

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE
DEFICIÊNCIA HÍDRICA NOS SOLOS DA REGIÃO
CENTRAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

TESE DE DOUTORADO

Claire Delfini Viana Cardoso

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DEFICIÊNCIA
HÍDRICA NOS SOLOS DA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO
DO RIO GRANDE DO SUL**

por

Claire Delfini Viana Cardoso

Tese apresentada ao programa de pós-graduação em Agronomia, área
Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein

Santa Maria, RS, Brasil

2005

C268p Cardoso, Claire Delfini Viana, 1957-

Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da Região Central do Estado do Rio Grande do Sul / por Claire Delfini Viana Cardoso ; orientador Arno Bernardo Heldwein. – Santa Maria, 2005.
186 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

1. Agronomia 2. Balanço hídrico 3. Deficiência hídrica 4. Probabilidade 5. Região Central 6. Rio Grande do Sul I. Heldwein, Arno Bernardo, orient. II. Título

CDU: 631.432

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes CRB-10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2005

Todos os direitos autorais reservados a Claire Delfini Viana Cardoso. A reprodução de parte ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Marechal Deodoro, 286. Santiago, RS. 97700-000 Fone (55) 3251- 3721.

End.Eletr. ccardoso@mail.ufsm.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Tese

**PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA NOS
SOLOS DA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO
SUL**

elaborada por

Claire Delfini Viana Cardoso

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Doutora em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein
Presidente/Orientador (UFSM)**

Prof. Dr. Enio Giotto (UFSM)

Prof^ª Dra. Fabiane Machado Vezzani (UERGS)

Prof. Dr. Galileo Adeli Buriol (UFSM)

Prof. Dr. Alessandro Dal' Col Lúcio (UFSM)

Santa Maria, 03 de junho de 2005.

DEDICO

Aos meus pais Nargipe e Lúcia, pelo exemplo e por terem feito de mim o que sou,

À minha família, por acreditar nos meus sonhos e me apoiar nessa caminhada,

À memória de meu querido sogro Wilson Cardoso, que, de onde está, tenho certeza que zela por mim;

Aos meus alunos, razão dessa busca.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido viver, trabalhar e ser feliz;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de aprofundar meus estudos;

Ao Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein, que acreditou, apoiou e orientou meus estudos com amizade, motivação e confiança;

Ao Prof. Dr. Enio Giotto, especial amigo que acreditou em minha capacidade e direcionou meu aperfeiçoamento com valiosa co-orientação, disponibilidade e incondicional amizade;

Ao Prof. Dr. Galileo Adeli Buriol, pelas sugestões e contribuições ao trabalho;

À Comissão Examinadora pelas sugestões importantes no decorrer da elaboração dessa tese: Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein, Prof. Dr. Enio Giotto, Prof. Dr. Galileo Adeli Buriol, Prof^a Dra. Fabiane Machado Vezzani, Prof^o Dr. Alessandro Dal' Col Lúcio;

Aos coordenadores do Laboratório de Geomática, Prof. Dr. Enio Giotto, Prof. Dr. Adroaldo Robaina e Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira, pela atenção, amizade, troca de experiência e conhecimentos, assim como a disponibilidade de equipamentos;

Ao meu esposo Vitor Hugo por acompanhar minha trajetória de busca, apoiar-me nos momentos difíceis e compartilhar com amor, as dificuldades e alegrias da conquista dessa jornada;

Aos meus amados filhos Maria Lúcia, Vitor, Enzo e Stefano, razões de minha vida, que desde cedo aprenderam a acompanhar meus passos na busca do aperfeiçoamento; pelo amor e carinho que me acolhem e pelos momentos felizes que compartilhamos;

Aos meus queridos pais Nargipe e Lúcia; irmãos e cunhado(a)s Paulo Roberto e Maria José; Cleila e Milton; Narlú e Edson e sobrinhos, pelo carinho, incentivo e apoio em minhas convicções e conquistas;

À minha querida sogra Élide, cunhados Vera Lúcia, Wilson Roberto, Lisandra e sobrinhos pelo carinho recebido;

Às minhas amadas netas Ana Laura e Maria Carolina, pelo exemplo que posso lhes deixar como herança e às noras Fabiana, Lisane e genro Rodrigo;

Aos amigos e colegas da Universidade de Passo Fundo, Prof^o MSc Luis Carlos Naujorks e Prof^a Esp.Terezinha Antonio Naujorks pela amizade e crença na minha capacidade de superar os obstáculos da caminhada;

Aos colegas do Laboratório de Geomática: Marcelo e Tatiana Calgaro, Ana Caroline Benedetti, Patrick e Érica Kaiser, Luiz Fernando Sangoi, Alexandre Ten Caten, Gilfredo Castagna, Patrícia, Dina, Marcos Storck e Daniel Boemo, pelo carinho, companheirismo e amizade no período de estudos na UFSM e no decorrer do desenvolvimento desse trabalho;

Aos colegas Andréia Becker, Luciano Sulzbach e Rogério Dallarosa, agora distantes, mas presentes em minhas lembranças;

Aos colegas do Dept^o de Climatologia Agrícola: Carina Pivetta, Edenir Grimm, Gustavo Trentin, Ivonete Tazzo, Ivan Maldaner, Joel Cordeiro da Silva, Luciano Streck, Roberto Trentin, Sidinei Raddons, pelo convívio agradável;

Às funcionárias Gerci e Mayara (DERCA) e Rose (CCR), pela atenção e carinho a mim dispensados;

Ao senhor Luís Marchiotti Fernandes, coordenador da Biblioteca Setorial do CCR e demais funcionários, pela amizade, atenção e presteza do atendimento;

Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente estiveram ao meu lado, acolhendo, incentivando e me dando força e assim, colaborando na concretização dessa tese,

Meu reconhecimento.

... porque quem chega onde estou chegando, nunca chega só, vem sempre rodeado de amor, de carinho, de solidariedade...

AGRADECIMENTO ESPECIAL

À minha querida filha Maria Lúcia, pela colaboração na etapa de digitação e correção dos textos;

Aos colegas Carina, Gustavo, Joel, Ivan e Sidinei pelo coleguismo e participação direta na etapa estatística da minha tese;

À amiga do coração Ana Caroline (Aninha) e colega Elvis, pelo apoio na elaboração de mapas;

A todos aqueles que ao me encontrarem, sorriam, desejavam sorte e sucesso nessa empreitada;

Sem vocês, o caminho seria mais árduo.

“..... Porque qualquer um, independentemente das habilitações que tenha, ao menos uma vez na sua vida fez ou disse coisas muito acima da sua natureza e condição, e se à essas pessoas pudéssemos retirar do cotidiano pardo em que vão perdendo os contornos, ou elas a si próprias por violência se retirassem de malhas e prisões, quantas mais maravilhas seriam capazes de obrar; que pedaços de conhecimento profundo poderiam comunicar; porque cada um de nós sabe infinitamente mais do que julga e cada um dos outros infinitamente mais do que neles aceitamos reconhecer.....”

José Saramago

(A Jangada de Pedra)

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

PROBABILIDADES DE OCORRÊNCIA DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA NOS SOLOS DA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

AUTORA: Claire Delfini Viana Cardoso
ORIENTADOR: Dr. Arno Bernardo Heldwein
Santa Maria, 03 de junho de 2005.

A determinação detalhada das probabilidades de ocorrência de certos níveis de deficiência hídrica (DH) é fundamental para o planejamento agropecuário e a gestão ambiental na administração pública e privada, o que ainda precisa ser realizado para a região central do Rio Grande do Sul. Objetivou-se determinar as deficiências hídricas totais e máximas, a probabilidade de sua ocorrência de diferentes níveis em períodos mensais, decendiais e quinquidiais ao longo do ano, em função da unidade de mapeamento de solo para a região central do Estado do Rio Grande do Sul, abrangida pela estação meteorológica de Santa Maria (EMSM), ajustar técnicas de geoprocessamento para a sua espacialização e avaliar as diferenças decorrentes da adoção de balanço hídrico seqüencial (BHS) diário, decendial ou mensal e da utilização de dois métodos de estimativa da evapotranspiração potencial (ETP). Utilizaram-se dados meteorológicos diários, medidos na EMSM, de agosto de 1968 a julho de 2004, para calcular a ETP, com os métodos de Penman-Monteih, Penman e Thornthwaite. As DHs foram determinadas por BHS, em escala diária, decendial e mensal, para as diferentes capacidades de armazenamento de água disponível (CAD) dos solos da região, obtidas com a aplicação de equações de pedotransferência às propriedades físicas da cada horizonte e considerando a profundidade do solo explorada pelas raízes da vegetação nativa. Aos valores de DH totais (DHT) e máximos (DHM) de cada período, maiores do que 50, 40, 20, 10 e 5mm, foram ajustadas funções de distribuição, com as quais obtiveram-se as probabilidades de sua ocorrência em cada quinquídio, decêndio ou mês nos diferentes solos, cuja distribuição geográfica de valores foi efetuada através das técnicas de geoprocessamento. Verificou-se que os valores mensais e decendiais de DH do solo se ajustam às funções log-normal, gama e exponencial, sendo o melhor ajuste com a log-normal nos meses com maior DH e a função gama nos meses de menor DH do outono, inverno e primavera. Os solos menos profundos (Charrua) possuem a menor CAD, 40mm, e os mais profundos (Cerrito) a maior, com 215mm. Nos meses de abril a agosto, não há risco de DH significativa, principalmente nos solos com a maior CAD. A probabilidade de ocorrência de DHM, acumulada durante períodos contínuos sem chuvas (pDHM), é função principalmente da época do ano e da CAD do solo: nos solos com menor CAD, a pDHM >50mm é mais elevada em dezembro e janeiro (18%), cerca de 10% em novembro e é menor do que 5% nos demais meses, sendo nula de abril a setembro; nos solos de maior CAD, a pDHM >50mm não ultrapassa 1,7% dos anos em qualquer mês, mas aumenta com a diminuição da DHM para 40, 20, 10 e 5mm. Não existe relação definida quanto a variação das diferenças de probabilidade de ocorrência entre DHT e DHM com a CADs dos solos; as diferenças tendem a estar

mais relacionadas à magnitude das probabilidades, principalmente para deficiências maiores que 50, 40 e 20mm; a diferença de probabilidade entre DHT e DHM é maior, quanto maiores são as probabilidades de ocorrência. Nos períodos de maior DH, as pDHT decendiais para os diferentes solos são menores do que as pDHM decendiais, decrescendo para menos de 5% de abril a setembro e com o aumento da CAD. A pDHT em períodos quinquidiais não alcança valores elevados como em períodos mensais e decendiais, o que é uma função do menor número de dias considerados; a distribuição das deficiências ao longo do ano é semelhante aos outros períodos utilizados em DHM e DHT mensais e decendiais, mas com melhor definição de início e final dos períodos de DH de diferentes níveis. A ETP mensal estimada pelo método de Thornthwaite é maior do que o total mensal dos valores diários de ETP estimados pelo método de Penman nos meses de janeiro a julho, mas não apresenta diferença de setembro a novembro. Na medida em que DHT decresce de 50 para 5mm, as probabilidades mensais obtidas com BH diário são maiores do que aquelas obtidas com BH mensal, principalmente na primavera e no verão, havendo tendência inversa no inverno.

Palavras-chaves: balanço hídrico, deficiências hídricas, probabilidades, risco climático

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Postgraduate Course In Agronomy
Federal University of Santa Maria

PROBABILITIES OF OCCURRING WATER DEFICIT IN DIFFERENT SOILS OF THE CENTRAL REGION OF RIO GRANDE DO SUL STATE

Author: Claire Delfini Viana Cardoso
Adviser: Dr. Arno Bernardo Heldwein
Santa Maria, March, 3rd, 2005.

The detailed determination of the probabilities of occurrence of certain levels of water deficit (WD) is important for the farming planning and environmental management in the public and private administration. Such information not available for the central region of Rio Grande do Sul State. The objective of this study was to determine the total and maximum water deficits, the probability of their occurrence at different levels in a month, ten- and fifteen- day periods basis during the year, for different soils of the central region of Rio Grande do Sul State, under the scope of the meteorological station of Santa Maria (MSSM), to adjust techniques of geoprocessing for their spatialization and to evaluate the differences due to the adoption of daily, ten days or monthly periods of sequential water balance (SWB), and the use of two potential evapotranspiration estimation (ETP) methods. Daily meteorological data measured in the MSSM from August of 1968 to July of 2004 where used to calculate the ETP, with Penman-Monteih, Penman and Thornthwaite methods. The WDs were determined by SWB, for daily, ten days and monthly periods, for different capacities of available water storage (CAS) of region soils, obtained with the application of pedotransfer equations to the physical properties of each horizon and considering the depth of the soil explored by the native vegetation roots. For total WD values (TWD) and maximums (MWD) of each period, higher than 50, 40, 20, 10 and 5mm distribution functions were adjusted and the probabilities of its occurrence for each five days, ten days or month periods in different soils were obtained and geographic distribution of values was done by geoprocessing techniques. It was verified that the monthly and ten days period values of WD of the soil adjusted to the log-normal, gamma and exponential functions, whit the best adjustment obtained with the log-normal for the months with higher WD and whit the gamma function for the months of lower WD of autumn, winter and spring. Shalower soils (Charrua) had the lower CAD, 40mm, and deepest ones (Cerrito) 215mm. In April and August months, there was not significant risk of WD, mainly in soil with the higher CAD. The probability of occurrence of MWD, accumulated during continuous periods without rain (pDHM), is a function mainly of the period of the year and the CAD of the soil: in soils with lower CAD, pDHM > 50mm is higher in December and January (18%), about 10% in November and lower than 5% in the other months, null from April to September; in soil of higher CAD, pDHM >50mm does not exceed 1.7% of the years in any month, but it raises with the reduction of the MWD to 40, 20, 10 and 5mm.

There is not clear relationship between variation of the probability differences of occurrence between TWD and MWD and the CADs of the soil; the differences tend to be more related to the magnitude of the probabilities, mainly for deficiencies higher than 50, 40 and 20mm; the difference of probability between TWD and MWD is higher, depending on how high are the occurrence probabilities. In the periods of higher WD, pDHTs of ten days period for the different soil are lower than pDHMs of ten days period, decreasing to less than 5% from April to September and with increase of CAD. pDHT in fifteen days periods does not reach high values as in monthly and ten days periods, because of the lower number of considered days; the distribution of the deficiencies during the year is similar to other periods (monthly and ten days), MWD and TWD, but with better definition of beginning and end of the periods with different levels of WD. The monthly ETP estimated by Thornthwaite method is higher than the monthly total of the daily values of ETP estimated by the Penman method from January to July, but are not different from September to November. Decreasing TWD from 50 to 5mm, monthly probabilities of SWB on a daily basis are higher than SWB on a monthly basis, mainly during spring and summer, with an opposite trend during winter.

Key words: Water balance, water shortage, probabilities, climatic risk.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Balanço Hídrico	18
Figura 2 – Regiões agroecológicas do Rio Grande do Sul.....	23
Figura 3 – Localização da área de abrangência da análise de probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica dos solos ocorrentes na mesma, na região central do Rio Grande do Sul	32
Figura 4 – Municípios incluídos no estudo de probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na região central do Rio Grande do Sul, com destaque da área de abrangência da estação meteorológica de Santa Maria	32
Figura 5 – Classes de solos e municípios ocorrentes na área de abrangência da estação meteorológica de Santa Maria, na região central do Rio Grande do Sul	38
Figura 6 –Tabela de unidades de mapeamento de solos da Região Central do Estado do Rio Grande do Sul e respectiva capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) utilizada no Menu (DEFIC) do sistema <i>Siter 2.5</i> , para a geração de mapas	61
Figura 7 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer data do mês, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Charrua (Neossolo litólico eutrófico chernossólico) sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 40mm até 20 cm de profundidade, na região Central do Rio Grande do Sul.	68
Figura 8 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer data do mês, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Ciríaco (Chernossolo argilúvico férrico típico) até 48 cm de profundidade, e Guassupi (Neossolo litólico distrófico típico) até 20 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 45mm, na região Central do Rio Grande do Sul.	69

- Figura 9 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer data do mês, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Júlio de Castilhos (Argissolo vermelho amarelo alumínico típico), até 60 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 45mm, na região Central do Rio Grande do Sul 71
- Figura 10 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer data do mês, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Guassupi (Neossolo litólico distrófico típico) até 40 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 65mm, na região Central do Rio Grande do Sul..... 72
- Figura 11 – Probabilidade (p) de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer data do mês, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Venda Grande (Chernossolo argilúvico órtico saprolítico) até 75 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 95mm, na região Central do Rio Grande do Sul..... 73
- Figura 12 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer data do mês, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Santa Maria (Alissolo crômico argilúvico típico) até 55 cm de profundidade, e Vila (Chernossolo háplico órtico típico) até 60 cm de profundidade, com capacidade de armazenamento de 104mm, vegetação natural, na região Central do Rio Grande do Sul. 75
- Figura 13 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer data do mês, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Oásis (Argissolo vermelho amarelo alumínico alisólico), até 65 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 120mm, região Central do Rio Grande do Sul. 76
- Figura 14 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer data do mês,

maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo São Gabriel (Planossolo háplico eutrófico típico) até 70 cm de profundidade e São Pedro (Argissolo vermelho distrófico arênico) até 130 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 125mm, na região Central do Rio Grande do Sul77

Figura 15 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer do mês, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Vacacaí (Planossolo hidromórfico eutrófico arênico) até 70 cm de profundidade, Cambai (Luvisolo crômico órtico típico) até 67 cm de profundidade e Alto das Canas (Argissolo vermelho distrófico latossólico) até 110 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 135mm, na região Central do Rio Grande do Sul. 79

Figura 16 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica máxima acumulada em períodos contínuos de deficiência em qualquer data do mês, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Cerrito (Latosolo vermelho distrófico argissólico) sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 215mm até 135 cm de profundidade, na região Central do Rio Grande do Sul..... 80

Figura 17 – Variação das probabilidades (p) de ocorrência de deficiência hídrica maior do que 50mm (P50), 40mm (P40), 20mm (P20), 10mm (P10) e 5mm (P5), nos meses de janeiro(1) a abril(4), para solos de diferentes capacidades de armazenamento de água disponível (CAD), na região central do Rio Grande do Sul..... 82

Figura 18 – Variação das probabilidades (p) de ocorrência de deficiência hídrica maior do que 20mm (P20), 10mm (P10) e 5mm (P5), nos meses de maio (5) a agosto(8), para solos de diferentes capacidades de armazenamento de água disponível (CAD), na região central do Rio Grande do Sul.....83

Figura 19 – Variação das probabilidades (p) de ocorrência de deficiência hídrica maior do que 50mm (P50), 40mm (P40), 20mm (P20), 10mm (P10) e 5mm (P5), nos meses de setembro(9) a dezembro(12), para solos de

diferentes capacidades de armazenamento de água disponível (CAD), na região central do Rio Grande do Sul.	84
Figura 20 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Charrua (Neossolo litólico eutrófico chernossólico) até 20 cm de profundidade sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 40mm , na região Central do Rio Grande do Sul.....	88
Figura 21 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Ciríaco (Chernossolo argilúvico férrico típico), até 48 cm de profundidade, Guassupi (Neossolo litólico distrófico típico), com 20cm de profundidade e 10cm profundidade de fendas com solo, sob vegetação natural, ambos com capacidade de armazenamento de 45mm, na região Central do Rio Grande do Sul.....	89
Figura 22 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Júlio de Castilhos (Argissolo vermelho amarelo alumínico típico), até 60 cm de profundidade sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 60mm, na região Central do Rio Grande do Sul	92
Figura 23 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Guassupi “profundo” (Neossolo litólico distrófico típico), até 40 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 65mm , na região Central do Rio Grande do Sul.....	93
Figura 24 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Venda Grande (Chernossolo argilúvico órtico saprolítico) até 75 cm de profundidade sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 95mm , na região Central do Rio Grande do Sul	95
Figura 25 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Santa Maria (Alissolo crômico argilúvico típico) até 55 cm de profundidade e Vila (Chernossolo háplico órtico típico) até 60 cm de profundidade sob vegetação	

natural, com capacidade de armazenamento de 104mm , na região Central do Rio Grande do Sul.....	97
Figura 26 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Oásis (Argissolo vermelho amarelo alumínico alissólico), até 65 cm de profundidade e Pirai (Cambissolo háplico eutrófico) até 65 cm de profundidade sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 120mm , na região Central do Rio Grande do Sul.....	99
Figura 27 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo São Gabriel (Planossolo háplico eutrófico típico) até 70 cm de profundidade e São Pedro (Argissolo vermelho distrófico arênico) até 130 cm de profundidade sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 125mm , na região Central do Rio Grande do Sul	101
Figura 28 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Vacacaí (Planossolo hidromórfico eutrófico arênico) até 70 cm de profundidade, Cambai (Luvissole crômico órtico típico) até 67cm de profundidade e Alto das Canas(Argissolo vermelho distrófico latossólico) até 110 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 135mm , na região Central do Rio Grande do Sul	104
Figura 29 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do decêndio, maior do que 50, 40, 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Cerrito (Latossolo vermelho distrófico argissólico) até 136 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 215mm , na região Central do Rio Grande do Sul.....	105
Figura 30 - Diferença entre valores de probabilidade de ocorrer deficiências máximas em qualquer dia no decêndio e deficiências totais decendiais maiores do que 50mm (P50), 40mm (P40), 20mm (P20), 10mm (P10) e 5mm (P5), no período de 01/01 a 20/03 (verão) nos solos com capacidade de armazenamento de água entre 40 e 215mm da região de Santa Maria, RS e	

- municípios vizinhos. Obs.: no n°. de identificação os dois primeiros dígitos representam o mês e o último a ordem do decêndio no referido mês..... 107
- Figura 31 - Diferença entre valores de probabilidade de ocorrer deficiências máximas em qualquer dia no decêndio e deficiências totais decendiais maiores do que 50mm (P50), 40mm (P40), 20mm (P20), 10mm (P10) e 5mm (P5), no período de 21/10 a 31/12 (primavera) nos solos com capacidade de armazenamento de água entre 40 e 215mm da região de Santa Maria, RS e municípios vizinhos. Obs.: no n°. de identificação os dois primeiros dígitos representam o mês e o último a ordem do decêndio no referido mês..... 108
- Figura 32 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Charrua (Neossolo litólico eutrófico chernossólico) até 20 cm de profundidade com capacidade de armazenamento de 40mm sob vegetação natural, na região Central do Rio Grande do Sul 110
- Figura 33 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total no quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Ciríaco (Chernossolo argilúvico férrico típico), até 48 cm de profundidade e Guassupi (Neossolo litólico distrófico típico), com 20cm de profundidade e 10cm de fenda, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 45mm, na região Central do Rio Grande do Sul. 111
- Figura 34 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Cerrito (Latosolo vermelho distrófico argissólico) até 136 cm de profundidade sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 215mm, na região central do Rio Grande do Sul. 112
- Figura 35 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total no quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Júlio de Castilhos (Argissolo vermelho amarelo alumínico típico), até 60 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 60mm, na região Central do Rio Grande do Sul 114
- Figura 36 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total no quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Guassupi “profundo”

- (Neossolo litólico distrófico típico), até 40 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 65mm, na região Central do Rio Grande do Sul 115
- Figura 37 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total no quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1mm, no solo Venda Grande (Chernossolo argilúvico órtico saprolítico) até 75 cm de profundidade sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 95mm, na região Central do Rio Grande do Sul 116
- Figura 38 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Santa Maria (Alissolo crômico argilúvico típico) até 55 cm de profundidade e Vila (Chernossolo háplico órtico típico) até 60 cm de profundidade sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 104mm, na região Central do Rio Grande do Sul 117
- Figura 39 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Oásis (Argissolo vermelho amarelo alumínico alissólico), até 65 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 120mm, na região Central do Rio Grande do Sul 118
- Figura 40 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1 mm, no solo São Pedro (Argissolo vermelho amarelo distrófico arênico) até 130cm de profundidade e São Gabriel (Planossolo háplico eutrófico típico) até 70 cm sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 125mm, na região Central do Rio Grande do Sul 119
- Figura 41 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica total do quinqüídio, maior do que 20, 10, 5 e 1 mm, no solo Vacacaí (Planossolo hidromórfico eutrófico arênico) até 70mm cm de profundidade, Cambai (Luvissole crômico órtico típico) até 67 cm de profundidade e Alto das Canas (Argissolo vermelho distrófico latossólico) até 110 cm de profundidade, sob vegetação natural, com capacidade de armazenamento de 135mm, na região Central do Rio Grande do Sul 120

Figura 42 - Diferenças de probabilidade (p) de ocorrência de deficiências hídricas totais mensais (DHT) maiores do que 50, 40, 20, 10 e 5mm, obtidas através de balanço hídrico seqüencial (BH), para os quais a evapotranspiração (ETP) foi calculada pelos métodos de Thornthwaite e de Penman, sendo o BH com dados de ETP Penman calculado para períodos mensais (a a e) e para períodos diários (f a j); as sete colunas de cada mês representam, na ordem (esquerda → direita), a diferença de p para solos da região central do Rio Grande do Sul, com capacidade de armazenamento de água de 45, 60, 95, 104, 125, 135 e 215mm, respectivamente	122
Figura 43 – Relação entre os valores mensais de evapotranspiração potencial estimada com os métodos de Penman, com dados diários acumulados no mês, e de Thornthwaite. Santa Maria, RS, 1968-2004	123
Figura 44 - Valores mensais de evapotranspiração potencial estimada através dos métodos de Penman com dados diários acumulados no mês e de Thornthwaite. Santa Maria, RS, 1968-2004	125
Figura 45 – Valores mensais de evapotranspiração potencial estimada através dos métodos de Penman, com dados diários acumulados no mês, e de Thornthwaite, abrangendo todos os meses (a), o período de agosto a novembro (b) e o período de janeiro a junho (c e d). Santa Maria, RS, 1968 – 2004	126
Figura 46 – Diferenças de probabilidade (p) de ocorrência de deficiências hídricas totais mensais (DHT) maiores do que 50, 40, 20, 10 e 5mm, obtidas através de balanço hídrico seqüencial diário e mensal, para os quais a evapotranspiração (ETP) foi calculada pelo método de Penman; obs.: cada uma das sete colunas de cada mês representa, na ordem (esquerda → direita), a diferença de p para solos da região central do Rio Grande do Sul, com capacidade de armazenamento de água de 45, 60, 95, 104, 125, 135 e 215mm, respectivamente	128
Figura 47 – Mapa da distribuição espacial das Unidades de Mapeamento dos Solos da Região central do Rio Grande do Sul, editado com o software SPRING	130

Figura 48 – Reapresentação da tabela das probabilidades de deficiência hídrica maiores do que 5, 10, 20 e 40mm nos 12 meses do ano para o solo da Unidade de Mapeamento São Pedro, a qual projetada na tela do monitor a partir de um “clic em qualquer ponto do mapa onde está zoneado este solo	131
Figura 49 – Probabilidades (Prob) de ocorrer deficiência hídrica maior do que 5mm no mês de abril para as diferentes capacidades de armazenamento de água (CAD) nos solos da região central do Rio Grande do Sul	132
Figura 50 – Probabilidades (Prob) de ocorrer deficiência hídrica maior do que 10mm no mês de outubro para as diferentes capacidades de armazenamento de água (CAD) nos solos da região central do Rio Grande do Sul	134
Figura 51 – Probabilidades (Prob) de ocorrer deficiência hídrica maior do que 20mm no mês de outubro para as diferentes capacidades de armazenamento de água (CAD) nos solos da região central do Rio Grande do Sul	135
Figura 42 – Probabilidades (Prob) de ocorrer deficiência hídrica maior do que 40mm no mês de dezembro para as diferentes capacidades de armazenamento de água (CAD) nos solos da região central do Rio Grande do Sul	136

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Sub-regiões Agroecológicas do estado do Rio Grande do Sul e sua caracterização climática em nível anual.....36
- Tabela 2 - Capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) nos horizontes (Hz) e acumulada no perfil (Ac.) até a profundidade alcançada pelo sistema radicular (CR) da vegetação nativa, em função das suas propriedades físicas, para as principais classes e unidades de mapeamento dos solos ocorrentes na região central do Rio Grande do Sul, para o que a umidade volumétrica dos horizontes diferentes (H) do solo (Θ_H) possível de ser armazenada nos níveis de umidade correspondentes à capacidade de campo (Θ_{HCC}) e o ponto de murcha permanente (Θ_{HPMP}), foi calculada através de equações de pedotransferência, com coeficientes determinados por Peraza (2003)..... 49
- Tabela 3 – Coeficientes das equações básicas de van Genuchten para os horizontes A, AB e B dos solos Cerrito, Charrua, Oásis, Pirai, Venda Grande e Vila, determinados em função do potencial matricial por Peraza (2003). Santa Maria, 2005.51

LISTA DE REDUÇÕES

(siglas, símbolos e abreviaturas)

ARM – Armazenamento

AD – Água Disponível

BH – Balanço Hídrico

BHC – Balanço Hídrico Climático

BHS – Balanço Hídrico Seriado

CAD – Capacidade de Armazenamento de Água Disponível

CC – Capacidade de Campo

DEF – Deficiência

D – Drenagem Vertical ou Ascensão Capilar

DL – Drenagem Lateral

DP – Drenagem Profunda

DHT – Deficiência Hídrica Total

DHM – Deficiência Hídrica Mensal

ds_H – densidade do solo

e – pressão parcial de vapor

e_s – pressão de saturação de vapor

EXC – Excessos

ET_m – Evapotranspiração máxima

ET_o – Evapotranspiração de referência

ETP – Evapotranspiração potencial

ET_r – Evapotranspiração real

ES – Escoamento Superficial

FP_{tr} – Função de pedotransferência

H_H – Espessura do respectivo horizonte

H_z – Horizonte

I – Irrigação

ISNA – Índice de Satisfação da Necessidade de Água

INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais

$K_{o\downarrow}$ – densidade de fluxo de radiação solar global incidente no topo da atmosfera

L* – Balanço de radiação de ondas longas

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MOS – Matéria Orgânica

n – insolação diária

N – comprimento do dia

P – precipitação diária

PROAGRO – Programa de garantia da Atividade Agropecuária

Q * - Saldo de radiação

RS – Rio Grande do Sul

SIGs – Sistema de Informação Geográfica

SPRING – Sistema de Informações Georreferenciadas

SITER – Sistema de Informações Territoriais Rurais

θ – umidade volumétrica no solo na capacidade de campo (θ_{HCC})

θ – umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (θ_{PMP})

θ_s – umidade de saturação do solo

Ψ_m – potencial matricial da água no solo

LISTA DE ANEXOS

- Anexo I – Parâmetros da fórmula Thornthwaite e Evapotranspiração potencial (ETP) mensal normal para Santa Maria, RS, calculados com os valores normais climatológicos de temperatura média mensal do ar de Santa Maria, RS151
- Anexo II – Parâmetros das funções ajustadas à distribuição da deficiência hídrica mensal no solo determinada em balanço hídrico seqüencial diário para cada CAD com evapotranspiração potencial calculada pelo método de Penmann – Monteith.....152
- Anexo III – Parâmetros das funções ajustadas à distribuição da deficiência hídrica mensal no solo determinada em balanço hídrico seqüencial mensal para cada CAD com evapotranspiração potencial diária calculada pelo método de Penmann – Monteith. 155
- Anexo IV – Parâmetros das funções ajustadas à distribuição da deficiência hídrica mensal no solo determinada em balanço hídrico seqüencial mensal para cada CAD, com evapotranspiração potencial mensal calculada pelo método Thornthwaite.157
- Anexo V – Funções que melhor se ajustaram às probabilidades de ocorrência de deficiência hídrica decêndial no solo (DH) ou seus valores transformados (Transf), determinada em 36 anos através de balanço hídrico seqüencial diário para cada CAD com evapotranspiração potencial calculada pelo método de Penmann-Monteith.....159

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	Balanço Hídrico e Seriado.....	10
2.2	Capacidade de Armazenamento de Água pelo Solo	14
2.3	Importância do Balanço Hídrico para a avaliação dos Ecossistemas.....	17
2.4	Geoprocessamento e Aplicabilidade.....	24
2.4.1	Sistemas de Informações Geográficas	26
2.4.2	Mapas Coropléticos	27
2.4.3	Modelagem dos Dados Geográficos.....	28
2.4.4	CR- SITER 2.5 – Desenvolvimento e Aplicações	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1	Caracterização Geral da Área Estudada	32
3.1.1	Relevo e Hidrografia	34
3.1.2	Clima e Vegetação	35
3.1.3	Solos.....	37
3.1.3.1	Unidade de Mapeamento e Classes	37
3.1.3.1.1	Alissolos	39
3.1.3.1.2	Argissolos	39
3.1.3.1.3	Chernossolos	41
3.1.3.1.4	Latossolos	42
3.1.3.1.5	Luvissolos	43
3.1.3.1.6	Neossolos	43
3.1.3.1.7	Planossolos.....	44
3.2	Variáveis Meteorológicas e seu Processamento.....	45
3.3	Capacidade de Armazenamento de Água Disponível – CAD	48
3.4	Cálculo do Balanço Hídrico.....	55
3.5	Determinação da Probabilidade de Ocorrência de Certos Níveis de Deficiência Hídrica	56

3.6	Comparação Entre os Resultados Obtidos com dois métodos de Cálculo do Balanço Hídrico Mensal.....	60
3.7	Espacialização da Probabilidade de Ocorrência de Deficiência Hídrica em Solos da Região Central do Rio Grande do Sul	61
3.7.1	Edição de Mapa Analógico – Geração do Mapa Digital.....	62
3.7.2	Estruturação de Banco de Dados de Atributos.....	64
3.7.3	Desenvolvimento de um Sistema de Espacialização e Visualização dos Níveis Mensais de Deficiência Hídrica.....	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.1	Funções de Probabilidade.....	66
4.2	Probabilidades de Ocorrência de Deficiências Máximas Acumuladas durante Períodos Contínuos sem Chuva até qualquer data do mês	66
4.3	Probabilidades de Ocorrência de Deficiências Hídricas Totais Mensais	81
4.4	Probabilidades de Ocorrência de Deficiências Hídricas Totais Decências	87
4.5	Diferença entre Probabilidades de Ocorrência de Deficiências Hídricas Máximas e Totais em Períodos Decendiais	106
4.6	Probabilidades de Ocorrência de Deficiências Hídricas em Períodos Quinqüidiais.....	109
4.7	Diferenças de Probabilidade de Ocorrência de Deficiências Hídrica Total Mensal em função do Método de Cálculo da Evapotranspiração e Escala de Tempo do Balanço Hídrico	121
4.8	Distribuição Espacial de Probabilidades de Ocorrência de Diferentes Níveis de Deficiência Hídrica Total Mensal em função da Capacidade Armazenamento de Água dos Solos	129
4.8.1	Mapa Digital de Solos da Região Central do RS	129
4.8.2	Sistema de Espacialização e Visualização de Probabilidades de Deficiência Hídrica.....	131
4.8.2.1	Seleção de Unidade de Solo.....	131
4.8.2.2	Mapas de Probabilidade de Ocorrência de Deficiência Hídrica	132
5	CONCLUSÕES.....	138
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
7	ANEXOS.....	155

1 INTRODUÇÃO

As atividades da agricultura econômica e ecologicamente sustentável, no âmbito da competição de mercado imposta pela globalização, precisam ser conduzidas com técnicas precisas, embasadas num sistema de informações dinâmico, por vezes complexo, para que cada tomada de decisão seja a que resulte em menor risco de dano ambiental e econômico, tanto a curto, quanto a médio e longo prazo. Uma das informações de máxima importância é a disponibilidade hídrica no solo e a estatística de probabilidade de ocorrência de diferentes níveis de deficiência e excesso hídrico, utilizada na análise de riscos, no zoneamento agrícola e no planejamento de grande parte das atividades e procedimentos dos empreendimentos agropecuários. É também fundamental para as análises de impacto ambiental das diferentes atividades humanas ou de eventos meteorológicos extremos.

A agricultura, como atividade de risco, está fortemente sujeita aos efeitos da variação das condições ambientais, principalmente do tempo e do clima. É importante conhecer a magnitude, variabilidade e probabilidade de ocorrência dos elementos meteorológicos do local de cultivo, como numa análise de dados de uma longa série de observações. Tais informações são fundamentais para o planejamento agropecuário e o aumento da produtividade, visando reduzir os riscos do empreendimento e os custos de produção.

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) possui forte vínculo com as práticas agropecuárias onde a agricultura destaca-se com grande importância para o setor em nível nacional. Historicamente, grande produtor de grãos, possui áreas específicas de culturas, as quais, em geral tem maior expressão de desenvolvimento nas áreas delimitadas pelo zoneamento agrícola e de produção pecuária.

Para o zoneamento são necessários estudos sistematizados sobre variados assuntos, em especial quando há necessidade de estabelecer parâmetros significativos para o bom desenvolvimento dos cultivos agrícolas. Nesse contexto ainda é necessário imprimir um caráter investigatório mais profundo, que

proporcione uma análise detalhada de como equacionar um maior rendimento econômico dos cultivos agrícolas, com o menor investimento possível. Para isso o refinamento do zoneamento agrícola pode ainda contribuir substancialmente.

O fornecimento da quantidade adequada de água no momento que as plantas a necessitam, é de fundamental importância para evitar condições de estresse, por excesso ou deficiência hídrica, as quais poderiam prejudicar seu crescimento e desenvolvimento e, por conseqüência, comprometer a produtividade das culturas (DALMAGO, 2001). Faz-se necessário então, buscar elementos que disponibilizem essas informações periódicas, da forma mais precisa possível, para que sirvam de suporte à manutenção do sistema de produção da agricultura da região, bem como para a caracterização ecológica mais detalhada da mesma, servindo como suporte para estudos de impacto ambiental de condições extremas de deficiência e excesso hídrico sobre a fauna e flora natural. Além disso, os dados de disponibilidade hídrica constituem um input básico para o gerenciamento ambiental e dos recursos hídricos.

Sendo a disponibilidade hídrica um dos fatores mais importantes da produtividade biológica de um ecossistema natural ou de um cultivo agrícola, a quantificação da sua variabilidade e da probabilidade de ocorrência de determinados níveis críticos é fundamental para o planejamento estratégico. Essas análises só podem ser feitas com a realização do balanço hídrico específico para cada solo, aplicado de forma seqüencial em séries históricas longas de observações meteorológicas.

Em estudos de probabilidade e outras aplicações, a escala do tempo a ser empregada, deve ser compatível com o objetivo da utilização dos dados gerados através do balanço hídrico (THORNTHWAITE & MATHER, 1955). BURIOL et al. (1980) geraram informações de disponibilidades hídricas possíveis de ocorrerem para diferentes probabilidades em escala mensal para 42 locais do Rio Grande do Sul, dos quais Santa Maria e parte de São Gabriel, de São Sepé e de Julio de Castilhos estão incluídas na área da atual análise. A utilização de escalas de tempo mais restrito, como a diária, quinqüidial (5 dias), semanal (7dias) ou decendial (10 dias) em geral são mais adequadas para a caracterização ecológica e agroecológica, pois a escala mensal é muito ampla para avaliar a resposta das plantas. Quanto menor for a escala de tempo, tanto melhor poderá ser o ajuste dos dados gerados às respostas bioclimáticas dos cultivos, bem como da vegetação nativa do local.

O processo de evapotranspiração (ETP), depende de fatores climáticos, que condicionam a magnitude dos elementos meteorológicos, que incluem os efeitos da disponibilidade de energia (saldo de radiação) para o processo e da demanda evaporativa do ar, a qual é resultante da sua temperatura e umidade e da velocidade do vento. Portanto, quando se utiliza apenas um desses elementos (como por exemplo a temperatura do ar no método de THORNTHWAITE, 1948), a estimativa da ETP perde em precisão, principalmente quando a escala de tempo é decenal ou menor. Assim, o efeito conjunto dessas variáveis caracteriza a demanda atmosférica por vapor de água das superfícies vegetadas, as quais também interferem no processo devido a modificação do microclima condicionado pelas diferentes espécies e estrutura do dossel vegetal, estádios de desenvolvimento das plantas e dimensão e distribuição do sistema radicular. A magnitude da evapotranspiração e dos demais elementos do balanço hídrico, é influenciada também pelas características físicas do solo. Nele as relações entre as espécies presentes, principalmente pela atividade do sistema radicular, os sistemas de manejo e de plantio, a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) e as interferências físicas e químicas são fundamentais. Por isso é fundamental que o balanço hídrico seja realizado para a real CAD de cada solo. A combinação desses fatores e a grande variabilidade espacial e temporal que caracteriza o elemento precipitação interferem na magnitude dos elementos do balanço hídrico. A partir desses pressupostos, pode-se inferir a hipótese de que: “existe variabilidade espacial e temporal significativa das deficiências hídricas na região central do Rio Grande do Sul devido à variabilidade espacial da precipitação e da CAD dos diferentes solos e, em menor grau, da evapotranspiração de referência (ETo)”.

O conhecimento dessa variabilidade é fundamental para o planejamento das atividades agropecuárias e demais segmentos econômico-sociais a elas interligadas, bem como para minimizar os riscos de redução da produção. Além disso, serve de ferramenta para a tomada de decisão, quanto à medidas de proteção da fauna e da vegetação nativa em épocas de ocorrência de deficiência drástica ou excesso hídrico de maior magnitude. Para a região central do Rio Grande do Sul (RS) ainda é necessário detalhar e aprofundar essas questões relativas ao balanço hídrico para as diferentes capacidades de armazenamento de água disponível nos solos ocorrentes, para períodos curtos de tempo, cujos componentes básicas são obtidos pela utilização de dados meteorológicos e da caracterização física e mapeamento

detalhado dos solos. A região central do RS abrange a maior parte dos Municípios das sub-regiões agroecológicas 1c, 1b, 5d, 5e, 6b e 10a, conforme o Macrozoneamento agroecológico do RS (RIO GRANDE DO SUL, 1994). Parte dessas sub-regiões agroecológicas se sobrepõe à região fisiográfica da Depressão Central, que totaliza 32 municípios com destaque para Santa Maria, São Gabriel e Júlio de Castilhos e representa quase 28,63% da população e 23,65% do PIB estadual (COREDES, 1999).

Em alguns trabalhos realizados no RS foi utilizada a escala decendial, como por exemplo, para análise de ocorrência das deficiências hídricas para o planalto médio do RS (MATZENAUER et al., 1998; 2000), os quais melhoraram as análises, embora tenham utilizado apenas um valor de CAD fixo de 75mm e uma série de apenas 25 anos de dados. Para quatro locais da região central do Rio Grande do Sul BURIOL et al. (1977) efetuaram o balanço hídrico seriado ou seqüencial (BHS), no qual foram analisados as deficiências (DEF) e os excessos (EXC) hídricos em cada mês, tomando como base de cálculo uma série histórica de observações mensais de um período de aproximadamente 50 anos. Além de utilizar apenas dados mensais, nesse trabalho, a estimativa da evapotranspiração potencial foi feita com o método de THORNTHWAITE (1948), no qual é utilizada apenas a variável temperatura e, portanto, essa estimativa é menos precisa do que a metodologia recomendada pela OMM para o cálculo dessa variável, baseada na equação de Penman ou Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). NIED (2003), verificou que para a cultura do milho em Santa Maria, RS, a simulação do balanço hídrico seqüencial diário apresenta diferenças em relação ao decendial e é mais adequado do que este. A causa dessa diferença é a distribuição aleatória da precipitação ao longo desse período e, conforme NIED et al. (2003), devido ao erro na estimativa da ETP quando se utiliza o método de Penman-Moenteith causada pelo efeito da velocidade do vento média do decêndio em relação às médias diárias, que são muito variáveis ao longo de um período de dez dias. Esses resultados demonstram que, para a região central do RS é muito importante a realização do balanço hídrico seqüencial diário para as diferentes CAD dos diferentes solos da região e, portanto, existe a carência de todas as informações possíveis de serem geradas por esse procedimento e sua estatística, as quais são imprescindíveis para o planejamento adequado e detalhado das atividades agropecuárias e da caracterização dos ecossistemas naturais na região.

No sentido de realizar um trabalho básico para suprir essa importante carência de informação agroclimática, o presente trabalho, como uma proposta de refinamento de análise metodológica, baseia-se na redução do intervalo a ser considerado (1 dia, 1 decêndio) ao proceder o balanço hídrico seqüencial para a região central do RS. Com ele se visa obter um banco de dados e índices em escala de tempo curto, bem como sua espacialização, para posteriores trabalhos aplicados à culturas específicas, além de fornecer subsídios para a agricultura de precisão. Como atualmente não há recursos disponíveis para adquirir os dados da série histórica analisada nos trabalhos de BURIOL et al. (1977,1980), não é possível compará-los estatisticamente aos resultados obtidos com metodologia diferente e uma série mais recente de dados. No entanto, com a utilização de dados diários, espera-se que a determinação dos valores extremos e a probabilidade de sua ocorrência, resultem mais acentuados que os obtidos por BURIOL et al. (1980). Para confirmar isso pode-se recorrer a avaliação comparativa dos resultados obtidos pela utilização das duas metodologias para um local e alguns solos com diferentes CADs. Nesse sentido a segunda hipótese a ser confirmada com este trabalho foi : “na região de abrangência da estação meteorológica de Santa Maria, RS, para as unidades de mapeamento de solo Júlio de Castilhos, Oásis, São Gabriel, São Pedro, Santa Maria, Venda Grande e Vacacaí, as deficiências hídricas são mais freqüentes e mais acentuados quando no cálculo do balanço hídrico seqüencial são utilizados dados diários do que quando são utilizados dados mensais e a ETP nesse caso é calculada a partir da temperatura do ar (método de THORNTHWAITE, 1948)”.

Considerando que a variabilidade espacial das deficiências hídricas está associada à distribuição dos solos e respectiva CAD na região estudada, a visualização dessa distribuição é facilitada com o auxílio de mapas. A confecção de mapas digitais facilita o trabalho de zoneamento e utilização dos dados em procedimentos de planejamento em que os diferentes índices e parâmetros podem ser sobrepostos de forma georreferenciada, precisa e rápida. Para a operacionalização utilizam-se as técnicas de geoprocessamento. A utilização do geoprocessamento e também dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para estudos em diferentes segmentos da pesquisa científica, tem sido freqüente, demonstrando a importância dessa tecnologia, já que dentre seus principais objetivos está a implementação de rotinas de apoio à tomada de decisão,

possibilitando obter maior flexibilidade e análise de respostas de impactos, aptidões ou viabilidades (RUBERT, 2003).

As principais características dos SIGs são, integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados (CÂMARA & MDEIROS, 1998).

A aplicação dos SIGs constitui um potencial economicamente viável pela capacidade de acompanharem as dinâmicas geográficas e, principalmente, das variáveis ambientais em extensas áreas. O SIG facilita a análise e manipulação de informações a respeito do cenário ambiental, conseguida por meio da integração de tecnologias, tais como a cartografia digital, gerenciamento de banco de dados e o processamento digital de imagens, aplicadas a um conjunto interdisciplinar do conhecimento científico. Com os SIG é possível elaborar mapas, modelar, fazer buscas e analisar uma grande quantidade de dados, todos mantidos em um único banco de dados. Assim, podem ser gerados SIGs com informações conjugadas, tais como informações sobre solo e variáveis meso ou microclimáticas, dependendo da escala utilizada.

No Brasil, a evolução de técnicas novas aplicadas às diferentes áreas tais como agricultura convencional e de precisão, cartografia, climatologia, têm permitido obter informações mais rápidas e fidedignas com menor custo, como informações básicas para otimizar as práticas culturais e melhor aproveitar os recursos disponíveis. Nessa perspectiva de utilização conjunta de novas práticas e metodologias, aliada a um melhor detalhamento no que se refere às escalas de tempo e espaço abre novas perspectivas e possibilidades, principalmente se a sua estruturação estiver fundamentada em dados consistentes. Nesse contexto, para a região central do Rio grande do Sul, na área de abrangência da estação meteorológica principal de Santa Maria, podem ser alcançados avanços significativos, mesmo por que existe um banco de dados meteorológicos diários de uma série longa de observações, que, associados às características dos solos permitiram definir os seguintes objetivos :

1. Determinar as deficiências hídricas para diferentes capacidades de armazenamento de água disponível nos solos para períodos quinquidiais, decendiais e mensais com base no balanço hídrico seqüencial diário para a região central do Estado do Rio Grande do Sul abrangida pela estação meteorológica de Santa Maria;
2. Determinar as probabilidades de ocorrência dos totais de deficiência hídrica maiores do que 50mm, 40mm, 20mm, 10mm, 5 mm e 1mm nos períodos mensais, decendiais e quinquidiais ao longo do ano, em função da unidade de mapeamento de solo;
3. Determinar as probabilidades de ocorrência dos picos máximos de deficiência hídrica acumulada maiores do que 50mm, 40mm, 20mm, 10mm, 5mm e 1mm até qualquer data por mês, decêndio e quinquídio ao longo do ano, em função da unidade de mapeamento de solo;
4. Avaliar as diferenças de probabilidade de ocorrência de diferentes níveis de deficiência hídrica calculadas através de balanço hídrico diário e balanço hídrico mensal;
5. Avaliar se o cálculo da evapotranspiração potencial pelos métodos de Thornthwaite (Buriol et al., 1977) e Penman (Allen et al., 1998) determina diferenças nas probabilidades estimadas de deficiência hídrica calculada para solos das unidades de mapeamento Alto das Canas, Cambai, Cerrito, Ciriaco, Guassupi, Júlio de Castilhos, Santa Maria, São Gabriel, São Pedro, Vacacaí, Venda Grande e Vila, com diferentes capacidades de armazenamento de água disponível;
6. Gerar mapas climáticos semi-detalhados dos riscos de ocorrência e diferentes níveis de deficiência hídrica nos diferentes solos da região de abrangência do trabalho a partir do ajuste de técnicas de geoprocessamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conhecimento de períodos críticos do desenvolvimento das culturas, períodos de máxima ou mínima sensibilidade aos elementos meteorológicos, tais como a deficiência e o excesso hídrico, bem como das respostas das plantas a esses elementos, possibilitam planejar e adotar práticas de manejo que visam otimizar a utilização dos recursos na agricultura. Essa mesma análise é também fundamental no estudo e caracterização dos ecossistemas naturais.

A água no solo, está sempre submetida a processos dinâmicos e a melhor maneira de caracterizar o manejo à ela imposto necessita que se quantifique os parâmetros do solo, clima e plantas. Brunini (1998) diz que a magnitude do movimento da água no sistema solo – planta – atmosfera varia em função do tipo de solo, demanda evaporativa da atmosfera e características vegetais, que são componentes essenciais à compreensão da fisiologia vegetal, irrigação e agrometeorologia.

A disponibilidade hídrica pode ser quantificada pelo Balanço Hídrico (BH). O solo funciona como reservatório de água, a chuva ou a irrigação como entrada e a evapotranspiração como saída. O consumo de água pelas comunidades vegetais é um parâmetro a ser considerado em estudos de regionalização agrícola ou avaliação de culturas sendo que, uma das formas de avaliação do consumo de água (ETP) pode ser determinado pelo balanço hídrico no solo (CAMARGO 1987).

Segundo Tubelis & Nascimento (1992), o balanço hídrico é um dos métodos que se dispõe para calcular a disponibilidade de água no solo. Indica a contabilização da água do solo, representando o resultado da diferença entre o que entrou e o que saiu de água. Os valores de balanço hídrico positivos indicam excedentes hídricos e os negativos, deficiência hídrica ou falta de água.

Ocorre excedente de água sempre que a precipitação for superior à quantidade necessária para suprir a evapotranspiração potencial e completar o armazenamento de água no solo. A deficiência aparece sempre que o solo não conseguir suplementar a precipitação no atendimento da evapotranspiração potencial (TUBELIS & NASCIMENTO, 1992).

O balanço hídrico (BH) contabiliza a precipitação perante a evapotranspiração potencial, levando em consideração a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD). Esta é a máxima quantidade de água, utilizável pelas plantas, que pode ser armazenada na sua zona radicular. Ainda, segundo Tubelis & Nascimento (1992), o BH consiste num "método de se calcular a disponibilidade de água no solo para as comunidades vegetais", o qual representa um subsídio importante para complementar as orientações técnicas que se fizerem necessárias nas atividades agropecuárias e estudos ambientais.

O balanço hídrico climatológico desenvolvido por Thornthwaite & Matter (1955), é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Partindo-se do suprimento natural de água ao solo pela precipitação (P), da demanda atmosférica pela evapotranspiração potencial (ETP), e da capacidade de armazenamento de água disponível às plantas (CAD), o BH fornece estimativas da evapotranspiração real, da deficiência hídrica, do excedente hídrico e do armazenamento de água no solo. O balanço hídrico assim calculado torna-se um indicador climatológico da disponibilidade hídrica em uma região (PEREIRA et al., 1997), o que é fundamental no planejamento agropecuário, florestal e medidas de preservação ecológica.

O conhecimento de como as plantas utilizam a água no solo e de como respondem aos níveis de armazenagem a partir do balanço hídrico, é uma ferramenta viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo visando ao melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas. O movimento cíclico da água na lavoura começa com a sua penetração no solo por meio da infiltração, continua com seu armazenamento temporário na zona da concentração do sistema radicular e termina com sua remoção do solo por meio da drenagem, da evaporação e da absorção pelas raízes (HILLEL, 1970). Para esse autor, a quantidade de água absorvida pelas plantas não depende somente do conteúdo e do potencial total de água no solo, mas também de sua capacidade em transferir essa água no solo em direção às raízes.

O que é feito através do balanço hídrico nada mais é do que quantificar essas entradas e saídas de água no sistema solo-planta. Para efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário, portanto, computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e das saídas, representadas pela drenagem interna, evapotranspiração e deflúvio

superficial, considerando um volume de solo configurado pela presença do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo. Se a quantidade de água que entra no tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo e, caso contrário, será negativo. Tanto o saldo positivo quanto o negativo serão medidos pela variação de armazenagem de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 1995).

A importância do balanço hídrico como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para as plantas, está relacionada ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar e variação do armazenamento de água no solo) como, também, ao conhecimento das características das plantas, principalmente, da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço (ANDREATTA, 1990).

Segundo Berlato (1987), para o planejamento da agricultura no que se refere ao melhor aproveitamento do recurso natural clima, tão importante quanto o conhecimento das condições médias ou normais das variáveis meteorológicas, é a quantificação da sua variabilidade e da probabilidade de ocorrência de determinados níveis práticos dessas variáveis. Essas análises só podem ser feitas com base em séries históricas longas de observações meteorológicas. Para a análise das probabilidades de ocorrer deficiências hídricas, é necessário realizar o balanço hídrico dos solos.

2.1 BALANÇO HÍDRICO CLIMÁTICO E SERIADO

Para Pereira et al. (2001), com o balanço hídrico climático é analisada a condição do balanço de água em um solo coberto por uma vegetação padrão (gramado) e apresenta como principais aplicações a caracterização e comparação climática da disponibilidade hídrica regional média do solo, a caracterização climática dos períodos de seca e de excessos hídricos, permitindo realizar o zoneamento climático e agroclimático e a determinação das melhores épocas de semeadura com base em simulações de semeadura / plantio para épocas menos

sujeitas aos estresses hídricos. Para Maluf et al. (2000), o BH compreende uma etapa fundamental para a determinação do zoneamento agrícola.

O balanço hídrico climático é em geral mais utilizado na escala mensal e para um ano médio ou também em uma série de anos consecutivos (cíclico) recebendo nesse caso o nome de Balanço Hídrico Seqüencial (BHS) ou Seriado (BHS).

No BH Climático utilizam-se valores médios de uma série longa de dados, que, preferencialmente, devem ser de no mínimo 30 anos, denominados dados normais. São utilizados na caracterização climática da região e demais estudos que exigem apenas o conhecimento das condições médias.

Em estudos de probabilidade e outras aplicações em escala de tempo mais restrito, é utilizado o BHS, que pode ser feito em várias escalas de unidade de tempo: diária, quinqüidial (5 dias), semanal (7 dias), decendial (10 dias), ou mensal (28, 30 ou 31 dias). A escala do tempo a ser empregada, deve ser compatível com o objetivo da utilização dos dados gerados através do balanço hídrico (THORNTHWAITE & MATHER, 1955). Buriol et al. (1980) geraram informações de disponibilidades hídricas possíveis de ocorrerem para diferentes probabilidades em escala mensal para 42 locais do Rio Grande do Sul, dos quais Santa Maria está incluída na atual análise. No entanto, quanto menor for a escala de tempo, tanto melhor será o ajuste dos dados gerados às respostas bioclimáticas dos cultivos, bem como da vegetação nativa do local.

No RS, a disponibilidade hídrica, avaliada através do balanço hídrico climático, caracteriza-se pela ocorrência de períodos mais ou menos definidos de excessos (EXC) ou deficiências (DEF) hídricas em função de seu regime pluviométrico isoigro e das condições que determinam a demanda evaporativa da atmosfera, o que interfere no resultado final da safra (BARNI, 1997).

Segundo Ávila et al. (1996), a probabilidade da precipitação pluvial superar a evapotranspiração nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em praticamente todo o estado do RS, é inferior a 60 %, determinando alta freqüência de deficiências hídricas e possíveis quebras de safra nas culturas de primavera-verão produtoras de grãos. Para esses autores, o fator hídrico é o que, com maior freqüência e intensidade, afeta a produção dessas lavouras.

Thornthwaite (1948) e Wilmot (1982) utilizam o termo Evapotranspiração potencial (ETP), introduzido em 1944, que representa a perda natural de água do

solo vegetado para a atmosfera através da ação conjunta da evaporação e da transpiração, sob ideais condições de suprimento hídrico pelo solo. A ETP, também denominada de evapotranspiração de referência (ET_o) quando ocorre em superfícies relvadas, é processo oposto à precipitação. Representa a água que retorna para a atmosfera, em estado gasoso e que depende, principalmente, da energia solar disponível na superfície para vaporizá-la (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

O processo de evapotranspiração envolve fatores climáticos que condicionam a magnitude dos elementos meteorológicos, os efeitos da disponibilidade de energia para o processo (saldo de radiação) e a demanda evaporativa do ar, resultante da sua temperatura e umidade e da velocidade do vento. Portanto, quando se utiliza apenas um desses elementos, como, por exemplo, a temperatura do ar no método de Thornthwaite (1948), a estimativa da ETP perde em precisão. Assim, o efeito conjunto dessas variáveis caracteriza a demanda atmosférica por vapor de água das superfícies vegetadas, as quais também interferem no processo devido a modificação do microclima condicionado pelas diferentes espécies e estrutura do dossel vegetal e estágio de desenvolvimento das plantas. A dimensão e distribuição sistema radicular e a capacidade de armazenamento são importantes para a manutenção do suprimento hídrico para atender a ETP por maior ou menor tempo nos intervalos das precipitações.

Os métodos de determinação da ETP a partir de variáveis meteorológicas, na última década se firmaram como os mais adequados na agrometeorologia, principalmente a operacional, devido a facilidade com que essas variáveis hoje podem ser medidas, utilizando-se estações meteorológicas automáticas ou sistemas automáticos. Quando se tratam de séries históricas, são as variáveis disponíveis a principal determinante de quais métodos são possíveis de utilizar. Conforme Allen (1998), os métodos mais adequados para estimar a ETP ou ET_o são os de Penman-Monteith e de Penman, por serem derivados analiticamente do balanço de energia e utilizarem as quatro variáveis meteorológicas que mais afetam o processo. No entanto, na quase totalidade dos trabalhos realizados na última década no Brasil voltados ao cálculo do balanço hídrico aplicado aos diferentes zoneamentos, foi utilizado o método de Thornthwaite (1948) para estimar a ETP, mesmo para períodos decenais. A adoção desse método para períodos decenais não foi precedido de testes de validação para a ampla maioria dos locais em que foi

utilizado, o que é uma prática temerosa, uma vez que o mesmo foi desenvolvido para períodos mensais.

A magnitude da evapotranspiração (e dos demais elementos do balanço hídrico), é influenciada também pelas características físicas do solo, onde as relações entre espécies, sistemas de manejo e plantio, capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) e interferências físicas e químicas são fundamentais. A exemplo disso, a correção de acidez e o aumento da macroporosidade dos solos argilosos e ácidos, através de práticas culturais, são procedimentos que podem propiciar condições para um maior aprofundamento do sistema radicular e com isso aumentar a CAD.

O Balanço Hídrico Seqüencial (BHS) possibilita calcular dados que permitem estimar a probabilidade de ocorrência de deficiências ou excessos hídricos nos diferentes tipos de solos, através do estudo de séries longas de dados meteorológicos. Quanto mais longa a série, melhor é o ajuste das funções de distribuição e mais precisa é a estimativa de probabilidade de ocorrência (ASSIS et al., 1996).

As variáveis de menor importância no BH, como o orvalho, a deposição de nevoeiro e a água combinada nos processos de biossíntese, são desprezadas pela sua magnitude insignificante em relação ao valor da precipitação que ocorre em regiões de climas úmidos. No balanço hídrico seriado, para fins de análise de probabilidade climática de ocorrência, o escoamento superficial e a drenagem vertical estão indiretamente computadas no excesso hídrico. A irrigação é nula e a ascensão capilar e a drenagem lateral são desprezadas como condição de contorno para a solução da equação do BH.

As informações geradas pelo BHS e a análise de probabilidade de ocorrência dos mesmos oportunizam a tomada de decisões sobre os recursos públicos com vistas ao financiamento de safras agrícolas, projetos de irrigação, aperfeiçoamento de estudos de zoneamento agrícola, previsões de safras, entre outros. Constituem excelente ferramenta para estudar também a viabilidade de implantação de sistemas de irrigação numa região (PEREIRA et al., 1997).

Na análise das diferenças entre o balanço hídrico climático (BHC) e o seqüencial (BHS), o BHC, por utilizar valores normais, não possibilita trabalhar a variabilidade dos dados diferentemente do BH Seriado, que ao utilizar dados mensais de cada ano contempla os elementos do balanço (ETP, ETR, ARM, DEF,

EXC) para cada mês do ano da série estudada (Buriol et al., 1977). Com o BHS pode-se esperar também que os elementos resultantes se aproximem mais da realidade ao utilizar médias de períodos mais curtos como os decêndios, quinqüídios. O BHS diário pode revelar particularidades de grande importância agrometeorológica quanto ao armazenamento de água no solo.

De acordo com Buriol et al. (1977), é conveniente quantificar a disponibilidade de água no solo, determinando a sua flutuação no tempo e no espaço através de métodos que viabilizassem essa análise de maneira contínua. Segundo autores como Burgos (1967), Camargo (1962), citados in Buriol et al. (1977) e PEREIRA et al (1997), nesse caso, a metodologia proposta por Thorntwaite & Mather (1955), de forma seriada seria adequada à determinação do balanço hídrico, tendo em vista a facilidade da obtenção dos valores meteorológicos necessários para a conclusão das análises.

O BH Seqüencial segundo Thorntwaite & Mather (1955) in Pereira et al (1997), permite acompanhar o armazenamento de água no solo em tempo real com uso de diferentes escalas (diária, quinqüidial, semanal, decendial, mensal) permitindo que a escala do tempo seja compatível com as atividades programadas, tais como o monitoramento dos recursos hídricos onde as escalas semanais são mais apropriadas. O seqüenciamento dos dados para cálculo do BHS deve iniciar no período em que o armazenamento seja igual a capacidade de armazenamento de água disponível ($ARM=CAD$), isto é, o armazenamento de água no solo é pleno. Os resultados obtidos por Buriol et al. (1980) revelam que isso, nas condições do RS, já ocorre até o final do mês de junho em praticamente todos os anos.

2.2 CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PELO SOLO

A capacidade de armazenamento de água disponível às plantas pelo solo depende da sua estruturação e composição física e da profundidade explorada pelo sistema radicular.

O solo representa um sistema aberto, onde estão agregadas as frações que trocam energia e matéria com o meio. Composto de matéria ou fases em estado sólido, líquido ou gasoso, JENNY (1941) considerou o solo como resultado da ação do clima e dos organismos sobre um material de origem por tempo determinado.

A formação dos solos tem na fase sólida, a constituição de partículas minerais e orgânicas de diversos tamanhos (frações areia, silte e argila) e distribuídas na massa seca do solo, representando a textura de um solo. Esse valor pode ser calculado em porcentagem e resultar em determinado tipo de solo, já que os intervalos de tamanho dessas partículas estão relacionados à sua distribuição, (AZEVEDO & DALMOLIN, 2004). Para esses autores, a textura influencia o fluxo e a qualidade da água superficial e subsuperficial, assim como o comportamento químico dos nutrientes e elementos tóxicos, além de estar diretamente ligada à estrutura (arranjo das partículas), que possibilitam uma variação da resistência do solo, ao ser manipulado. Entre os atributos do solo influentes no processo de condutividade hidráulica, a textura é um dos mais importantes, pela sua correlação com outros atributos do solo. A taxa de infiltração, capacidade de retenção de água e de nutrientes é amplamente influenciada pela sua composição granulométrica. Pela sua importância, a formação dos solos influencia diferentes fatores, tais como o desenvolvimento das plantas ao disponibilizar nutrientes, água e a penetração das raízes (AZEVEDO & DALMOLIN, 2004).

A porosidade, representada pelo volume dos espaços ocupados por gases e líquidos existentes no solo, depende da matéria orgânica e está associada ao grau de compactação das partículas, de acordo com o aumento da profundidade do solo. A densidade está relacionada com a estrutura e indica os níveis de degradação do solo e das partículas desse, podendo apresentar-se estáveis ao longo de décadas.

A manutenção do sistema solo-planta-atmosfera depende da água que chega ao solo por precipitação ou irrigação e que ao atingir a superfície do solo, pode infiltrar e armazenar-se nos microporos e o excesso nos macroporos, fluindo gradativamente na direção do lençol freático. A água retida no solo pode absorvida pelas plantas, transpirada para a atmosfera ou evaporada pela superfície do solo; nesse caso diz-se que ocorreu evapotranspiração.

Muitas vezes, os solos apresentam associações de partículas e agregados formando padrões complexos difíceis de caracterizar. Entre os fatores que influenciam na estrutura do solo está o tempo, pois a natureza instável da estrutura do solo é fortemente afetada por mudanças no clima, atividade biológica e práticas de manejo do solo (HILLEL, 1980).

A profundidade do sistema radicular depende do grau de compactação e da textura, que afetam o volume de macroporos, aos quais estão associados os fluxos

de gás carbônico e de oxigênio no solo. A acidez excessiva e a alta concentração de minerais tóxicos, tais como Alumínio, Ferro e Manganês, tem influência negativa na expansão do sistema radicular (BRADY, 1983). Além disso, a profundidade do sistema radicular está associada à disponibilidade hídrica e de nutrientes. Quando ocorre deficiência hídrica as plantas tendem a aprofundar o sistema radicular para ampliar a exploração das reservas de água no solo. Excessos hídricos freqüentes ou prolongados determinam um processo inverso ao da deficiência, ficando a profundidade do sistema radicular limitada pelo nível do lençol freático, que é variável com o BH (BRASIL, 1973).

Para Villa Nova & Scardua (1984) a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) para o desenvolvimento das culturas é função de parâmetros físicos – hídricos do solo e da profundidade do sistema radicular. O regime hídrico do solo e a disponibilidade de água às plantas são fatores importantes na avaliação do solo. Para Reichardt (1978), são inúmeros os fatores que determinam a dinâmica da água no solo: heterogeneidade do perfil, tipo de plantas e características atmosféricas.

Já o clima, possui ação direta sobre a pedogênese e elementos como radiação solar, precipitação e temperatura interferem diretamente na atividade das reações químicas e biológicas da superfície do solo. A ação da água através da hidrólise promove alterações como hidratação dos componentes do solo; a água excedente tem seu movimento devido ao potencial gravitacional atuando no desenvolvimento do perfil do solo (CURY, 1993); quando a quantidade for grande, gera solos mais evoluídos, mais profundos e com baixa atividade coloidal, pois a velocidade e a intensidade dos processos pedogenéticos são mais acentuadas, tornando-os mais ácidos. Quando as regiões possuem menor quantidade de água excedente, geram solos menos evoluídos, com baixa atividade coloidal, saturação de bases ou acúmulo de carbonatos, mais rasos, e, portanto com menor CAD.

Por ser dinâmica, em função das práticas de irrigação, de manipulação do solo e de manejo das plantas e seu crescimento, além do efeito das chuvas, os valores de CAD para todos os solos daquela classe não são constantes. Por essa razão, os valores de CAD de uma determinada classe de solo não devem ser entendidos como definitivos e absolutos.

2.3 IMPORTÂNCIA DO BALANÇO HÍDRICO PARA A AVALIAÇÃO DE ECOSISTEMAS

O uso adequado do solo na agricultura, para as populações que dela dependem, significa uma maior segurança de uma produção de alimentos que garanta a subsistência. A utilização dos recursos naturais para satisfazer as necessidades humanas, não poderia ocorrer sem o cultivo da terra, consumo de água, uso adequado do solo, corte de árvores assim como outros recursos naturais disponibilizados pela natureza. O conhecimento de parâmetros como o balanço hídrico na determinação das deficiências hídricas visa contribuir para um equilibrado uso e manejo do solo e, conseqüentemente, oferecer qualidade de vida aos produtores, consumidores e ao mesmo tempo preservar suas propriedades naturais.

A atmosfera é considerada agente ativo no processo de uso da umidade e o solo exerce as funções de armazenar e moderar a utilização da água (Pereira et al., 1997), o que justifica a necessidade do conhecimento das características físicas do perfil do solo em uso. Este, por sua vez, não representa apenas um espaço de reserva inerte, mas impõe algumas restrições para permitir a extração da água pelas raízes de forma mais lenta que a demanda atmosférica impõe e assim preservar a vida por mais tempo em épocas de escassez. O estudo do BHS apresenta componentes importantes no conjunto de fatores a avaliar.

Como vetores de saída, temos a evapotranspiração (ET) e os componentes, escoamento superficial (Ri), drenagem lateral (DL) e drenagem profunda (DP), que representam o excesso de água no solo por chuvas ou irrigação. Quanto mais profundo o volume de controle, menor tende a ser a drenagem profunda e maior é a ascensão capilar. O volume de controle é determinado pelo conjunto solo-planta-atmosfera. Se o solo for profundo e a demanda alta, as raízes tendem a se aprofundar na busca de água para atender a demanda. Se a demanda for baixa, um volume menor de raízes será suficiente (PEREIRA et al., 1997)

A delimitação e caracterização das áreas com diferentes potencialidades hídricas são dados indispensáveis para os planejamentos adequados realizados pelo poder público e entidades privadas. Esse aprimoramento de informações permite aos técnicos utilizar racionalmente os recursos disponíveis na natureza bem como dinamizar planos de ação. As áreas potencialmente estudadas representam

dinâmicas específicas. Assim, nas áreas urbanas o aproveitamento dos recursos hídricos e o conhecimento relativo ao BHS vem a contribuir na tomada de decisão no que se refere às ações administrativas em relação à ampliação de passeios públicos, abertura de vias de acesso, dimensionamento de tubulações. As informações geradas pelo BHS também são usadas no parcelamento urbano, delimitações de loteamentos, divisas e quadras no perímetro urbano ou no meio rural.

A aplicação do BHS para controle de irrigação depende no mínimo de dados de temperatura do ar e a chuva local, embora seja necessário conhecer-se bem a cultura a ser irrigada e sua fenologia, pois de acordo com Pereira et al. (1997), irrigar implica em fornecer a água em quantidades certas respeitando as necessidades das plantas e a capacidade de retenção no solo.

Em relação ao uso das reservas hidrológicas (aquíferos) na aplicação de irrigação em áreas rurais, é significativo saber como se apresenta o BH na região climática e quais as flutuações dadas pelo BHS, no sentido de explorar de forma racional essas reservas estratégicas. Sua futura utilização deve se limitar ao volume de água que naturalmente é reposto pelos excessos calculados com BH na superfície e a capacidade de infiltração de água através do material rochoso acima do mesmo. O planejamento das áreas de plantio que eventualmente possam ser atendidas com esse recurso deve estar respaldado nessas informações.

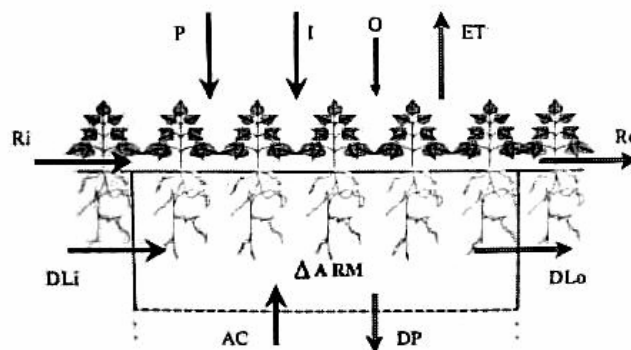


Figura 1 – Representação esquemática dos fluxos de água do balanço hídrico.

Fonte: Pereira et al. (2001)

A interpretação do BH pelos técnicos, confirma a necessidade do mesmo em áreas de planejamento na paisagem local ou regional: casos de erosão, áreas de risco para a população, empreendimentos imobiliários (legais e/ou ilegais); subentende a importância da análise desses dados para o empreendedor, gestor

público ou outros, que ao considerarem a veracidade das análises podem adequar as soluções aos devidos empreendimentos, garantindo assim a integridade da população sob sua jurisdição.

Modelos para cálculo do BH para diferentes fins foram validados por DANCETE (1984); FOREST (1984); ASSAD & SANO (1998); SILVA et al. (1994, 1997, 1999); MEIRELES et al. (1995); AFFHOLDER et al. (1997); SILVA et al. (1997, 1999).

Quanto à relação ambiental, e sendo o solo um elemento importante, ele impõe restrições para permitir que as plantas extraiam água pelas raízes. A capacidade de armazenamento disponível (CAD) representa o máximo de água disponível às plantas nos espaços porosos entre as partículas do solo e a água disponível (AD) será extraída do solo pelas raízes até o limite permitido, que depende da relação entre os potenciais totais do estado da água na planta e no solo. Abaixo desse nível crítico, as plantas iniciam um processo de redução na produtividade (CARLESSO & ZIMMERMANN, 2000).

Ao realizar-se o BH, as verificações do uso adequado do solo potencializam a capacidade do mesmo em se tornar produtivo e aumentar a produtividade dos cultivos agrícolas; parte dessas informações são sistematizadas e transformadas em índices utilizados nos zoneamentos agrícolas.

O estado do Rio Grande do Sul (RS) possui forte vínculo com as práticas agropecuárias onde a agricultura destaca-se com grande importância para o setor em nível nacional. Historicamente grande produtor de grãos, possui áreas específicas de culturas, que em geral tem maior expressão de desenvolvimento nas áreas delimitadas pelo zoneamento agrícola e de produção pecuária.

Para o zoneamento são necessários estudos sistematizados sobre variados elementos, como deficiência hídrica, estiagem, excesso hídrico, índices de geada, pluviosidade e tipos e características dos solos, entre outros, em especial quando há necessidade de estabelecer parâmetros significativos para o bom desenvolvimento dos cultivos agrícolas. Nesse contexto ainda é necessário imprimir um caráter investigativo mais profundo que proporcione uma análise adequada de como equacionar um maior rendimento econômico dos cultivos agrícolas, com o menor investimento possível. Para isso o refinamento do zoneamento agrícola pode ainda contribuir substancialmente. O zoneamento de espécies nativas, arbóreas, ornamentais, condimentares ou medicinais e sua exploração racional por

extrativismo ou por cultivo, passa necessariamente pelo conhecimento do balanço hídrico e demais fatores da ecologia do habitat natural.

A preocupação com altos índices de sinistralidade nas safras agrícolas do país deu origem a Lei nº 5963 de 11/12/73, que criou o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (PROAGRO) em atividade desde 1975, com o objetivo de garantir a atividade dos produtores rurais quando prejudicados por fenômenos naturais adversos (ROSSETTI, 1999). Posteriormente, houve a necessidade de definir novas estratégias que não aquelas de apenas garantir um crédito ou um seguro aos produtores rurais. A partir do ano de 1996, o Zoneamento Agrícola incorporou-se ao PROAGRO como projeto complementar, que baseando-se em redução de riscos e aumento da produtividade, objetivava “a indução ao uso de tecnologia – zoneamento de riscos climáticos, cultivares indicadas e plantio direto” visando diminuir as taxas de sinistralidade como as registradas de 16,27%, nas culturas de verão e 21,64 % nas culturas de inverno (GÖEPFERT et al., 1993).

O Zoneamento Agrícola baseou-se na integração de modelos de simulação e de desenvolvimento de culturas, bases de dados de clima e de solo, técnicas de análise de decisão e ferramentas de geoprocessamento. Séries de estudos sobre zoneamento de riscos para o Brasil e Rio Grande do Sul, já eram encontradas em Mota et al. (1968,1969), Mota et al. (1974, 1975, 1989) para o trigo; Mota et al (1974), EMPASC (1978) para arroz, assim como para outras culturas.

A partir de 1995, coordenado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), tem sido publicado anualmente no Diário Oficial da União, Portarias contendo informações metodológicas, solos aptos para a semeadura, períodos favoráveis em nível de municípios e cultivares recomendados.

Entre os principais resultados obtidos pelo Zoneamento Agrícola estão, a redução dos riscos climáticos para as culturas, maior retorno de capitais aplicados em operações de crédito agrícola, redução das taxas de sinistralidade e do número de indenizações pagas pelo PROAGRO e demais seguradoras (ROSSETTI, 2001).

O gradiente de potencial total da água, necessário para quantificar o processo de drenagem interna de água no solo recoberto por determinada cobertura vegetal, tem a sua importância fundamentada no comportamento da água durante as distintas fases de crescimento e desenvolvimento dessa vegetação. Estudos realizados por Farias et al. (1997), Meireles et al. (1995), Sans et al. (1997)

comprovaram a necessidade da utilização do balanço hídrico na determinação do zoneamento agroclimático, uma vez que seus componentes podem ser espacializados através de um SIG - Sistema de Informações Geográficas. Diversos SIGs estão disponíveis no mercado e a aplicação dos mesmos varia em função da necessidade de espacialização de um determinado atributo (ASSAD & SANO, 1998).

A importância do BH, embora já em uso desde as décadas de 1960 e 1970 nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, recebeu destaque a partir de 1995, quando o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) recomendou a utilização do zoneamento como referência para seguro agrícola e financiamentos dos cultivos de soja, feijão, milho, entre outros, baseados na aplicação do balanço hídrico. A partir do BH, obtém-se os Índices de Satisfação das Necessidades da Água (ISNA) que representam a relação entre evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima das culturas (ASSAD & SANO, 1998). Desses índices são calculadas as frequências para 20%, 50% e 80% do ISNA, sendo que somente é espacializada a análise de 20% pois sendo a mais conservadora, indica se o índice é maior ou igual a um valor para oito em cada dez anos, isto é, em 80% dos anos (FARIAS et al., 2001).

Para o RS, a utilização do balanço hídrico nas culturas de feijão, trigo, soja, milho, arroz, vem demonstrando a importância do método como parâmetro para demais determinações que se façam necessárias no conjunto do zoneamento conforme Mota et al. (1991), Berlato (1992), Mota et al. (1996), Cunha et al. (1998) e Matzenauer et al. (1998) em estudos do feijão; Mota et al. (1991), Mota et al. (1974), Maluf & Matzenauer (1995) e Matzenauer et al. (1998) para o milho; Mota et al. (1974), Berlato et al. (1992) e Barni (1999) em estudo da soja; Mota et al. (1974), Empasc (1978) e Epagri (1996) para o arroz; Kalckmann et al. (1965), Mota (1969, 1989), Mota et al. (1968, 1974) e Camargo et al. (1977) no zoneamento do trigo. Mais recentemente o zoneamento agrícola para o Rio Grande do Sul foi revisto e melhor definido com relação às disponibilidades hídricas para as culturas de soja (CUNHA et al., 2001), feijão (MALUF et al., 2001b) e milho (MALUF et al., 2001a), considerando-se os valores estimados de ISNA.

A deficiência e o excesso hídrico são parâmetros importantes que se fazem presentes em pesquisas relativas ao zoneamento Mota et al. (1993). Westphalem & Bergamaschi (1977) definiram as épocas de semeadura do feijão em lavouras da Depressão Central, Planalto Médio e Serra do Sudeste para setembro, mês de maior

rendimento. Pesquisas envolvendo genética de cultivares podem contribuir significativamente para uma maior resistência e determinação de outras estratégias de ação objetiva de redução dos efeitos da deficiência hídrica. Em culturas do milho, estudos sobre a deficiência hídrica contribuem na determinação de períodos mais adequados para as sementeiras (NIED, 2003) e num ajuste de programas de melhoramentos genéticos de cultivares com maior tolerância térmica (MALUF & MATZENAUER, 1995; MATZENAUER & PORTO, 2001). Para a soja, verificou-se a determinação de deficiência hídrica, e a necessidade de irrigação em quase todo o RS, independente das cultivares e períodos de sementeira recomendados (BERGAMASCHI, 1986), MOTA et al. (1996).

Ainda, estudos comprovando a importância de conhecer-se os déficits da disponibilidade hídrica em cultivos como o do arroz, são fundamentais, uma vez que praticamente em todo o RS há possibilidade desse cultivo. Barni & Matzenauer (2000), Berlato & Fontana (1999) evidenciam razões suficientes para o aprimoramento de tecnologias com vistas a redução das deficiências e maior rendimento nas lavouras.

Uma das características da produção agrícola gaúcha é a grande variabilidade espacial e temporal dos rendimentos obtidos. A variação da disponibilidade hídrica em função da baixa quantidade e/ou má distribuição da precipitação interfere na oscilação do rendimento. Para Farias et al. (1997), a oscilação na distribuição da água aponta alta frequência na ocorrência da deficiência hídrica ao longo dos anos agrícolas de 1995 a 2002, justificando uma quebra de safra de aproximadamente 58% para a soja na safra 2001/2002.

Justificando a necessidade de uma política agrícola em nível estadual e considerando a diversidade dos fatores climáticos, edáficos, bióticos e sócio-econômicos, o estado do Rio Grande do Sul foi subdividido em regiões agroecológicas com o objetivo de servir de orientação em pesquisas. Essa regionalização é apresentada na Figura 2, com destaque para as regiões agroecológicas 5d e 10a, das quais fazem parte os municípios a serem estudados na área de abrangência da Estação Meteorológica de Santa Maria. Os principais dados climáticos dessas regiões são apresentadas em Embrapa (1999).

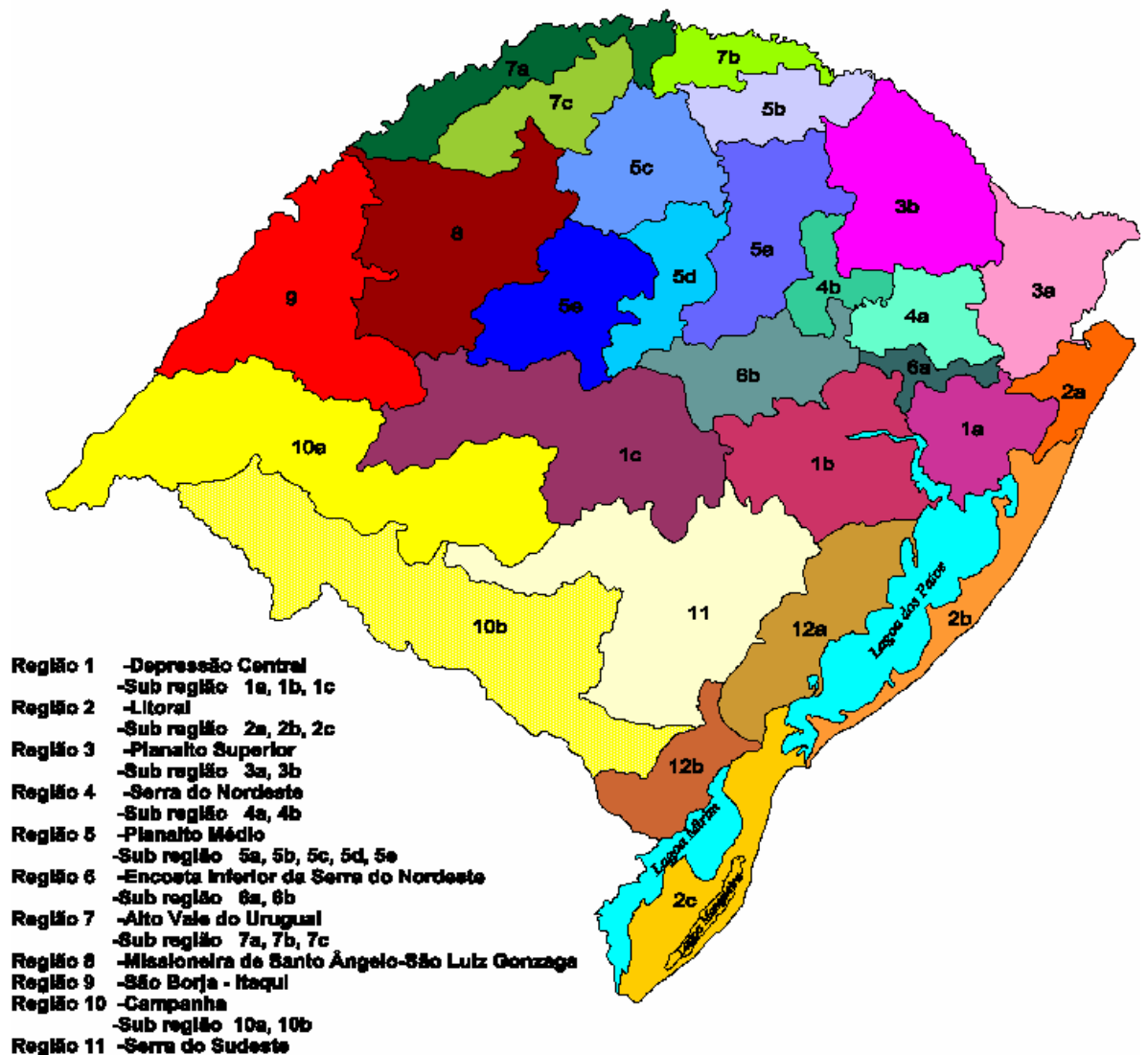


FIGURA 2 - Regiões Agroecológicas do Rio Grande do Sul

FONTE: Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Rio Grande do Sul (Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1994).

2.4 GEOPROCESSAMENTO E APLICABILIDADE

Na atual sociedade de inúmeros sistemas interdependentes, torna-se praticamente impossível não ocorrer a confluência de fluxos de informações, permitindo à sociedade usufruir resultados esperados e condizentes com sua realidade. Novos processos de agregar informações estão surgindo e as Tecnologias da Informação tem disponibilizado informações de forma que o uso e leitura sejam mais fáceis, permitindo a interpretação da realidade vigente, de acordo com SACHS (2000), MORIN (2000), VIOLA (1998).

Assim, Monteiro et al (2001) definem como Ciência da Geoinformação, as questões relacionadas com as tecnologias de Sistemas de Informações Geográficas e Geoprocessamento, ambas de caráter interdisciplinar, pois diferentes campos do conhecimento como Geografia, Informática, Engenharias, Estatística, Ciências Ambientais, Agronômicas entre outras se interrelacionam em um conjunto de conceitos teóricos e aplicações genéricas independentes para cada área de conhecimento, permitindo a construção de pesquisas inter e transdisciplinares.

O termo Geoprocessamento tem o sufixo “processamento” do latim “processus” e significa implantar um processo que implique em progresso, um andar avante, na grafia ou representação da Terra, associando um novo olhar e conseqüentemente agregar um conhecimento ou informação nova aos conteúdos sistematizados (MOURA, 1993).

Diversos conceitos em relação à definição do termo geoprocessamento podem ser citados: “Tecnologia de obtenção de imagens digitais e das modernas técnicas de processamento, tratamento de dados por computador, e o avanço das telecomunicações via satélite, que permitem processar quantidades de informações e difundi-las por todo o globo” (CALIJURI & RÖHN, 1995).

Representa ainda, um conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais, de desenvolvimento e uso de sistemas que possibilitam a interpretação dos atributos necessários ao uso e recursos tecnológicos nas diferentes áreas do conhecimento (CÂMARA & MDEIROS, 1998).

Rodrigues (1988) apud Moura (2003), define como "a tecnologia de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento de sistemas que as utilizam".

Já Xavier da Silva (1999) define geoprocessamento como ...

“um ramo do processamento de dados que opera transformações nos dados contidos em uma base de dados referenciada territorialmente (geocodificada), usando recursos analíticos, gráficos e lógicos, para obtenção e apresentação das transformações desejadas”.

Dentre as aplicações do geoprocessamento encontram-se estudos multidisciplinares envolvendo atributos físico e ambientais, sócio-econômicos, cadastrais e outros que devem ser interpretados de forma que plano e objetivos estejam adequados às necessidades do usuário; esses dependem da interpretação dos dados coletados e posteriormente interpretados de forma analítica e racional, possibilitando o acesso e uso dos mesmos.

Atualmente, as técnicas de geoprocessamento estão se tornando populares e acessíveis devido a seu baixo custo e instrumentos como os SIGs - Sistemas de Informações Geográficas cada vez mais abrangem funções como a cartografia de regiões aptas à urbanização e/ou à agricultura, ao traçado otimizado de estradas, gasodutos e oleodutos, ao gerenciamento do meio ambiente, entre outras utilizações (ARONOFF,1995).

O estudo das variáveis ambientais que descrevem as condições atmosféricas num dado local e possibilitam o gerenciamento da produtividade das culturas, exige uma análise mais apurada podendo ser caracterizadas pelo uso de técnicas de geoprocessamento. Essas tecnologias permitem o levantamento espaço temporal dos elementos meteorológicos como radiação solar, precipitação pluvial, umidade relativa, temperatura, velocidade e direção dos ventos, e fatores geográficos como continentalidade, latitude e longitude que afetam os elementos físicos como a vegetação, hidrografia, solos e outros (PEREIRA et al., 2001).

2.4.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Nos dias atuais, dezenas de sistemas de softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) oferecem capacidades para tomada de decisão. O grande número disponível às vezes torna difícil o discernimento das diferenças entre os sistemas, as potencialidades e as limitações de forças de cada tipo diferente de sistemas de software SIG, assim como processos para tomada decisão.

Freqüentemente sistemas SIG são especializados em apoiar certos tipos de tomadas de decisão, sendo para satisfazer necessidades específicas de planejamento demográfico, análise de recursos ambientais, planejamento urbano e de transportes e assim por diante (MUZZARELLI et al., 1994).

Para a análise da variabilidade espacial, o geoprocessamento é uma ferramenta importante que, segundo Assad & Sano (1998), representa um conjunto de tecnologias de coleta de dados, entre as quais estão os SIGs.

Segundo Pereira et al. (1995), a necessidade de dispor-se, em curto prazo de tempo, de informações georreferenciadas, precisas e confiáveis, somente serão possíveis com o auxílio de sistemas de informações específicos para o processamento de dados referenciados geograficamente, desde sua aquisição até a geração de saída nas variadas formas como mapas convencionais, relatórios ou arquivos.

Toda a informação em um SIG é vinculada a um sistema de referência espacial, possibilitando, que seu conjunto de funções seja visto como um processo ao invés de simplesmente como software e hardware. O modo no qual os dados são inseridos, armazenados e analisados dentro de um SIG deve que refletir a maneira pela qual a informação será usada para uma pesquisa específica ou tarefa de tomada de decisão.

Para Rosa & Brito (1996) a cartografia digital refere-se à automação de projetos, captação, organização e desenhos de mapas; enquanto que os SIG tratam da aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação dos dados georreferenciados, ou seja, um sistema de informação espacial.

Os sistemas SIG são estruturas importantes em termos de viabilização do Geoprocessamento, constituindo um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre bases de dados geocodificados (sobre bancos de dados geográficos) executa análise, reformulações e sínteses sobre os dados ambientais disponíveis; Silva (1999); Souza (1993), Rodrigues & Quintanilha (1991); possibilitando que se tenha, além de uma visão convencional sobre os dados, uma visão espacial, de localização dos mesmos, como destacam Casanova et al., (1996), Medeiros (1988), Câmara et al. (1997), Aronoff (1989).

Para Lamparelli et al. (2001) os SIG constituem plataformas ideais para o tratamento de dados derivados das mais diversas origens.

Autores como Bacellar et al. (1994), Carver et al. (1995), Shirmohammadi et al (1994) in Lamparelli et al. (2001), atestam a importância das pesquisas nesses sistemas, dado que são inúmeros as pesquisas na área das ciências do meio ambiente (ecologia, biologia, hidrologia), agricultura (planejamento do uso da terra, agricultura de precisão) e demais ciências ligadas à tecnologia SIG.

Trabalhos recentes desenvolvidos com tecnologia de sistemas envolvendo dados meteorológicos podem ser encontrados em Tommaseli et al., 2001; Baldo et al., 2000 ; Wrege et al., 2001, que lidaram com a espacialização dos dados de variadas formas.

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser compreendido como um sistema de informação designado para trabalhar com dados referenciados com coordenadas espaciais ou geográficas (STAR & ESTES, 1990). Sua grande importância para estudos ambientais refere-se à possibilidade de acessar, transformar e manipular os dados de forma interativa, antecipando os possíveis resultados de decisões de planejamento antes de serem cometidos erros irreversíveis na paisagem (BURROUGH, 1986; DALE & MCLAUGHLIN, 1988; MARBLE & PEUQUET, 1983; CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

2.4.2 MAPAS COROPLÉTICOS

Compreender a distribuição espacial de fenômenos constitui hoje um grande desafio para a elucidação de questões centrais em diversas áreas do conhecimento, tais como meio ambiente, geologia, climatologia, saúde e tantas outras.

No entendimento de Joly (1990) e de Câmara & Medeiros (1998), atualmente, a cartografia faz parte da era da informática. A automação se introduziu na cartografia através das fases mais matemáticas do processo cartográfico, indo desde cálculos astronômicos e geodésicos, ao estabelecimento das projeções e, mais tarde, aos tratamentos estatísticos de dados – a geomática, a qual passa a ser operacional em todas as etapas da elaboração dos mapas, tendo na cartografia temática, um grande avanço em função do sensível progresso da geografia quantitativa.

A crescente necessidade de se trabalhar uma grande massa de dados, bem como uma boa variedade de parâmetros específicos para uma consistente análise

matemática e estatística, conduzem para a busca dos processos computacionais (JOLY, 1990).

Tais estudos vêm se tornando cada vez mais comuns devido à crescente democratização das informações, à evolução e redução dos custos das tecnologias e à difusão dos Sistemas de Informação Geográfica com interfaces amigáveis. As informações estão mais facilmente acessíveis devido aos avanços tecnológicos como Internet, redes e meios de armazenamento com maior capacidade.

Os SIG permitem a apresentação espacial de variáveis como população de indivíduos, índices de qualidade de vida e vendas de empresas numa região, através de mapas. Para tanto, basta dispor de um banco de dados e de uma base geográfica contendo alguma forma de divisão territorial em unidades espaciais de referência (como um mapa de municípios), e qualquer SIG torna-se capaz de apresentar um mapa colorido (coroplético) que permite a visualização do padrão espacial do fenômeno (STEINMETZ et al. 2001; BRAGA et al., 2002; FERREIRA, 1997).

A distribuição espacial de uma informação é concebida por intermédio das variáveis visuais, podendo ser contínuas e discretas. A contínua é aquela que teoricamente, pode assumir qualquer valor num intervalo razoável de variação, sendo representadas através de cartogramas isopléticos, já a variável discreta é aquela que pode assumir apenas valores pertencentes a um conjunto enumerável, sendo representadas através de cartogramas coropléticos (CASTRO & MAGALÃES, 1997).

2.4.3 MODELAGEM DE DADOS GEOGRÁFICOS

Em uma visão abrangente, um SIG possui os seguintes componentes: I) Interface com o usuário; II) Entrada e manipulação de dados; III) Funções de processamento, visualização, armazenamento e recuperação de dados (ARONOFF, 1995). Cada sistema, em função dos objetivos e necessidades, implementa esses componentes de formas distintas e passa a organizá-los em um Sistema de Gerenciamento de Bancos de Dados (SGBD) relacional com a utilização de tabelas onde são armazenadas as informações não-espaciais e dos objetos, arquivos de coordenadas para a componente espacial destes (CÂMARA et al., 1997).

O processo de armazenamento de dados inicia com a caracterização dos dados geográficos a partir de componentes fundamentais (ARONOFF,1995; DANGERMOND, 1990 apud RUHOFF, 2004): I) Características não-espaciais que descrevem o fenômeno estudado; II) Características espaciais, que informam a localização espacial do fenômeno estudado através de propriedades geométricas e topológicas; III) Características temporais, identificando o tempo para o qual tais dados são considerados. Assim, a modelagem dos dados apresenta características espaciais, exibindo diferentes representações para um mesmo objeto (CHRISMAN, 1997).

De acordo com Câmara et al. (1997), os níveis de abstrações do modelo de dados são diferentes: I) Nível do Mundo real – contém os elementos da realidade geográfica a serem modelados; II) Nível Conceitual – comporta as ferramentas de modelagem dos dados e as classes a serem criadas no SGBD; III) Nível de Representação – associa os dados geográficos identificados no nível conceitual às classes de representações, que variam conforme a escala, projeção e data de aquisição dos dados; IV) Nível de Implementação – define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar as diferentes representações. Ainda, para Câmara et al. (1997), nesses níveis de abstração, os dados e objetos geográficos são representados em classes de dados geográficos tais como mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, modelos numérico do terreno e imagens.

Moura (1993) explica que a metodologia de construção de cartas temáticas em cartografia automatizada ou digital ainda é tradicional, mas sua análise avança em relações mais complexas que melhor representariam a dinâmica espacial. Segundo a autora:

“O interesse nos recursos da cartografia temática cresceu com a evolução da cartografia numérica ou digital e com os Sistemas de Informações Geográficas, nos quais a base essencial do trabalho são os métodos de “overlay mapping” (sobreposição de mapeamentos). (Moura, 1993. p 09)

E continua:

“(…) os mapas temáticos, também chamados de “themes”, “overlays”, “coverages”, “data planes”, “layers” ou “levels” conformam um sistema para responder ou auxiliar na resolução de problemas”. (Moura, 1993. p10)

Para Tomlin (1990), os mapas, por basearem-se na linguagem visual, são importantes elementos na diferenciação entre as potencialidades da cartografia digital em relação aos SIG, pois as análises no grupo de trabalho devem conduzir à resultados definitivos.

Secondini (1988) acrescenta que as funções da tecnologia da informação respondem pela aquisição e elaboração de informações; análise das informações; formulações de previsões; geração de propostas de controle do sistema e identificação de soluções aos problemas apresentados. O mesmo autor comenta sobre a possibilidade dos SIG de otimizar a atualização dos dados, pois a “realidade está sujeita a contínuas mudanças que modificam, rapidamente, a projeção territorial dos fenômenos econômicos e sociais” (op.cit.p23).

Estudos comprovam que mapeamentos geográficos de informações constituem importantes indicativos aos empreendimentos agrícolas, como o balanço hídrico e a erosividade, entre outros; ambos requerem a geração de mapas com técnicas de geoprocessamento que permitem a avaliação, durante o processo, das particularidades numéricas e espaciais das variáveis analisadas.(VALERIANO et al., 2002).

A elaboração de um produto final a partir do geoprocessamento implica muitas vezes no desenvolvimento de softwares próprios no tratamento de dados, a avaliação de parâmetros físicos, químicos e mecânicos, técnicas de geoestatística, análise multivariada, análise de componentes, interpolação e regressão, técnicas de agrupamento, para que essa combinação resulte em modelos ajustados, precisos e adequados ao problema que se quer resolver.

Para diferentes probabilidades e níveis de ocorrência de deficiências e excessos hídricos ainda não foram gerados SIGs para a região central do RS, embora atualmente um grande número de softwares para o desenvolvimento de SIGs, tais como ArcInfo, Arc View, dbMapa, Idrisi, Spring entre outros, estejam disponíveis e em uso no Brasil. Nessa abordagem, procurando atender aos objetivos definidos nessa proposta de tese, e possibilitando o desenvolvimento da pesquisa, serão estruturados bancos de dados a partir das análises de trinta e seis anos de observações meteorológicas (períodos entre os anos de 1968 e 2004) utilizando-se o software – SITER 2.5, para posteriormente serem elaborados mapas dos níveis de deficiência hídrica para a região definida como área de estudo.

2.4.4 CR- SITER 2.5 – DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÕES

O CR-SITER 2.5 tem a concepção, estrutura e funcionalidade de um sistema de informação territorial (LIS – Land Information System), o que o caracteriza como uma especialidade do Sistema de Informações Geográficas (SIG), cuja concepção, estrutura e funcionalidade apresentam uma abrangência genérica aplicáveis a variados temas. Constitui um sistema integrado ao Sistema de Gerenciamento Agropecuário Projeto CR Campeiro 5.0, que é um aplicativo computacional, tendo como objetivo principal a informatização dos procedimentos e métodos de gestão administrativa e técnica da propriedade rural, ao mesmo tempo que representa um produto genuinamente desenvolvido no laboratório de Geomática da UFSM, com vistas à pesquisa, ensino e trabalhos de extensão (GIOTTO, 2002).

Numa concepção de integração com o sistema topográfico e os sistemas de gestão, esses tem sua capacidade operacional expandida, permitindo agregar em um único ambiente de trabalho a tecnologia de geoprocessamento em funções de digitalização de mapas, classificação digital, vetorização, com a topografia básica que é aquela do levantamento e processamento de dados de campo; proporcionando as ferramentas básicas e indispensáveis do emprego das geotecnologias. Com essa capacidade operacional disponibilizada, é que buscou-se utilizar o sistema SITER 2.5 na sua aplicabilidade para gerar mapas agroclimáticos a partir da composição de banco de dados climatológicos da Estação Meteorológica da UFSM, nos períodos de 1968 a 2004.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA ESTUDADA

O trabalho foi desenvolvido para a região central do Rio Grande do Sul (RS), na área de abrangência da Estação Meteorológica Principal de Santa Maria. A área estudada localiza-se entre as coordenadas de 29°23'15" e 30°22'17" de latitude sul e 54°32'07" e 53°05'20" de longitude oeste de Greenwich e abrange uma superfície total de 664052 ha. Essa é a área de abrangência da Estação Meteorológica Principal de Santa Maria (Figura 2).

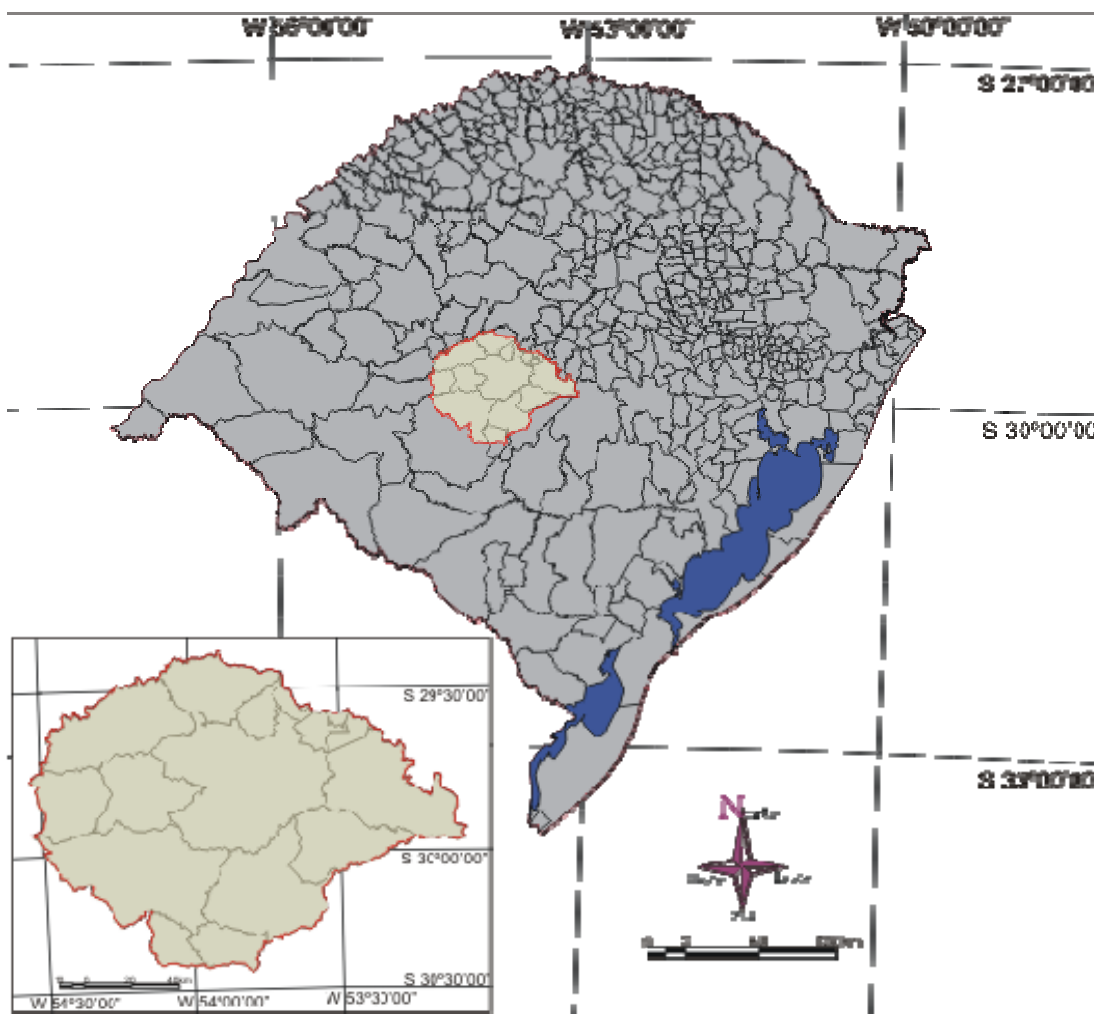


FIGURA 2. Localização da área de abrangência da análise de probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica dos solos ocorrentes na mesma, na região central do Rio Grande do Sul.

FONTE: Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Rio Grande do Sul (Secretaria da Agricultura e Abastecimento 1994).

A delimitação da área de estudo foi constituída por municípios que fazem parte da Depressão Central do RS e encostas adjacentes, e pertencem às regiões agroecológicas 1C (Agudo, Cacequi, Dilermando de Aguiar, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Formigueiro, Itaara, Restinga Seca, Santa Maria, São João do Polêsine, Silveira Martins, São Martinho da Serra, São Pedro do Sul, parte de São Sepé e de Vila Nova do Sul, além do extremo sul de Júlio de Castilhos e Ivorá) e 10A (parte de São Gabriel e de Santa Margarida do Sul), conforme o Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Rio Grande do Sul (Secretaria da Agricultura e Abastecimento 1994). Sua espacialização é apresentada na Figura 3.

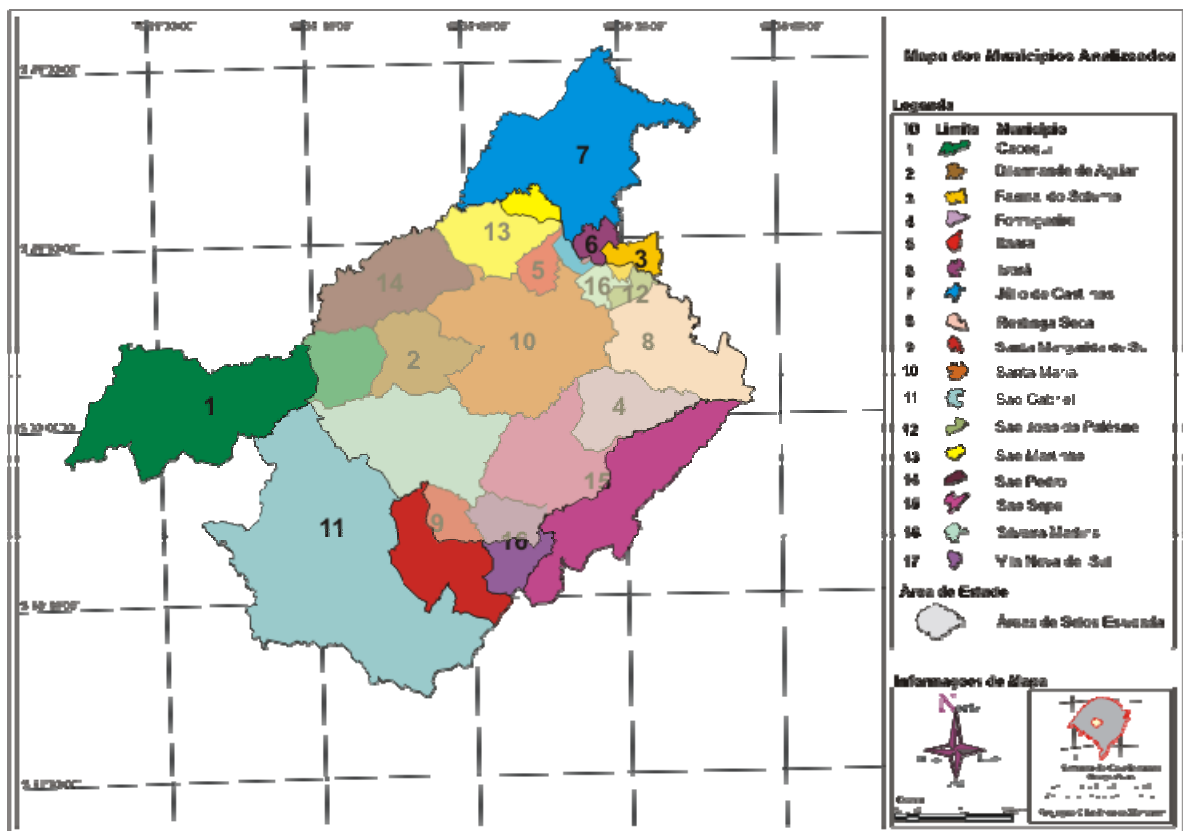


FIGURA 3. Municípios incluídos no estudo de probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na região central do Rio Grande do Sul, com destaque (sombreado) da área de abrangência da Estação Meteorológica de Santa Maria.

FONTE: Org. Cardoso & Hendges (2004)

3.1.1 RELEVO E HIDROGRAFIA

A Depressão Central do Rio Grande do Sul, delimitada com as demais formações como a do Planalto Arenito-basáltico ou Planalto Gaúcho, a Campanha, Escudo Sul-rio-grandense ou Serras do Sudeste e Planície Litorânea, podendo apresentar-se com a denominação de Depressão Periférica em se tratando de estudos geomorfológicos (VIEIRA & RANGEL, 1984).

Os terrenos da Depressão Central estendem-se do centro-leste ao centro-oeste do Estado, situando-se entre a cobertura de basalto-arenito e o escudo sul-rio-grandense. A leste, sua topografia, de características simples, apresenta pouca elevação próxima ao nível do mar (25m) nas áreas drenadas entre o rio Jacuí e o Taquari; no oeste, com um relevo suavemente ondulado, entremeado de coxilhas e vales, como o do rio Vacacaí, as altitudes são maiores, em torno de 200 a 300m, permitindo o delineamento de vales rasos, “sangas” e banhados. (VIEIRA & LIMA, 1977).

O estudo atual abrangeu a parte central da Depressão Central e parte das encostas e pequenas áreas de platô do Planalto do Centro do Rio Grande do Sul, além de uma parte das encostas voltadas para a parte central da Depressão Central. Nas áreas das encostas do Planalto o relevo é acidentado passando gradativamente a ondulado nas áreas que formam os pequenos platôs.

O Rio Grande do Sul possui duas grandes bacias hidrográficas que se destacam pela presença marcante de rios com leitos que apresentam vazão considerável. Além da bacia do rio Uruguai, destaca-se a bacia do rio Jacuí, que nasce na área do Planalto, a 730 m de altitude, percorre um rumo em direção ao sul, até sua confluência com o rio Vacacaí, próximo a Cachoeira do Sul (SANTOS, 1977). Nesse trajeto, já dentro da Depressão Central, delimita a área em estudo desde São João do Polêsine até Restinga Seca.

Na parte noroeste da área de estudo, o rio Toropi, pertencente a bacia do Uruguai, compõe uma parte da delimitação da área em estudo até sua confluência com o rio Ibicuí-mirim. Nessa trajetória seus subafluentes da margem esquerda, incluindo o rio Ibicuí-mirim, todos pertencentes á área de estudo, apresentam escoamento predominante para o oeste.

Ao sul da confluência do rio Toropi com o Ibicuí-mirim, a delimitação da área passa pelas cabeceiras do arroio Arenal do Paredão, ao longo do arroio Jacaré até sua confluência com o arroio da Pitangueira, todos com escoamento para oeste até o rio Cacequi. Ao longo da delimitação da área na direção sudeste, desde o arroio da Pitangueira e arroio do Salso todos os cursos d'água apresentam escoamento predominante para o este e nordeste, pertencendo à bacia do rio Vacacaí.

A hidrografia da área abrange ainda os platôs, vertentes e afluentes da margem esquerda do rio São Sepé, praticamente toda a bacia hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim até suas confluência com o Rio Jacuí no município de Restinga Seca, bem como os platôs, vertentes e afluentes da margem direita do rio Soturno e toda a várzea da margem esquerda do mesmo.

3.1.2 CLIMA E VEGETAÇÃO

O clima da região central do Estado do Rio Grande do Sul (RS), segundo a classificação de Köppen, é do tipo fundamental Cfa - Subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes (MORENO, 1961). A precipitação anual, em Santa Maria totaliza 1.732mm conforme Nimer (1977), 1769mm (1912-42) conforme Moreno (1961), 1686mm (1961-90) conforme o Ministério da Agricultura e do Abastecimento (1992) e 1786mm considerando os valores diários do período de dados utilizado nesse trabalhado (07/1968-06/2004). Em Júlio de Castilhos a precipitação anual é de 1.767mm e em São Gabriel é de 1.648mm (Moreno, 1961) estando dentro da média do Estado, no qual a precipitação anual que varia espacialmente entre os extremos de 1.186mm no Litoral Sul a 2.468mm na Serra do Nordeste (Moreno, 1961). As chuvas, considerando os valores normais, são bem distribuídas ao longo do ano (Brasil, 1973, Vieira & Rangel, 1984), ocorrendo na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, uma distribuição relativamente homogênea da precipitação ao longo do ano. Os meses de menor pluviosidade são março, novembro e dezembro para Santa Maria, fevereiro, março e novembro para Júlio de Castilhos e fevereiro, novembro e dezembro para São Gabriel (Moreno, 1961). A diferença do mês de menor e de maior precipitação em relação ao valor médio dos 12 meses é de apenas -8,1% e +9,3%, respectivamente.

Outras características climáticas das duas sub-regiões agroecológicas abrangidas por esse trabalho são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Sub-regiões Agroecológicas do estado do Rio Grande do Sul e sua caracterização climática em nível anual.

Sub-regio	Temperatura (°C)			Chuva anual (mm)	Dias de Chuva	Umidade Relativa (%)	Insolação (h ano ⁻¹)	Radiação solar média Cal cm ⁻² dia ⁻¹
	Média	Máxima	Mínima					
1c	17 a <20	23 a <26	>12 a<14	>1400 a < 1800	>80 a <120	75 a <80	>2200 a < 2600	>325 a < 375
10a	>16 a <20	>22 a<27	>12 a<15	>1300 a < 1600	>80 a <100	>70 a <80	>2200 a < 2800	>325 a < 375

FONTE: Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Rio Grande do Sul (Secretaria da Agricultura e Abastecimento 1994).

Na avaliação da variabilidade interanual, conforme balanço hídrico seriado em escala mensal realizado por Buriol et al. (1977), nessa região podem ocorrer excessos hídricos em qualquer mês do ano, enquanto as deficiências hídricas ocorrem com frequência significativa apenas no período de outubro a março e são muito raras e com intensidade desprezível no período de junho a agosto. Por essa razão, nesse trabalho ao proceder-se a análise das deficiências hídricas, o início do acúmulo dos seus valores foi procedido em 1 de julho de 1968.

A vegetação regional, primitivamente composta por Floresta Estacional Decidual, hoje se encontra descaracterizada pela ação antrópica principalmente pela apropriação das áreas florestais pela lavoura ou transformadas em áreas de reflorestamento (MOREIRA et al., 1997; ALONSO,1977; VIEIRA & LIMA, 1977).

Já no rebordo do Planalto, desenvolveu-se uma Floresta secundária onde a maior parte da área é atualmente usada para pecuária extensiva e parte explorada por culturas cíclicas (MELLO FILHO, 1994).

3.1.3 SOLOS

3.1.3.1 Unidades de mapeamento e classes

Na análise de probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica realizada nesse trabalho, foram considerados os grupos predominantes de solos que ocorrem na região, que segundo a classificação dos solos descrita em Brasil (1973), pertencem às unidades de mapeamento Santa Maria, São Pedro, Alto das Canas, Oásis, Júlio de Castilhos, Venda Grande, Círiaco, Charrua, Guassupi, Cerrito, Cambai, Pirai, Vacacaí e São Gabriel. Considerando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), essa classificação regional de Brasil (1973), tem uma nova nomenclatura descrita em EMBRAPA (1999).

Nesse estudo foram incluídos os solos mais representativos dos municípios da região central do Rio Grande do Sul, inclusos na área de abrangência da Estação Meteorológica Principal de Santa Maria (29°42' latitude Sul e 53°46' longitude Oeste, altitude de 95m), os quais são representados na Figura 4.

De acordo com Streck et al. (2002), os solos da área de estudo podem ser distribuídos nas seguintes Classes (EMBRAPA, 1999) e percentagem de ocupação da área (Figura 4): Alissolos (2,16 % da área); Argissolos (42,69 % da área); Chernossolos (5,81 % da área); Latossolos (0,57 % da área), Luvisolos (4,50 % da área); Neossolos (3,14 % da área) e Planossolos (41,14 % da área), para os quais são descritas apenas as características mais importantes para o seu balanço hídrico. Uma descrição detalhada e completa desses solos em função de suas características químicas, físicas e profundidade do sistema radicular da vegetação nativa podem ser obtidas de forma complementar em Brasil (1973) e Streck et al. (2002).

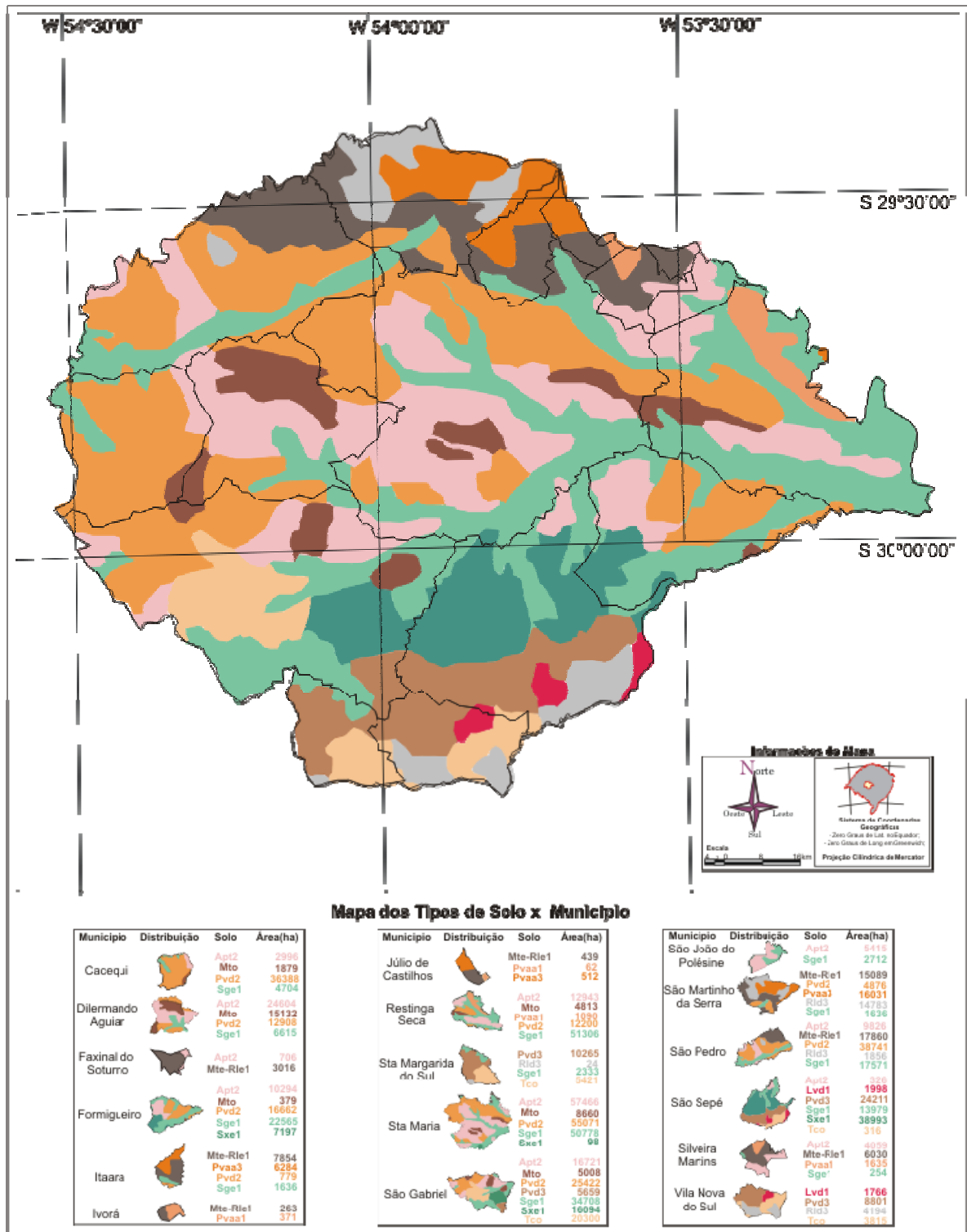


FIGURA 4 – Classes de solos e municípios ocorrentes na área de abrangência da estação meteorológica principal de Santa Maria, na região central do Rio Grande do Sul.

FONTE: Solos do Rio Grande do Sul (2002); Org. Cardoso & Hendges (2004)

3.1.3.1.1 Alissolos

Os Alissolos, comuns na região da Depressão Central, são medianamente profundos a profundos, originados principalmente de siltitos e arenitos, de textura média. Ocorrem em relevo suavemente ondulado ocupando coxilhas em cotas intermediárias entre Argissolos Vermelhos em cotas mais altas e Planossolos nas várzeas.

São solos com acidez elevada na maior parte do perfil, estabelecendo uma condição de baixa fertilidade química e elevada toxidez por alumínio para as plantas que possuem sistema radicular profundo, o que condiciona a concentração das raízes no horizonte A. A profundidade do sistema radicular da vegetação nativa nos diferentes solos depende também da altura do lençol freático e sua flutuação em função das condições de disponibilidade hídrica e profundidades físicas do solo e do material mineral da rocha matriz.

Já as limitações físicas relacionam-se com a drenagem imperfeita e susceptibilidade à erosão. Problemas com a drenagem resultam em encharcamento do solo em períodos de chuva prolongados, sendo este outro fator que limita o aprofundamento e manutenção do sistema radicular além do horizonte A.

Classe: Alissolo Hipocrômico argilúvico típico (APt 2)

Unidade de mapeamento: Santa Maria.

Antiga classificação: Brunizem Hidromórfico textura média.

Os municípios de maior ocorrência na área de estudo são: Santa Maria, São Pedro do Sul, Restinga Seca, São Sepé, Formigueiro, São Gabriel, Faxinal do Soturno, Nova Palma, Dona Francisca, Cacequi. Sob condições de pastagem nativa, vegetação predominante na sua área de ocorrência, as raízes são “abundantes” no horizonte A até 40 cm e “poucas” no horizonte A/B de 40 até 55cm de profundidade. Suas principais características físicas e capacidade de armazenamento de água estão agrupadas na Tabela 2 (capítulo 3.3).

3.1.3.1.2 Argissolos

O termo Argissolo deriva da presença de um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil. São geralmente profundos a muito profundos, bem drenados, e

podem ser originados a partir de rochas eruptivas, como os basaltos e granitos ou de arenitos e outros sedimentos. A limitação física refere-se à textura, espessura da camada arenosa (que promove rápida infiltração de água) com mudanças abruptas (arênico e espessarênicos), ou só mudança abrupta (abrupticos). A declividade do relevo interfere na erosão hídrica e no potencial de uso, pois ocorrem em relevo suavemente ondulado até fortemente ondulado, formado por elevações (coxilhas) com declives que variam de 5 a 10 % e altitude de 400 a 700m, ocupando a maior área territorial do RGS.

Classe: Argissolo vermelho-amarelo alumínico alissólico (PVAa 1).

Unidade de mapeamento: Oásis.

Antiga classificação: Laterítico Bruno Avermelhado distrófico húmico textura argilosa.

Sua ocorrência na área de estudo concentra-se na parte alta com menor declive do relevo da borda do Planalto, nos municípios de Itaara, Silveira Martins, Faxinal do Soturno, Agudo. Sob condições de vegetação natural predominam a vegetação rasteira e mata secundária; as raízes são “abundantes” no horizonte A até 25 cm, “muitas” no horizonte A de 25 até 40cm e “poucas” no horizonte B até 65cm de profundidade (BRASIL, 1973).

Classe: Argissolo vermelho-amarelo alumínico típico (PVAa 3).

Unidade de mapeamento: Júlio de Castilhos.

Antiga classificação: Podzólico Vermelho Amarelo álico textura argilosa.

Os municípios de maior ocorrência na área de estudo são Santa Maria, São Pedro do Sul, Silveira Martins, Itaara e Nova Palma, parte alta com menos declive na borda do Planalto. Sob condições naturais predominam a vegetação rasteira de campos mistos e matas galerias; as raízes são “abundantes” no horizonte A até 30 cm, “raras” no horizonte AB de 30 até 50cm, e “escassas” no horizonte B de 50 até 80cm de profundidade.

Classe: Argissolo vermelho distrófico arênico – PVd 2

Unidade de mapeamento: São Pedro.

Antiga classificação: Podzólico Vermelho Amarelo textura média.

Sua ocorrência na área de estudo é maior na parte alta das coxilhas nos municípios de São Pedro do Sul, Santa Maria, Restinga Seca, Formigueiro e São Gabriel. Nele predomina a vegetação rasteira de campos grossos; as raízes são “abundantes” no

horizonte A até 65 cm, “muitas” no horizonte AB de 65 a 100cm, e “poucas” no horizonte B de 100 até 130cm de profundidade.

Classe: Argissolo vermelho distrófico latossólico (PVd3).

Unidade de mapeamento: Alto das Canas.

Antiga classificação: Laterítico Bruno Avermelhado eutrófico textura argilosa.

Na área de estudo tem maior ocorrência nos municípios de São Gabriel e São Sepé. A vegetação natural se apresenta com campos mistos; as raízes, segundo Brasil (1973), são classificadas como “abundantes” no horizonte A até 40 cm, e “muitas” no horizonte AB de 40 até 133cm de profundidade.

3.1.3.1.3 Chernossolos

Essa classe de solos caracteriza-se pelos solos rasos a profundos (80 a 120 cm em média), com perfil de horizontes A-B-C, com médios a altos teores de material orgânico, desenvolvidos a partir do basalto que lhe confere cores escuras ao horizonte superficial A. Apresenta horizonte B textural, pouco espesso (30-60cm), de textura argilosa. O horizonte C é composto por material intemperizado (basalto amigdalóide), apresentando grande número de incrustações de vários tamanhos.

Classe: Chernossolo Argilúvico férrico típico (MTf).

Unidade de mapeamento: Ciríaco.

Antiga classificação: Brunizem avermelhado raso textura argilosa.

Os municípios de maior ocorrência na área de estudo são Itaara, São Martinho da Serra e São Pedro do Sul. Sob condições naturais predomina a vegetação de mata subtropical alta, embora atualmente com expressivas áreas cultivadas. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 25 cm, “comuns” de 25 a 48 cm no horizonte AB e de 48 a 90cm como “ausentes” no horizonte B (BRASIL, 1973).

A unidade de mapeamento Ciríaco não constitui unidade de mapeamento simples no Rio Grande do Sul, estando sempre associados em manchas com os solos Charrua (Neossolos litólico eutrófico chernossólico – Rle1) formando a Associação Ciríaco-Charrua. Esses solos ocupam área de pequena extensão, em relevo ondulado a fortemente ondulado, o que dificulta a mecanização, exigindo práticas conservacionistas intensivas.

Classe: Chernossolo Argilúvico órtico saprolítico (MTo1).

Unidade de mapeamento: Venda Grande.

Antiga classificação: Brunizem raso.

Esses solos ocorrem em relevo ondulado com pequenas elevações e declive médio ($\approx 8\%$), em altitudes de 80 a 200m, aparecendo nos municípios de Restinga Seca, São Sepé, São Gabriel, Santa Maria, Dilermando de Aguiar e Cacequi.

A vegetação natural aparece como mata subtropical arbustiva, mas intensamente modificada e reduzida pelo uso agrícola intenso. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 28 cm e no horizonte B até 42 cm, sendo “comuns” no horizonte C de 42 a 75cm de profundidade (BRASIL, 1973).

Classe: Chernossolo Háplico órtico típico (MXo1).

Unidade de mapeamento: Vila.

Antiga classificação: Brunizen Avermelhado textura argilosa.

Na área de estudo, esse solo ocorre apenas no município de São Pedro do Sul, nas baixadas junto ao rio Toropi, nas divisas dos municípios de Mata e Toropi.

A vegetação natural se apresenta como mata em galerias já totalmente modificadas pelo uso agrícola intenso. As raízes, segundo Brasil (1973) são classificadas como “abundantes” no horizonte A até 30 cm, “poucas” de 30 a 60cm no horizonte AB e “escassas” no horizonte B de 60 até 99 cm de profundidade.

3.1.3.1.4. Latossolo

É um solo profundo, bem desenvolvido, que, comparado aos demais solos, apresenta alta capacidade de armazenamento de água.

Classe: Latossolo Vermelho Distrófico Argissólico (LVd1).

Unidade de mapeamento: Cerrito.

Antiga classificação: Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico textura argilosa.

Esse solo ocorre na parte central do município de São Sepé. Sob condições naturais predomina a vegetação de campos com pequena cobertura de gramíneas, atualmente com áreas cultivadas intensamente assim como pecuária. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 35 cm e de 35 a 60cm no horizonte AB e são “comuns” de 60 a 94cm no horizonte BA e de 94 a 136cm no horizonte B.

3.1.3.1.5 Luvisolos

O termo luvisolo significa acumulação subsuperficial de argila. São solos quase sempre pouco profundos, com drenagem imperfeita, perfil com os horizontes A-B-C, com presença de argilas expansivas que favorecem a erosão, dificultando o manejo e exigindo práticas conservacionistas intensivas.

Classe: Luvisolo Crômico órtico típico (TCo).

Unidade de mapeamento: Cambai.

Antiga classificação: Brunizem Avermelhado raso textura argilosa.

Ocorrem em relevo ondulado nos municípios de Vila Nova, São Gabriel, e Santa Margarida do Sul. São pouco profundos a rasos, associados a afloramentos rochosos.

Sob condições naturais predomina a vegetação de campos finos, com mata galeria nas margens dos rios e arroios. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 40cm, “poucas” de 40 a 67cm no horizonte B e “raras” na profundidade de 67 a 85cm no horizonte BC.

Classe: Luvisolo Hipocrômico órtico típico (TPo2).

Unidade de mapeamento: Piraf.

Antiga classificação: Brunizem Hidromórfico textura argilosa.

Essa classe de solo ocorre na área de abrangência apenas ao norte e a leste da cidade de São Gabriel.

Sob condições naturais predomina a vegetação de gramíneas. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 45 cm, de 45 a 65cm no horizonte B são “comuns” e de 65 a 80cm no horizonte C aparecem como raras (BRASIL, 1973).

3.1.3.1.6 Neossolos

O termo “neossolos” refere-se a solos novos, pouco desenvolvidos. São solos de formação muito recente, derivados do basalto. São encontrados em condições de relevo médio a fortemente ondulado, com drenagem moderada. Devido a sua pouca espessura, possuem fortes restrições às culturas anuais, mas apresentam aptidão para reflorestamento e fruticultura.

Classe: Neossolo Litólico Eutrófico Chernozêmico (RLe1).

Unidade de mapeamento: Charrua.

Antiga classificação: Litólico Eutrófico textura média.

Sua ocorrência na área estudada concentra-se nas encostas da Serra aparecendo sempre associado com solos Círiaco.

A vegetação original compunha-se de mata subtropical alta, mas está intensamente alterada pelo desmatamento intensivo e uso em áreas ocupadas com culturas regionais. As raízes são classificadas como “abundantes” até 20 cm no horizonte A, sendo que a próxima camada é de rocha matriz.

Classe: Neossolo Litólico Distrófico típico (RLd3)

Unidade de mapeamento: Guassupi

Antiga classificação: Litólico Distrófico textura média

Área de ocorrência: nos municípios de São Martinho da Serra, São Pedro, Santa Maria, Itaara e Silveira Martins. A vegetação original predominante é a de campos com presença de matas baixas e esparsas, sendo utilizado para pastagens. O sistema radicular apresenta-se “abundante” com pouca profundidade até 20 cm e penetrando nas fendas de rochas.

3.1.3.1.7 Planossolos

Os Planossolos, típicos de áreas planas, são imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em várzeas, com relevo plano a suave ondulado. São adequados para o cultivo de arroz irrigado, milho, soja e pastagens.

Classe: Planossolo Hidromórfico Eutrófico Arênico (SGe1).

Unidade de mapeamento: Vacacaí.

Antiga classificação: Planosol textura média.

A área de ocorrência concentra-se em altitudes menores do que 150m em relevo plano à suave ondulado, nas várzeas dos rios, principalmente na Depressão Central. A vegetação predominante é a de campos, mas modificada pelo uso atual com cultivos de arroz e após sua colheita com pastagem de resteva.

O sistema radicular apresenta-se como “abundante” até 45 cm no horizonte A, “comum” de 45 a 70 cm no horizonte e de “poucas” raízes no horizonte B de 70 a 120 cm.

Classe: Planossolo Háplico Eutrófico típico (SXE1).

Unidade de mapeamento: São Gabriel.

Antiga classificação: Planosol textura argilosa.

A área de sua ocorrência abrange uma faixa de relevo entre a várzea da margem direita do rio Vacacaí e as encostas da Serra do Sudeste nos municípios de São Gabriel, Santa Margarida do Sul, Vila Nova do Sul e São Sepé. O relevo é suavemente ondulado, com altitudes entre 80 a 200m. A vegetação predominante é a de campos finos entremeados de esparsos capões de mato. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 20 cm, “poucas” de 20 a 55cm no horizonte BC e ainda como “poucas” na profundidade de 55 a 68cm no horizonte C.

3.2 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E SEU PROCESSAMENTO

Os dados meteorológicos diários utilizados nas análises fazem parte da série de dados de observação ininterrupta da estação meteorológica do Oitavo Distrito de Meteorologia (8° DISME - INMET) de Santa Maria, instalada no Departamento de Fitotecnia (DF) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) nas coordenadas: latitude = 29°43'23"S; longitude = 53°43'15"W; altitude = 95m.

O banco de dados foi formado pela temperatura do ar (9h, 15h, 21h, máxima e mínima), umidade relativa do ar (9h, 15h e 21h), insolação diária, velocidade do vento, total diário de precipitação e evaporação medida no evaporímetro de Piche (Epi). A velocidade do vento e a radiação solar global diária foram coletadas apenas para os períodos de sua disponibilidade. Os valores de evaporação medidos no evaporímetro de Piche, também denominados “capacidade evaporativa do ar”, foram coletados apenas para os períodos de falhas de registro de dados de velocidade do vento. Eventuais falhas de registro de algumas das demais variáveis, nunca maiores do que um dia, exceto de temperatura mínima, foram preenchidas por estimativa através de regressão de tendência a partir dos dados da leitura anterior e posterior à falha, em períodos menores ou iguais a cinco dias, ou por regressão a partir dos dados da estação meteorológica de Boca do Monte (latitude = 29°41'S; longitude = 53°55' W; altitude = 138m).

A duração astronômica do dia (N) e a densidade de fluxo da radiação solar no topo da atmosfera ($K_0\downarrow$), foram estimados para cada data através do algoritmo

ESTIMVARMET, desenvolvido pelo setor de Agroclimatologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM, a partir da declinação solar calculada para a respectiva data.

Para os locais e/ou períodos em que não se dispunha de dados medidos ou registrados de densidade de fluxo de radiação solar global incidente (R_g , em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), a mesma foi estimada a partir dos dados de insolação (n), através da equação de Ångström-Prescott:

$$R_g = K_o \downarrow \left(b_0 + b_1 \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

na qual, os valores diários de $K_o \downarrow$ são em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; b_0 e b_1 são coeficientes mensais ajustados para Santa Maria por Estefanel et al. (1990), n é a insolação diária registrada com heliógrafo (h dia^{-1}) e N o comprimento astronômico do dia (h dia^{-1}). A densidade de fluxo do saldo de radiação (R_n , em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foi estimada através da equação de Brunt-Penman (Berlato & Molion, 1981), considerando-se 0,23 a reflectância média diária da superfície gramada tomada como referência.

Os valores diários de N foram estimados a partir da declinação solar (δ) da latitude do local (ϕ), por:

$$N = 0,1333 \text{ arc cos } (- \text{tg } \delta . \text{tg } \phi) \quad (2)$$

A evapotranspiração de referência diária (ET_o , em mm.dia^{-1}) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme Pereira et al. (1997), desconsiderando-se o fluxo de calor no solo ($G \cong 0$):

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(\Delta + \gamma^*)} \frac{900}{(T_{am} + 273)} U_2 d \quad (3)$$

em que Δ é a declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água do ar para a temperatura T_{am} ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), γ é a constante psicrométrica ($0,0662 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), γ^* a constante psicrométrica modificada ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), λ o calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$), U_2 a velocidade média diária do vento a 2m acima do nível do solo (m s^{-1}), d o déficit de saturação do ar (kPa) e T_{am} a temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$). Para o cálculo de Δ e γ^* foram utilizadas as equações:

$$\Delta = \frac{4908 e_s}{(T_{am} + 237,3)^2} \quad (4)$$

conforme Allen et al. (1998), e

$$\gamma^* = \gamma \left(1 + \frac{rc}{ra} \right) \quad (5)$$

conforme Pereira et al. (1997), em que, rc é a resistência da vegetação de referência ($s\ m^{-1}$) e ra a resistência aerodinâmica ao transporte de vapor d'água ($s\ m^{-1}$). Para o cálculo da razão $rc\ ra^{-1}$ adotou-se o critério sugerido por Pereira et al. (1997), em função da velocidade do vento ($rc\ ra^{-1} = 0,33\ U_2$).

Nos períodos com falhas de dados de vento, a ETo foi calculada pelo método de Penman (PENMAN, 1948), com a modificação de que o termo aerodinâmico (Ea) foi estimado a partir do déficit de saturação do ar (d , em kPa) e da capacidade evaporativa do ar medida no evaporímetro de Piche (Epi , em mm), com um modelo linear ajustado por Nied et al. (2005):

$$Ea = 7,5\ d\ (0,4205 + 0,024474\ Epi), \quad (r^2 = 0,95), \quad (6)$$

A evapotranspiração de referência mensal (ET_o , em $mm.mês^{-1}$) estimada a partir da temperatura média mensal conforme Buriol et al. (1980), foi calculada pelo método de Thornthwaite (1948), sendo os parâmetros “índice anual de calor - I” e o “expoente a” (função cúbica de I) calculados com os valores médios dos 36 anos de dados de temperatura média de cada mês, conforme demonstrado no Anexo I, resultando a equação de Thornthwaite parametrizada para Santa Maria em:

$$ETP = 16\ (0,110205\ t)^{1,985737}\ FC \quad (7)$$

em que t é a temperatura média mensal do respectivo mês e ano e FC é o fator de correção para ajuste da ETP à duração média dos dias no mês ao número de dias do mês, cujos valores são apresentados no Anexo I.

A determinação do evapotranspiração real e das deficiências e excessos hídricos foi feita em nível diário através da técnica do balanço hídrico seqüencial diário (BHSd), conforme Nied (2003) e Pereira et al. (1997). O cálculo da Evapotranspiração real (ETr) foi feito em nível diário em função da precipitação, da ETo e da variação do armazenamento, para diferentes valores de capacidade de armazenamento de água disponível no solo à vegetação nativa (CAD), calculados em função das características físicas dos solos predominantes na região conforme Brasil (1973) e Embrapa (1999).

3.3. CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DISPONÍVEL (CAD)

Na determinação da capacidade de armazenamento de água disponível para a vegetação nativa (CAD), considerou-se a profundidade de ocorrência significativa de raízes nos seus perfis (Brasil, 1973) e a descrição dos perfis e sua caracterização física realizadas por Brasil (1973) e Embrapa (1999) para as principais classes e unidades de mapeamento de solo ocorrentes na área de estudo, que constam da Tabela 2.

Para o cálculo da CAD dos solos foi integrada a umidade volumétrica dos diferentes horizontes (H) do solo (Θ_H) possível de ser armazenada entre os níveis de umidade correspondentes à capacidade de campo (Θ_{HCC}) e o ponto de murcha permanente (Θ_{HPMP}), para o que adotou-se a equação geral :

$$\Theta_H = (\theta_{HCC} - \theta_{HPMP}) ds_H H_H \quad (8)$$

em que ds_H é a densidade do solo ($g\ cm^{-3}$) e H_H a espessura do respectivo horizonte em mm (Tabela 2).

Para obter os valores de θ_{HCC} e θ_{HPMP} adotou-se o modelo de pedotransferência desenvolvido por van Genuchten (1980) para os potenciais matriciais da água no solo de -10kPa e de -1500kPa, respectivamente:

$$\Theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \{ [1 + (a \Psi_m)^n]^{-m} \}^{-1} \quad (9)$$

em que, Θ é a umidade volumétrica no solo na capacidade de campo no horizonte considerado (θ_{HCC}) ou ponto de murcha permanente no mesmo (θ_{HPMP}); θ_r é a umidade residual do solo, θ_s é a umidade de saturação do solo, Ψ_m é o potencial matricial da água no solo (-10kPa ou de -1500kPa). Os coeficientes a , n e m são empíricos e obtidos das funções de pedotransferência específicas publicadas por Peraza (2003). Para os solos Alto das Canas, Cambaí, Ciríaco, Guassupi, Júlio de Castilhos, Santa Maria, São Gabriel, São Pedro e Vacacaí esses coeficientes estão transcritos na Tabela 2. Para os demais solos, Cerrito, Charrua, Oásis, Piraí, Venda Grande e Vila, foram utilizados os coeficientes das equações gerais básicas para os horizontes A, AB e B desses solos, determinadas em função do potencial matricial por Peraza (2003), que estão transcritos na Tabela 3.

TABELA 2 - Capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) nos horizontes (Hz) e acumulada no perfil (Ac.) até a profundidade alcançada pelo sistema radicular (CR) da vegetação nativa, em função das propriedades físicas do solo, para as principais classes e unidades de mapeamento dos solos ocorrentes na região central do Rio Grande do Sul, para o que a umidade volumétrica dos horizontes diferentes (H) do solo (Θ_H) possível de ser armazenada nos níveis de umidade correspondentes à capacidade de campo (Θ_{HCC}) e o ponto de murcha permanente (Θ_{HPMP}), foi calculada através de equações de pedotransferência, com coeficientes determinados por Peraza (2003).

Unidade de Mapeamento (Classe)	HZB	HZA	PROFUN-DIDADE (cm)	Fração granulométrica			M.O. (%)	Coeficientes da equação de Peraza					Umid%Peso		CAD Hz (mm)	Ds g cm ³	CAD Acu. (mm)	C R
				Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)		θ_r	θ_s	a	n	m	CC (mm)	PMP (mm)				
SÃO PEDRO	A11	A	0-20	73	15	12	1,19	0,032	0,312	0,8925	13,0595	0,0605	0,0817	0,0329	14,13	1,45	14,1	A
	A11b	A	20-25	73	15	12	1,19	0,032	0,312	0,8925	13,0595	0,0605	0,0817	0,0329	3,53	1,45	17,7	A
	A12	A	25-30(20-40)	78	12	10	1,19	0,032	0,312	0,8925	13,0595	0,0605	0,0817	0,0329	14,13	1,45	31,8	A
	A12b	A	25-65(40-60)	78	12	10	1,19	0,032	0,312	0,8925	13,0595	0,0605	0,0817	0,0329	14,13	1,45	45,9	A
	A12b	A	25-65(60-65)					0,032	0,312	0,8925	13,0595	0,0605	0,0817	0,0329	3,53	1,45	49,5	A
	A3	AB	65-100(65-100)	60	29	11	1,03	0,130	0,500	1,1279	12,3617	0,0312	0,2753	0,1510	54,38	1,25	103,8	M
	B1	BA	100-130(50%)	54	35	11	1,17	0,130	0,500	1,1279	12,3617	0,0312	0,2753	0,1510	21,81	1,17	125,6	P
JÚLIO DE CASTILHOS	A11	A	0-10	25	35	40	4,52	0,113	0,566	1,1332	2,5261	0,1877	0,2562	0,1263	13,77	1,06	13,8	A
	A12	A	10-30	23	40	37	2,84	0,113	0,566	1,1332	2,5261	0,1877	0,2562	0,1263	27,54	1,06	41,3	A
	A3	AB	30—50	22	47	31	2,43	0,131	0,463	0,9087	16,9308	0,0242	0,2654	0,1483	13,94	1,19	55,3	R
	B2	B	50-80(50-60)	12	62	26	1,15	0,197	0,618	1,0313	20,5164	0,0244	0,3279	0,2077	6,61	1,10	61,9	E
OÁSIS	A11	A	0-25	11	36	53	1,91	Com a equação básica de PERAZA (2003)					0,3632	0,1659	57,72	1,17	57,7	A
	A12	A	25-40	9	46	45	1,98						0,3632	0,1659	33,15	1,12	90,9	M
	B21	B	40-65(50%)	5	64	31	2,13	cc=-10KPa PPM=-1500KPa					0,4760	0,2585	29,90	1,10	120,8	P
CERRITO	A1	A	0-35(0-20)	59	22	19	1,46	Com a equação básica de PERAZA (2003)					0,2112	0,0808	28,68	1,10	28,7	A
	A1b	A	0-35(20-35)	59	22	19	1,46						0,2112	0,0808	21,51	1,10	50,2	A
	A3	AB	35-60(35-40)	53	29	18	1,03	cc=-10KPa PPM=-1500KPa					0,1950	0,0774	6,47	1,10	56,7	A
	A3b	AB	35-60(40-60)	53	29	18	1,03						0,1950	0,0774	25,89	1,10	82,6	A
	B1	BA	60-94	46	35	19	0,74						0,2954	0,1275	62,82	1,10	145,4	C
	B2	B	94-136	44	40	16	0,38						0,2879	0,1316	72,23	1,10	217,6	C
CIRÍACO	AP	A	0-25	42	18	40	1,19	0,203	0,654	0,8804	6,5304	0,0915	0,3259	0,2092	22,66	0,97	22,7	A
	A3	AB	25-48	37	23	40	1,86	0,203	0,654	0,8804	6,5304	0,0915	0,3259	0,2092	22,66	0,97	45,3	C
VENDA GRANDE	A1	A	0-20	64	19	17	2,30	Com a equação básica de PERAZA (2003)					0,2169	0,0816	29,77	1,10	29,8	A
		A	20-28	51	29	20	1,10						0,2169	0,0816	11,91	1,10	41,7	A
	B	B	28-42	58	17	25	0,38	cc=-10 KPa PPM=-1500KPa					0,2749	0,1153	24,57	1,10	66,2	A
	C1	C	42-75	36	5	59	0,26						0,2749	0,1153	28,96	1,10	95,2	C
VACACAÍ	A11	A	0 – 20	64	10	26	1,27	0,008	0,429	0,9036	4,0403	0,0692	0,2355	0,0641	46,29	1,35	46,3	A
	A11b	A	20 – 30	64	10	26	1,27	0,008	0,429	0,9036	4,0403	0,0692	0,2355	0,0641	23,15	1,35	69,4	A
	A12	A	30-45	64	8	28	0,43	0,008	0,429	0,9036	4,0403	0,0692	0,2355	0,0641	34,72	1,35	104,2	A
	A21	E	45-60	67	4	29	0,24	0,012	0,285	0,2193	0,7984	0,8878	0,1190	0,0164	23,23	1,51	127,4	C
	A22	E	60-70	66	2	32	0,12	0,012	0,285	0,2193	0,7984	0,8878	0,1190	0,0164	7,74	1,51	135,1	P
	B2G	B	70-120	44	34	22	0,41	0,049	0,531	1,7681	2,8261	0,0791	0,3026	0,1317	55,53	1,30	190,7	P

Unidade de Mapeamento (Classe)	HZB	HZZ	PROFUN-DIDADE (cm)	Fração granulométrica			M.O. (%)	Coeficientes da equação de Peraza					Umid%Peso		CAD Hz (mm)	Ds g cm ³	CAD Acu. (mm)	C R
				Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)		θr	θs	a	n	m	CC (mm)	PMP (mm)				
SÃO GABRIEL	A	A	0-20	11	35	54	2,41	0,052	0,549	0,5202	1,4198	0,2467	0,3247	0,1002	52,97	1,18	53,0	A
	B2	B	20-40	3	68	29	2,22	-0,009	0,693	2,9796	3,4235	0,0549	0,3619	0,1356	28,74	1,27	81,7	P
	B3	BC	40-55	1	58	41	0,84	-0,009	0,693	2,9796	3,4235	0,0549	0,3619	0,1356	21,55	1,27	103,3	P
	C	C	55-68(55-70)	0	50	50	0,45	-0,009	0,693	2,9796	3,4235	0,0549	0,3619	0,1356	21,55	1,27	124,8	P
SANTA MARIA	A11	A	0-20	56	14	30	2,87	0,111	0,524	0,3527	5,8052	0,1046	0,3031	0,1202	43,90	1,20	43,9	A
	A12	A	20-40	56	15	29	2,06	0,111	0,524	0,3527	5,8052	0,1046	0,3031	0,1202	43,90	1,20	87,8	A
	A/B	A	40-55	44	23	33	1,10	0,111	0,524	0,3527	5,8052	0,1046	0,3031	0,1202	16,46	1,20	104,3	P
CHARRUA	A		0-20	28	11	61	3,78	Com a equação básica de PERAZA					0,3519	0,1437	36,64	1,10	36,6	
	R		20-60	44	15	41	1,60	(2003) cc=-10KPa PPM=-1500KPa					0,2540	0,1295	10,95	1,10	47,6	1
GUASSUPI	A		0-20	19	23	58	3,47	0,102	0,585	0,0972	0,6957	0,8866	0,3655	0,1238	40,23	1,04	40,2	2
	A+espesso		20-40					0,102	0,585	0,0972	0,6957	0,8866	0,3655	0,1238	25,15	1,04	65,4	3
	R	R	20-40					0,102	0,585	0,0972	0,6957	0,8866	0,3655	0,1238	2,51	1,04	67,9	4
		R	40-60					0,102	0,585	0,0972	0,6957	0,8866	0,3655	0,1238	2,51	1,04	70,4	5
VILA	AP	A	0-20	4	36	60	0,33	Com a equação básica de					0,3435	0,1563	41,19	1,10	41,2	A
	AP2	A	20-30	4	36	60	0,33	PERAZA (2003)					0,3435	0,1563	20,60	1,10	61,8	A
	A3	AB	30-60	7	36	57	0,15	cc=-10 KPa PPM=-1500 KPa					0,3222	0,0743	40,90	1,10	102,7	P
CAMBAÍ	A11	A	0-20	35	25	40	3,56	0,127	0,613	1,4642	7,9075	0,0457	0,3113	0,1571	31,13	1,01	31,1	A
	A12	A	20-40	39	24	37	1,32	0,127	0,613	1,4642	7,9075	0,0457	0,3113	0,1571	52,71	2,01	83,8	A
	B2	B	(40-60)+7cm	29	41	30	1,31	0,139	0,477	0,0025	0,4629	3,4618	0,3289	0,1481	55,08	1,17	138,9	6
	B3	BC	67-85	33	24	43	0,76	0,139	0,477	0,0025	0,4629	3,4618	0,3289	0,1481	15,69	2,17	154,6	R
ALTO DAS CANAS	A	A	0-20	45	23	32	1,72	0,089	0,485	1,2742	10,1220	0,0474	0,2058	0,0996	24,65	1,16	24,6	A
	A	A	20-40	45	23	32	1,72	0,089	0,485	1,2742	10,1220	0,0474	0,2058	0,0996	24,65	1,16	49,3	A
	AB	AB	40-60	36	32	32	1,57	0,114	0,456	1,0155	13,0033	0,0236	0,2819	0,1501	31,64	1,20	80,9	M
	AB	AB	60-70	36	32	32	1,57	0,114	0,456	1,0155	13,0033	0,0236	0,2819	0,1501	15,82	1,20	96,8	M
	B	B	70-110	24	52	24	1,20	0,170	0,613	1,6185	6,3007	0,0860	0,2680	0,1765	36,97	1,01	133,7	M
PIRAÍ	A	A	0-28	4	36	60	0,33	Com a equação básica de					0,3435	0,1563	62,39	1,19	62,4	A
	B2	B	28-45	4	36	60	0,33	PERAZA (2003)					0,3689	0,2267	27,80	1,15	90,2	A
	B3	BC	45-65	7	36	57	0,15	cc=-10 KPa PPM=-1500 KPa					0,3498	0,2176	28,29	1,07	118,5	C

HZB = Descrição de horizontes conforme Brasil (1973); HZZ = Descrição de horizonte conforme Peraza (2003); CR= Descrição da concentração de raízes conforme Brasil (1973) em: A=abundantes, M=muitas, C=comuns, P=poucas, E= escassas, R=raras, AU= ausentes; 1) 0,2 pois aprox 60% do volume é pedra ou cascalho e as CR são poucas); 2) (R abrupt a 20 cm, sendo a eficiência da CAD = 0,8, pois aprox 20% do volume é pedra ou cascalho); 3) (Só para os perfis mais profundos (A=40cm), sendo a eficiência da CAD=0,5, pois cerca de 50% do volume é pedra ou cascalho); 4) Só para os perfis mais rasos 20cm, *0,1 pois aprox. 90% do volume é pedra ou cascalho; 5) Só para os perfis mais rasos 20cm, *0,1 pois aprox. 90% do volume é pedra ou cascalho; 6) 13cm A+14cm do HzB+7cm do HzBC com Raízes poucas.

TABELA 3 – Coeficientes das equações básicas de van Genuchten para os horizontes A, AB e B dos solos Cerrito, Charrua, Oásis, Pirai, Santa Maria, Venda Grande e Vila, determinados em função do potencial matricial por Peraza (2003). Santa Maria, 2005.

Horizontes	Potencial Matricial (KPa)	Coeficientes das Equações Básicas para para as frações granulométricas			
		Intersecção	Argila	Silte	Matéria Orgânica
A	PMP = -1500	-0,01368	0,00022619	0,0001409	0,00123
A	CC = - 10	0,05040	0,00032220	0,0002817	0,00249
AB	PMP = -1500	- 0,04835	0,0002435	0,0000492	0,00448
AB	CC = - 10	- 0,00448	0,0003529	0,0003408	0,00347
B	PMP = -1500	-0,03247	0,0003023	0,0002451	0,00101
B	CC = - 10	0,05431	0,0003284	0,0004049	0,00403

O cálculo da CAD foi realizado até a profundidade alcançada pelas raízes, conforme descrição de Brasil (1973), para as diferentes unidades de classificação. Nesse cálculo, considerou-se a profundidade do nível inferior do horizonte com a descrição da concentração de raízes com o índice “raízes poucas”. Nos horizontes em que as raízes foram descritas como “abundantes”, “muitas” ou “comuns”, adotou-se a CAD integral, enquanto que nos horizontes em que a descrição das raízes se apresentava como “poucas”, conforme Brasil (1973), adotou-se 50% como volume efetivo da exploração pelas raízes do volume total do solo nesse perfil, isto é, a CAD integral foi multiplicada pelo fator 0,50. Os demais horizontes classificados com os baixos índices de concentração de raízes, tais como “raízes escassas”, “raras” e “ausentes”, não foram considerados no cálculo da CAD. As classes de solo e suas propriedades físicas relacionadas a sua CAD nos seus horizontes, bem como os coeficientes das equações de pedotransferência utilizadas no cálculo da CAD efetiva de alguns solos, estão descritas na Tabela 2.

Para os solos ou horizontes que não se dispunha de valores determinados de densidade do solo (Vila, Charrua, Venda Grande e horizonte B do solo Oásis), adotou-se o valor empírico 1.10g cm^{-3} .

Em função da grande variabilidade dos valores de umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) e de umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) apresentados na literatura e calculados com equações de pedotransferência conforme van Genuchten (1980), sempre que possível adotou-se as equações de pedotransferência com os coeficientes determinados por Peraza (2003), por serem acompanhadas da informação de quais foram as condições de contorno consideradas na determinação.

Na determinação da CAD dos solos Vacacaí (SGe1) e São Gabriel (SXe1), profundidades maiores que 70cm não foram consideradas em virtude da elevação do lençol freático nos seis meses mais úmidos, o que limita a presença de raízes ativas, embora na descrição de Brasil (1973), esteja descrita a presença de “poucas raízes” na profundidade de 70 a 120 cm (horizonte B_{2G}). Na determinação dos valores de Capacidade de Campo (θ_{CC}) e Ponto de Murcha Permanente (θ_{PMP}) foram utilizados os coeficientes específicos determinados por Peraza (2003) na equação de van Genuchten (1980). Dessa forma o valor da CAD calculado 135 mm e 125 mm, para os solos Vacacaí e São Gabriel respectivamente, corresponde ao cálculo até 70 cm de profundidade.

Na determinação da CAD para o solo Julio de Castilhos (PVAa3), para a profundidade de até 30 cm, com a presença de raízes “abundantes” (Brasil,1973), os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} foram determinadas pela equação de pedotransferência com coeficientes de Peraza (2003). Da mesma forma foi procedido no cálculo das θ_{CC} e θ_{PMP} para a profundidade de 30 até 50 cm, na qual as raízes são descritas como “raras”. Devido a baixa concentração de raízes no horizonte B (B₂), descritas como “escassas” por Brasil (1973), e em razão da alta concentração de alumínio trocável nesse horizonte B não considerou-se profundidades maiores do que 60cm no cálculo da CAD que totalizou 60mm até essa profundidade.

O solo São Pedro (PVd2) teve os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} determinados pela equação de pedotransferência com coeficientes determinados por Peraza (2003) para até 65 cm de profundidade com a presença de raízes descritas por Brasil (1973) como “abundantes”; na profundidade de 65 a 100 cm as mesmas são descritas como “muitas”. Na profundidade de 100 a 130 cm, encontram-se descritas como “poucas”, motivo pelo qual considerou-se apenas 50% da CAD calculada para essa camada de solo. A CAD obtida totalizou 125mm até a profundidade de 130cm.

A determinação da CAD para o solo Santa Maria (APt2) foi realizada apenas até a profundidade de 55 cm, uma vez que para profundidades maiores BRASIL (1973) descreve ausência de raízes. A descrição de que o solo é mal drenado no horizonte C e de que ocorre alta concentração de alumínio trocável nesse horizonte (Brasil, 1973), reforça a idéia de que as raízes não alcançam em quantidade significativa uma profundidade maior. Assim, utilizou-se os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} determinados pelas equações de pedotransferência (FTPS), com coeficientes

determinados por Peraza (2003) até essa profundidade, resultando num valor de CAD de 104mm considerada no cálculo do BHS.

Para o solo Ciríaco (MTf), a CAD foi determinada até 48 cm de profundidade, considerando-se que de 0 a 25 cm de profundidade, 25% do volume do solo é ocupado por pedras e cascalhos e de 25 a 48 cm, cerca de 45% do volume é representado por pedras e cascalhos. O valor da CAD calculada até essa profundidade e utilizada no trabalho foi de 45mm.

Na determinação da CAD do solo Guassupi (Rld3) considerou-se 20cm de profundidade de perfil útil. Considerou-se ainda que profundidades maiores são compostas por rocha matriz e fendas onde se encontram raízes que absorvem água. Dessa forma de 20 a 60cm de profundidade, foi considerado que 10% do volume seria de fendas ocupadas por solo e raízes totalizando 5mm de CAD. Portanto, para solos Guassupi rasos (profundidade de 20cm) utilizou-se CAD de 45mm e para solos Guassupi profundos, cujo horizonte A alcança 40cm, mas com maior proporção de cascalho e pedras na camada de 20 a 40cm, computou-se uma CAD total de 65mm.

No cálculo de θ_{CC} e θ_{PMP} para cada horizonte do solo Cambai (TCo) considerou-se o perfil até 67 cm de profundidade, conforme descrito por Brasil (1973). Nesse caso, nos 14 cm de espessura (53 a 67 cm) do horizonte B, onde a presença de raízes é descrita como “poucas” (Brasil 1973), foi considerado apenas 50% da CAD da camada e a CAD total calculada do perfil resultou em 139 mm até a profundidade de 67cm. Devido a similaridade desse valor com o valor determinado para o solo Vacacaí, também adotou-se uma CAD de 135mm em todas as análises realizadas para o solo Cambaí. Já para o solo Alto das Canas (PVD3), com a adoção dos coeficientes de Peraza (2003) na equação de van Genuchten (1980) e considerando-se o perfil até 110 cm de profundidade, obteve-se uma CAD de 134 mm. Esse valor relativamente alto se comparado aos demais foi obtido devido a consideração de 100% da CAD até 110cm de profundidade, uma vez que Brasil (1973) descreve a presença de “muitas” raízes até essa profundidade. Devido a CAD do solo Alto das Canas também ser similar àquela do solo Vacacaí (135mm), considerou-se esse valor de CAD de 135 mm para os três solos em todas as análises realizadas.

Para os solos que não se dispunha dos coeficientes específicos de equação de van Genuchten (1980), utilizou-se equações de estimativa da θ_{CC} e da θ_{PMP} em função das concentrações de argila, silte e matéria orgânica em cada horizonte e

adotou-se os coeficientes médios para uso geral, determinados para horizontes A, AB e B por Peraza (2003), sendo as funções denominadas de equações básicas (Tabela 3). Os solos incluídos nessa sistemática de cálculo da θ_{CC} , θ_{PMP} e CAD foram as unidades de mapeamento Cerrito, Charrua, Oásis, Pirai, Venda Grande e Vila. Para esses solos adotou-se as equações básicas de Peraza (2003) para θ_{CC} a -10kPa e para θ_{PMP} a -1500kPa de potencial matricial da água no solo nos respectivos horizontes, cujos foram transcritos na tabela 3.

Para o solo Vila (MXo1), em função da falta de determinação da densidade do solo, adotou-se empiricamente um valor de 1.10g cm^{-3} . Assim, considerando-se a presença de raízes até 60 cm profundidade descrita por Brasil (1973), o valor da CAD calculada foi de 103 mm. Por ser um valor similar ao do solo Santa Maria, adotou-se CAD de 104mm para o cálculo do BHS para ambos.

Para o solo Venda Grande (Mto1), a determinação de θ_{CC} a -10kPa e para θ_{PMP} a -1500kPa também foi feita com as equações básicas (Peraza, 2003), a partir das propriedades físicas do solo descritas em Brasil (1973). A CAD foi definida até a profundidade de 75 cm, pela inclusão do horizonte C, uma vez que a presença de raízes nesse horizonte é descrita por BRASIL (1973) como “comum” até essa profundidade. No entanto, por tratar-se do horizonte C e não haver coeficientes físicos definidos para equação de pedotransferência de van Genuchten (1980), utilizou-se os coeficientes da equação básica para o horizonte B de Peraza (2003) e assumiu-se que apenas 50% da CAD calculada para esse horizonte seria útil às plantas nativas, resultando em 95 mm de CAD total até 75 cm de profundidade.

Para determinar a CAD do solo Pirai (TPo2), utilizaram-se os valores de Capacidade de Campo (Θ_{CC}) e Ponto de Murcha Permanente (Θ_{PMP}) determinados com as equações básicas de Peraza (2003), tomando como base os teores de MO, Silte e Argila e considerando o perfil até 65 cm de profundidade conforme por Brasil (1973). Sob condições naturais predomina a vegetação de gramíneas e raízes apresentam-se como “poucas” no horizonte A até 28cm de profundidade. No horizonte B até 45cm são descritas como “comuns” e de 45 a 65 cm de profundidade as raízes apresentam-se como “raras”. A CAD obtida até essa profundidade foi de 118,5mm, adotando-se o valor de 120mm, tal como para o solo Oásis, para todas as análises. No solo Oásis (PVAa1) a determinação da θ_{CC} e da θ_{PMP} do solo seguiu a tendência das demais, pois para a profundidade de até 25cm na descrição da presença de raízes feita por Brasil (1973) estas aparecem como “abundantes”. Por

não haver definição dos coeficientes de equações de pedotransferência para esse solo, adotou-se as equações básicas de Peraza (2003) para determinar θ_{CC} a um potencial matricial de -10 kPa e θ_{PMP} a -1500 KPa, adotando-se um valor empírico de densidade do solo de 1.10 g cm^{-3} . Dessa forma, considerando a presença de “muitas” raízes até 40 cm profundidade e “poucas” raízes (Brasil, 1973) no horizonte B entre 40 e 65cm de profundidade (eficiência de 50% da CAD), a CAD calculada até essa profundidade e adotada em todos os cálculos e análises foi de 120mm.

Na determinação dos valores de Capacidade de Campo (Θ_{CC}) e Ponto de Murcha Permanente (Θ_{PMP}) para o solo Cerrito (LVd1) foram utilizadas as equações básicas de Peraza (2003) nas quais, arg, silte e Mos são os percentuais das frações de argila, silte e matéria orgânica do solo nos respectivos horizontes (Tabelas 2 e 3). Como resultado obteve-se uma CAD total de 215mm até a profundidade de 136cm no horizonte B, no qual as raízes ainda eram “comuns”.

Para o solo Charrua (RLe1) a CAD foi determinada até 60 cm de profundidade, considerando-se como condição de contorno no cálculo que: (a) de 0 a 20 cm de profundidade, 20 % do volume do solo é ocupado por pedras e cascalhos; (b) de 20 a 60 cm de profundidade, cerca de 60% do volume é representado por pedras e cascalhos e a concentração de raízes é “pouca” (BRASIL, 1973), sendo que dessa combinação (50% dos 40% úteis do volume total) resultou apenas 20% de efetividade no armazenamento de água. Em função dessas duas condições de contorno, o valor da CAD calculada para o solo Charrua e utilizada no cálculo do BHS foi de 40mm.

3.4. CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico (BH) do solo foi calculado para três diferentes situações decorrentes do período abrangido pelo balanço e dos métodos de cálculo da ETP.

(a) cálculo do BH diário, utilizando a evapotranspiração diária calculada pelo método de Penman-Monteith (ou Penman) e os valores diários da precipitação medida entre as 21h do dia anterior e às 21h do dia;

(b) cálculo do BH mensal, utilizando a soma dos valores diários da evapotranspiração calculada pelo método de Penman-Monteith (ou Penman) acumulada no mês e a precipitação mensal;

(c) cálculo do BH mensal, utilizando a evapotranspiração mensal calculada pelo método de Thornthwaite e os valores mensais de precipitação. O cálculo do BH foi realizado de forma seriada (BHS) para todo o banco de 36 anos de dados.

Através do cálculo do BHS foram obtidos os valores de deficiência hídrica, diária ou mensal, conforme o método de cálculo do BH. Para analisar a variação da deficiência hídrica em relação à época do ano, os valores diários de deficiência hídrica foram somados, obtendo-se o valor da deficiência hídrica total (DHT) acumulada apenas por quinquídio, por decêndio e por mês, considerando-se os valores de deficiência diária que ocorreram somente durante o período em questão. Também foram obtidas as deficiências máximas acumuladas por quinquídio, por decêndio e por mês, sendo que nesse caso a deficiência máxima acumulada (DHM) foi obtida pela soma dos valores diários de deficiência a partir do início da ocorrência do período de deficiência, mesmo que este iniciava em qualquer data anterior ao quinquídio, decêndio ou mês considerado.

3.5 DETERMINAÇÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE CERTOS NÍVEIS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Os valores de deficiência hídrica máxima (DHM) e de deficiência hídrica total (DHT), obtidos para cada quinquídio, decêndio ou mês, foram submetidos à análise de distribuição de probabilidade e teste para qualidade de ajustamento das funções, para verificar qual a distribuição de frequência que melhor relaciona a variação da probabilidade com o nível ou intensidade de ocorrência de deficiência hídrica em cada período considerado. Para alguns períodos foram necessárias transformações (raiz quadrada e raiz cúbica) nos dados de deficiência, para que fosse possível ajustar uma função que descrevesse a distribuição desses dados.

Em uma primeira análise, feita visualmente, através da plotagem da distribuição de dados, escolheram-se as funções que poderiam apresentar ajustes aos dados. Após isso, foram testados os ajustes das funções de distribuições de frequência, Gama, Beta, Log-normal, Exponencial e Normal conforme preconizam

CAMPOS (1979), ASSIS et al. (1996) E CATALUNHA et al. (2002). Dessas, as mais utilizadas no trabalho foram as seguintes:

a) Distribuição exponencial: é geralmente aplicada a dados com forte assimetria, que graficamente se assemelha a forma da letra “J ” invertida. Sua função densidade de probabilidade [F(x)] é descrita por:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & ; x > 0 \\ 0 & ; x < 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$F(x) = \int_0^{\infty} f(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (11)$$

sendo o parâmetro da distribuição (λ) estimado pelo inverso da média.

b) Distribuição gama: é utilizada com freqüência na estimação da probabilidade de ocorrência da precipitação. Se x for uma variável aleatória contínua, tal que ($0 < x < \infty$), com distribuição gama de parâmetros $\alpha > 0$ e $\beta > 0$, então a sua função densidade de probabilidade é definida como:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{para } 0 < x < \infty \quad (12)$$

em que F(x) é a probabilidade de ocorrer um valor menor ou igual a x; $\Gamma(\alpha)$ a função gama do parâmetro alfa; α o parâmetro de forma da variável aleatória x; β o parâmetro de escala da variável aleatória x; e a base do logaritmo neperiano (2,718281828...).

Estimou-se os parâmetros da distribuição gama pelo método de máxima verossimilhança. Nela, para satisfazer a condição $\alpha > 0$ (por definição) e após algumas considerações matemáticas na equação original (Equação 13), a solução que interessava foi dada por:

$$\hat{\alpha} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4(\ln(\bar{x}) - x_g) / 3}}{4(\ln(\bar{x}) - x_g)} \quad (13)$$

sendo o estimador do parâmetro β obtido por

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (14)$$

\bar{x} a média aritmética e x_g a média geométrica das observações.

c) Distribuição log-normal: com essa distribuição se assume que os logaritmos dos valores da variável aleatória x são normalmente distribuídos. A função densidade da distribuição log-normal a dois parâmetros e a três parâmetros são representadas pela equação:

$$f(x) = \frac{1}{(x-a)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(x-a)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right) \quad (15)$$

em que $f(x)$ é a função densidade de probabilidade da variável x ; \exp é a base dos logaritmos neperianos; μ a média dos logaritmos da variável x ; σ o desvio-padrão dos logaritmos da variável x ; e a o menor valor de x na amostra.

c) Distribuição normal: geralmente denominada de curva normal ou de Gauss, é a distribuição de probabilidade contínua mais utilizada, sendo uma distribuição de dois parâmetros. Sua função densidade de probabilidade tem a forma de:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right); \text{ para } -\infty < x < +\infty \quad (16)$$

em que μ é a média e σ o desvio-padrão da variável aleatória deficiência hídrica x .

A probabilidade de que a variável deficiência hídrica x assumisse valores menores ou iguais a x quando ela tinha $N(\mu, \sigma^2)$ distribuição normal com média μ e variância σ^2 , foi estimada por:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (17)$$

Para resolver a integração usou-se a transformação $Z = \frac{x-\mu}{\sigma}$, na qual a variável Z tem distribuição normal com média zero e variância um [$N(0,1)$]. Z é denominada variável reduzida e a Equação 17 pode ser reescrita na forma:

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dz \text{ para } -\infty \leq Z \leq +\infty \quad (18)$$

d) Distribuição Beta: Uma variável aleatória X tem distribuição beta se sua função de densidade é:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{\beta(\alpha, \beta)} \text{ se } 0 < x < 1, \quad (19)$$

caso contrário $f(x) = 0$,

onde $B(\alpha, \beta)$ é a função beta. A distribuição beta pode também ser definida pela função de densidade:

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} \quad \text{se } 0 < x < 1, \quad (20)$$

caso contrário $f(x) = 0$

onde α, β são positivos. A média e a variância são

$$\mu = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (21)$$

$$\sigma^2 = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)} \quad (22)$$

Para $\alpha > 1, \beta > 1$ existe uma única moda em

$$x_{\text{moda}} = \frac{\alpha - 1}{\alpha + \beta - 2} \quad (23)$$

Procedeu-se a determinação dos parâmetros para os valores das variáveis consideradas e para os valores das variáveis transformadas através da raiz quadrada e raiz cúbica, através de software estatístico específico. Após o ajuste, todas as distribuições foram selecionadas através dos testes de Anderson-Darling e Cramér-von Mises (CAMPOS, 1979; D'AGOSTINO & STEPHENS, 1986), bem como de Chi-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov (D'AGOSTINO & STEPHENS, 1986; ASSIS et al., 1996). Como critério inicial selecionou-se as distribuições em que o valor de probabilidade, para as estatísticas calculadas, de pelo menos um dos testes citados foi maior do que o nível de significância de 10%. As demais foram descartadas. No procedimento seguinte, as distribuições foram classificadas de acordo com o resultado dos testes do Chi-Quadrado e de Kolmogorov-Smirnov, sendo enumeradas a partir do maior valor de probabilidade (p) para o menor valor de p . A partir destas duas classificações foi criada uma terceira classificação, que considerava a soma das duas classificações, do teste de Chi-Quadrado e de Kolmogorov-Smirnov, a qual também foi enumerada partindo-se da menor para a maior soma, resultando em uma classificação geral de todas as distribuições selecionadas. Apenas a distribuição que obteve a menor classificação, pela classificação geral, foi selecionada. Quando houve empate pela classificação geral foi selecionada a distribuição que apresentou maior valor de " p " pelo teste de

Kolmogorov-Smirnov. Como exemplo algumas funções selecionadas para os períodos mensais e decendiais estão transcritas no Anexo II.

Os testes de ajuste de distribuição de probabilidade analisados consideram como hipótese nula que não há diferença entre a frequência relativa empírica e a frequência relativa teórica, definida matematicamente.

3.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS COM DOIS MÉTODOS DE CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ESCALA DE BALANÇO HÍDRICO DIÁRIO E MENSAL

A comparação entre os valores de probabilidade de diferentes níveis de deficiência hídrica total mensal obtidos com balanço hídrico em escala diária e em escala mensal foi realizada através da diferença entre seus respectivos valores. Para essa análise a ETP foi calculada em escala diária pelo método de Penman, com os quais realizou-se o BH seqüencial diário acumulando-se após os valores diários de deficiência hídrica no mês. Os valores diários de ETP, calculados pelo método de Penman, foram também acumulados em cada mês e com eles foi realizado o balanço hídrico em escala mensal, sendo os valores mensais de DH também submetidos a funções matemáticas de distribuição e determinadas as probabilidades de ocorrência de $DH > 50\text{mm}$, $DH > 40\text{mm}$, $DH > 20\text{mm}$, $DH > 10\text{mm}$ e $DH > 5\text{mm}$. Desses valores probabilidades foram subtraídos dos valores de probabilidade mensal para os respectivos níveis de DH obtidos com o BH seqüencial diário em cada mês.

Na comparação das probabilidades mensais de DH de diferentes níveis resultantes de BH mensais, os quais foram calculados a partir de valores de ETP calculados pelos métodos de Penman (Penman, 1948) (ETP_P) e de Thornthwaite (ETP_{TH}), conforme Buriol et al. (1980), avaliaram-se as diferenças de probabilidade de ocorrência de DH, obtidos para solos com CAD de 40, 45, 60, 65, 95, 104, 120, 135 e 215mm. Valores positivos de diferença indicam que as probabilidades a partir de balanço hídrico mensal com ETP_P são maiores.

3.7 ESPACIALIZAÇÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM SOLOS DA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

A utilização de técnicas de geoprocessamento, na obtenção de mapas, permite, que se avalie as particularidades de cada variável, ainda durante o processo, como a atualização automática de resultados a partir dos dados; armazenamento de valores contínuos; edição, manipulação digital e flexibilidade das escalas, manipulação digital, metodologia objetiva; parâmetros essenciais para que o resultado obtido seja o mais confiável possível. (VALERIANO et al. 2002).

Com base no mapa de solos do Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2002), foram definidas as unidades de solo, às quais foram associados os níveis de probabilidade de deficiência hídrica para os meses do ano. Essas unidades de mapeamento de solo, com as respectivas CADs (Capacidade de Armazenamento de Água Disponível no Solo), foram utilizadas no Menu do sistema Siter 2.5, em forma de tabela conforme apresentada na Figura 5, para a elaboração dos mapas básicos.

DEFIC	
SOLO	CAD
CHARRUA	40
GUASSUPI	45
CIRÍACO	45
JULIO DE CASTILHOS	60
VENDA GRANDE	95
SANTA MARIA	104
VILA	104
OÁSIS	120
PIRAÍ	120
SÃO GABRIEL	125
SÃO PEDRO	125
CAMBAÍ	135
ALTO DAS CANAS	135
VACACAÍ	135
CERRITO	215

FIGURA 5 - Tabela de unidades de mapeamento de solos da Região Central do Estado do Rio Grande do Sul e respectiva capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) utilizada no Menu (DEFIC) do sistema SITER 2.5, para a geração de mapas.

3.7.1 EDIÇÃO DO MAPA ANALÓGICO – GERAÇÃO DO MAPA DIGITAL

A extração dos dados dos mapas base deu-se através da *scannerização* para digitalização dos mapas temáticos em formato *raster*, que consiste em um processo de conversão de dados analógicos em dados digitais, ou seja, transportar para o computador os dados representados num mapa utilizando-se de equipamento e sistemas computacionais capazes de realizar essa operação (RUPERT, 2003).

Com o emprego do software *Spring 4.0* (2000) disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o arquivo *raster* dos solos da região central do estado do Rio Grande do Sul, foi editado, com a identificação e separação das unidades de solo desejadas. Para cada unidade de solo foi atribuído um padrão de cor sólida, para posterior processo de identificação digital e correspondência com os níveis de probabilidade de deficiência hídrica.

A metodologia utilizada no sistema *Spring 4.0* seguiu os seguintes passos:

- a) a imagem dos solos foi scannerizada e convertida no módulo *Impima 4.0* em formato (*.grb), conhecidas como *Grib* para posterior georreferenciamento;
- b) criação de um *Banco de Dados*, ou seja um diretório onde foram armazenados os dados; posteriormente, criou-se um *Projeto*, constituído por um subdiretório dentro do banco de dados ativo, onde foram informados os parâmetros cartográficos usados no projeto, como Sistemas de Coordenadas, Modelo da Terra e as coordenadas do retângulo envolvente da área de estudo;
- c) criação de uma *Categoria* associada à um Modelo de Dados denominado Imagem, com os canais Vermelho (R), Verde (G), e Azul (B);
- d) acessando o Menu Arquivo – opção Registro foi efetuado o processo de georreferência da imagem convertida anteriormente em três canais de cores no módulo *Impima*; nesse processo foram determinados 20 pontos de controle, de coordenadas geográficas previamente conhecidas e determinadas sobre a imagem, informando-se todos os pontos de controle, através da opção *Selecionar* verificando-se um erro dos pontos de controle com valor igual 20m, correspondente ao deslocamento do pixel;
- e) acessando o Menu Arquivo - Importar Arquivos *Grib* foi selecionada a imagem a ser importada na categoria anteriormente criada; nessa etapa, criou-se um Plano de Informação (PI) para cada canal de cor da imagem; estes foram listados no Painel

de Controle, sendo posteriormente associados aos respectivos canais de cores e visualizados na tela do *Spring 4.0*;

f) Para a digitalização dos polígonos correspondentes aos diferentes tipos de solo da área de estudo, em “Modelo de Dados” foi criada uma nova Categoria, denominada Polígonos, sendo o modelo dessa categoria definido como temático e em “Classes Temáticas” foram criadas classes denominadas Classes de Solos as quais os vetores foram associados; no Menu Editar - Plano de Informação foi criado um novo PI para a digitalização das informações vetoriais e através da Edição Topológica acessada no Menu Editar – Vetorial, pela opção Criar Linha Fechada, foram criados os polígonos correspondentes aos diferentes tipos ou unidades de mapeamento de solo; após digitalizados, os polígonos foram associados às Classes Temáticas (tipos de solo) criadas anteriormente;

g) através do acesso ao Modelo de Dados, na opção Visual das Classes Temáticas, foram selecionadas as cores correspondentes a cada classe de solo e, no Menu Temático – Medida de Classes, selecionou-se a opção Mapa Vetorial, obtendo-se a área (ha) de cada unidade de solo da área de estudo;

h) com o mapa das manchas de solo já digitalizadas foi possível realizar o cruzamento desse mapa com o mapa representado pelas áreas dos municípios correspondentes. Esse cruzamento foi efetuado através da programação algébrica LEGAL, própria do aplicativo *Spring 4.0*; com esse cruzamento obteve-se as áreas totais representadas pelos tipos de solos em cada município analisado;

i) geração de Carta no Módulo *Scarta 4.0* e geração de arquivo *.ipl: neste módulo, através da ativação do projeto criado anteriormente no *Spring 4.0*, foram visualizadas as classes temáticas correspondentes aos diferentes tipos de solo, sendo adicionados então ao mapa final, parâmetros como escala, grade de coordenadas, legenda; após gerou-se um arquivo *.ipl para entrada no aplicativo *Iplot 4.0*;

j) no módulo *Iplot 4.0* foi feita a conversão para o formato *.ps. Este arquivo *.ps foi importado no aplicativo *Corel Draw 11.0* para que fosse feita a edição final do mapa.

3.7.2 ESTRUTURAÇÃO DE BANCO DE DADOS DE ATRIBUTOS

O Mapa de Solos do RS, é um documento cartográfico analógico em escala 1:750.000, e para transformá-lo para o meio digital, utilizou-se de um sistema ótico de varredura (“*scanner*”), realizando esta operação na área desejada, gerando-se assim um arquivo “*raster*” (imagem digital) de formato bitmap (.bmp). Esse procedimento de conversão de mapas analógicos em digitais é explanado em SILVA (1999).

A partir dos dados de probabilidades mensais de deficiências hídricas, para os diferentes solos da região central e utilizando o software SITER 2.5, estruturou-se uma tabela de banco de dados relacional, com a seguinte modelagem:

Campo.....	Descrição
Solo	Nome da unidade de solo
CAD	CAD correspondente a unidade de solo
P5_Jan.....P5_Dez ..	Probabilidade de deficiência hídrica de 5 mm
P10_Jan.....P10_Dez	Probabilidade de deficiência hídrica de 10 mm
P20_Jan.....P20_Dez	Probabilidade de deficiência hídrica de 20 mm
P40_Jan.....P40_Dez	Probabilidade de deficiência hídrica de 40 mm
COR	Cor sólida de visualização da unidade na imagem digital.

Essa estrutura foi utilizada tanto para deficiências em períodos mensais, quanto para deficiências em períodos decendiais e pode ser utilizada também para outros intervalos de tempo como, períodos quinquidiais, semanais e diários.

Esse banco de dados de padrão Microsoft Access, denominado de DEFIC.MDB permite o armazenamento dos dados mensais de probabilidade para os diferentes níveis de deficiência hídrica em cada CAD considerada.

3.7.3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ESPACIALIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DOS NÍVEIS MENSIS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA.

A partir da geração da imagem digital dos solos da região central do Rio Grande do Sul, e a modelagem e estruturação de um Banco de Dados relacional, que continha as informações de probabilidade de deficiência hídrica destes solos, nos diferentes meses do ano, procedeu-se o desenvolvimento de um sistema computacional, que possibilitasse a visualização diferencial por gradiente de cores, das probabilidades de ocorrência de deficiência hídrica, nos solos da região em um determinado mês considerado.

Utilizando-se técnicas de engenharia de software, com o emprego de uma linguagem de programação voltada a objetos (Visual Basic), foi desenvolvido este sistema, que permite a “linkagem” entre o registro no banco de dados e a imagem digital.

Este sistema foi construído com as seguintes aplicações:

- Visualização das unidades de solo da região central do Rio Grande do Sul, com cores específicas, para cada unidade.
- Navegação do “mouse” sobre a imagem digital, identificando a unidade de solo e apresentando uma tabela de probabilidade de deficiência hídrica para os níveis de 5mm, 10mm, 20mm e 40mm, nos meses de janeiro a dezembro.
- Função de Atribuição, que consiste em selecionar um nível de deficiência (5, 10, 20, 40mm) para um determinado mês (janeiro a dezembro), recuperar os correspondentes valores de probabilidade para cada solo/CAD e atribuir aos mesmos um gradiente de cores, que tem como objetivo substituir a cor original do solo na imagem digital, gerando assim uma nova imagem digital;
- Funções de Salvar e Imprimir a nova imagem digital, com a qual a imagem pode ser salva em formato bitmap (.bmp), ou impressa.

Seguindo essa metodologia foram elaborados apenas alguns mapas para fins de ilustração. Por se tratarem de mapas digitais os mesmos serão publicados em separado em meio eletrônico.