	44	93	30	0
1978	17	0	0	0	0	31	85	11	3	47	139	0
1979	0	0	0	25	159	12	112	117	177	191	7	0
1980	0	0	61	0	15	67	124	18	0	141	1	10
1981	142	0	0	0	0	137	58	0	118	0	0	42
1982	0	72	0	0	67	317	183	227	116	248	169	37
1983	0	0	40	144	209	102	240	42	7	26	0	0
1984	106	0	0	263	416	312	174	60	129	0	56	0
1985	0	0	71	217	133	158	197	164	152	0	0	0
1986	0	0	172	138	289	100	48	175	108	84	198	0
1987	18	31	145	65	101	221	231	164	93	43	0	57
1988	0	0	0	50	4	185	46	18	316	79	62	0
1989	0	0	96	42	0	18	76	85	162	48	71	0
1990	0	9	84	178	83	64	70	0	160	102	130	0
1991	0	0	0	192	0	140	144	0	0	0	0	115
1992	0	81	23	206	110	107	95	47	102	61	0	0
1993	165	0	0	0	159	136	202	0	35	123	157	49
1994	0	144	0	90	222	191	210	121	63	172	14	0
1995	0	0	63	0	36	122	150	68	182	4	0	0
1996	328	68	0	27	0	82	28	119	41	52	0	34
1997	0	59	0	0	18	158	77	103	26	383	95	156
1998	74	147	83	274	75	82	153	126	173	40	0	0
1999	0	0	0	60	182	103	171	6	64	137	0	0
2000	94	0	136	0	98	218	75	62	194	102	111	22
2001	134	0	4	173	17	142	168	47	187	31	14	0
2002	0	0	78	110	149	147	206	237	265	249	135	99
2003	27	74	246	125	18	128	83	40	9	106	125	245

Tabela 73 - Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês⁻¹). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 100 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	60	171	41	41	117	103	96	28	25	18	45	0
1970	0	0	0	0	72	245	89	32	0	84	0	46
1971	24	13	17	11	30	203	65	110	16	0	0	0
1972	0	0	137	28	45	174	140	295	167	163	63	0
1973	16	137	0	63	76	123	187	149	61	22	0	0
1974	0	112	1	0	0	101	30	112	46	0	19	7
1975	0	0	31	0	56	109	66	264	137	0	2	140
1976	15	0	103	64	94	46	179	54	127	80	0	0
1977	115	84	44	162	60	81	254	96	44	93	30	0
1978	17	0	0	0	0	23	85	11	3	47	139	0
1979	0	0	0	8	159	12	112	117	177	191	7	0
1980	0	0	54	0	13	67	124	18	0	141	1	10
1981	142	0	0	0	0	126	58	0	118	0	0	39
1982	0	66	0	0	58	317	183	227	116	248	169	37
1983	0	0	34	144	209	102	240	42	7	26	0	0
1984	104	0	0	258	416	312	174	60	129	0	56	0
1985	0	0	49	217	133	158	197	164	152	0	0	0
1986	0	0	159	138	289	100	48	175	108	84	198	0
1987	18	31	145	65	101	221	231	164	93	43	0	57
1988	0	0	0	36	4	185	46	18	316	79	62	0
1989	0	0	80	42	0	17	76	85	162	48	71	0
1990	0	7	84	178	83	64	70	0	159	102	130	0
1991	0	0	0	177	0	140	144	0	0	0	0	104
1992	0	76	23	206	110	107	95	47	102	61	0	0
1993	165	0	0	0	157	136	202	0	35	123	157	49
1994	0	135	0	87	222	191	210	121	63	172	14	0
1995	0	0	45	0	36	122	150	68	182	4	0	0
1996	328	68	0	25	0	80	28	119	41	52	0	30
1997	0	55	0	0	13	158	77	103	26	383	95	156
1998	74	147	83	274	75	82	153	126	173	40	0	0
1999	0	0	0	50	182	103	171	6	64	137	0	0
2000	94	0	136	0	98	218	75	62	194	102	111	22
2001	132	0	4	173	17	142	168	47	187	31	14	0
2002	0	0	76	110	149	147	206	237	265	249	135	99
2003	27	74	246	125	18	128	83	40	9	106	125	245

Tabela 74 - Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês⁻¹). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 150 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	59	171	41	41	117	103	96	28	25	18	45	0
1970	0	0	0	0	63	245	89	32	0	84	0	41
1971	15	13	17	11	30	203	65	110	16	0	0	0
1972	0	0	126	28	45	174	140	295	167	163	63	0
1973	11	137	0	60	76	123	187	149	61	22	0	0
1974	0	111	1	0	0	98	30	112	46	0	17	7
1975	0	0	31	0	54	109	66	264	137	0	2	140
1976	9	0	97	64	94	46	179	54	127	80	0	0
1977	114	84	44	162	60	81	254	96	44	93	30	0
1978	17	0	0	0	0	15	85	11	3	47	139	0
1979	0	0	0	0	142	12	112	117	177	191	7	0
1980	0	0	46	0	12	67	124	18	0	141	1	10
1981	142	0	0	0	0	110	58	0	117	0	0	37
1982	0	59	0	0	48	317	183	227	116	248	169	37
1983	0	0	27	144	209	102	240	42	7	26	0	0
1984	101	0	0	253	416	312	174	60	129	0	55	0
1985	0	0	15	217	133	158	197	164	152	0	0	0
1986	0	0	141	138	289	100	48	175	108	84	198	0
1987	18	31	145	65	101	221	231	164	93	43	0	57
1988	0	0	0	16	4	185	46	18	316	79	62	0
1989	0	0	58	42	0	16	76	85	162	48	71	0
1990	0	5	84	178	83	64	70	0	159	102	130	0
1991	0	0	0	155	0	140	144	0	0	0	0	89
1992	0	71	23	206	110	107	95	47	102	61	0	0
1993	165	0	0	0	155	136	202	0	34	123	157	49
1994	0	123	0	84	222	191	210	121	63	172	14	0
1995	0	0	18	0	35	122	150	68	182	4	0	0
1996	328	68	0	22	0	78	28	119	41	52	0	25
1997	0	51	0	0	6	158	77	103	26	383	95	156
1998	73	147	83	274	75	82	153	126	173	40	0	0
1999	0	0	0	37	182	103	171	6	64	137	0	0
2000	94	0	135	0	98	218	75	62	194	102	111	22
2001	130	0	3	173	17	142	168	47	187	31	14	0
2002	0	0	75	110	149	147	206	237	265	249	135	99
2003	27	74	246	125	18	128	83	40	9	106	125	245

Tabela 75 - Valores estimados mensais de excedente hídrico (mm.mês⁻¹). Santa Maria, RS.
Capacidade de água disponível: 200 mm. Thornthwaite e Mather (1955)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1969	59	171	41	41	117	103	96	28	25	18	45	0
1970	0	0	0	0	58	245	89	32	0	84	0	38
1971	11	13	17	11	30	203	65	110	16	0	0	0
1972	0	0	120	28	45	174	140	295	167	163	63	0
1973	8	137	0	59	76	123	187	149	61	22	0	0
1974	0	111	1	0	0	96	30	112	46	0	16	7
1975	0	0	31	0	54	109	66	264	137	0	2	140
1976	5	0	93	64	94	46	179	54	127	80	0	0
1977	114	84	44	162	60	81	254	96	44	93	30	0
1978	17	0	0	0	0	9	85	11	3	47	139	0
1979	0	0	0	0	125	12	112	117	177	191	7	0
1980	0	0	42	0	11	67	124	18	0	141	1	10
1981	142	0	0	0	0	101	58	0	117	0	0	35
1982	0	55	0	0	41	317	183	227	116	248	169	37
1983	0	0	22	144	209	102	240	42	7	26	0	0
1984	100	0	0	249	416	312	174	60	129	0	55	0
1985	0	0	0	206	133	158	197	164	152	0	0	0
1986	0	0	130	138	289	100	48	175	108	84	198	0
1987	18	31	145	65	101	221	231	164	93	43	0	57
1988	0	0	0	2	4	185	46	18	316	79	62	0
1989	0	0	44	42	0	16	76	85	162	48	71	0
1990	0	3	84	178	83	64	70	0	159	102	130	0
1991	0	0	0	141	0	140	144	0	0	0	0	80
1992	0	68	23	206	110	107	95	47	102	61	0	0
1993	165	0	0	0	154	136	202	0	33	123	157	49
1994	0	115	0	82	222	191	210	121	63	172	14	0
1995	0	0	0	0	35	122	150	68	182	4	0	0
1996	328	68	0	21	0	77	28	119	41	52	0	23
1997	0	48	0	0	2	158	77	103	26	383	95	156
1998	73	147	83	274	75	82	153	126	173	40	0	0
1999	0	0	0	30	182	103	171	6	64	137	0	0
2000	94	0	134	0	98	218	75	62	194	102	111	22
2001	129	0	3	173	17	142	168	47	187	31	14	0
2002	0	0	74	110	149	147	206	237	265	249	135	99
2003	27	74	246	125	18	128	83	40	9	106	125	245