

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CERRO LARGO  
CURSO DE AGROMOMIA**

**TALIA DA ROSA JACQUES**

**RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM DIFERENTES SOLOS DO RIO  
GRANDE DO SUL**

**CERRO LARGO  
2023**

**TALIA DA ROSA JACQUES**

**RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM DIFERENTES SOLOS DO RIO  
GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

**CERRO LARGO**

**2023**

**Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Jacques, Talia da Rosa  
RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM DIFERENTES  
SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL / Talia da Rosa Jacques. --  
2023.  
44 f.:il.

Orientador: Doutor Douglas Rodrigo Kaiser

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo,RS, 2023.

1. Água no solo. 2. Curva de retenção. 3. Solos do  
Rio Grande do Sul. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient.  
II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

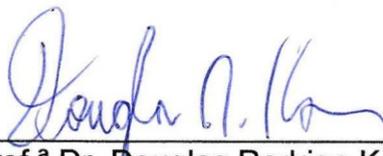
**TALIA DA ROSA JACQUES**

**RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM DIFERENTES SOLOS DO RIO  
GRANDE DO SUL**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Agronomia da Universidade Federal da  
Fronteira Sul (UFFS) como requisito para obtenção  
do título de Engenheira Agrônoma.

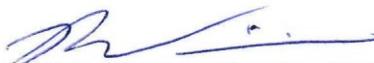
Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 01/12/2023.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof.<sup>a</sup> Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS  
Orientador



---

Prof. Dr.<sup>a</sup> Renan Costa Beber Vieira – UFFS  
Avaliador



---

Dr. Micael Stolben Malmann – Faculdade Santo Ângelo – Tec.  
Avaliador

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente quero agradecer a Deus por ter me dado saúde, força e sabedoria para concluir este sonho, que não somente meu e sim de toda minha família.

Agradeço a minha família por todo incentivo, apoio, amor, paciência, cuidado, que mesmo distante não mediram esforços para me ajudar a me manter firme em busca da concretização deste sonho. Em especial quero agradecer a minha mãe, Adriana, minha irmã Taisa, meu noivo Vinicius e meu filho Carlos Henrique, vocês são a minha motivação diária, obrigada por todo apoio, atenção e incentivo.

Agradeço a Universidade Federal da Fronteira Sul pela oportunidade de realizar o curso de Agronomia na instituição.

Agradeço aos professores e colegas do curso de Agronomia, por todo apoio, cumplicidade, tardes e noites de estudos, momentos de descontração proporcionados.

Por último, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Douglas Rodrigo Kaiser, por compartilhar este projeto comigo, por toda ajuda, apoio, incentivo, dedicação e zelo ao longo de todo o desenvolvimento do experimento, para que o mesmo ocorresse da melhor forma.

## RESUMO

O solo é um grande armazenador de água para as plantas, e controla importantes etapas do ciclo hidrológico. A capacidade do solo de reter e armazenar água depende da textura, estrutura e profundidade do solo. O objetivo deste experimento foi determinar a curva de retenção de água (CRA) para diferentes solos do RS com diferentes classes texturais, calcular a quantidade de água total armazenada e faixas de água disponível para o horizonte superficial, determinar a capacidade de campo, bem como realizar a comparação dos valores de água real com os resultados das metodologias adotadas pelo ZARC. O experimento foi desenvolvido no laboratório 102 de Pedologia e física do solo da UFFS, Campus Cerro Largo-RS. Foram utilizadas amostras do horizonte A de 12 solos do RS. Os solos foram secos ao ar, macerados e peneirados em malha de 2 mm. Com essas amostras foi realizada a análise granulométrica, pelo método da pipeta. Para fazer a CRA, amostras de solo foram colocadas em anéis de 100 cm<sup>3</sup> de volume e saturadas com água. Foram feitas 4 repetições para cada solo. Após a saturação, as amostras submetidas às tensões de 6 e 10 kPa na mesa de tensão e -33, -100, -500, -1000 e -1500 kPa na Câmara de Richards. Com os dados da CRA, foram calculadas as faixas de disponibilidade de água no solo, a densidade e porosidade do solo. Também foram feitas análises de correlação de Pearson entre a retenção de água e as demais propriedades físicas do solo. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de significância. Os dados de retenção de água medidos também foram comparados com os dados estimados pela metodologia usada atualmente pelo ZARC. Apenas duas unidades de mapeamento obtiveram resultados iguais de Água Disponível (AD), medida em laboratório e de AD estimada conforme prevê o Zarc, nas demais unidades de mapeamento obteve-se uma diferença significativa. O zoneamento agrícola não leva em consideração a densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, e estes influenciam na retenção de água no solo. O método de AD do Zarc necessita ser aperfeiçoado, pois a AD no solo não é consequência somente da composição granulométrica.

Palavras-chave: Água; Ciclo Hidrológico; Horizonte A

## ABSTRACT

Soil is a great water store for plants, and controls important stages of the hydrological cycle. The soil's ability to retain and store water depends on the texture, structure and depth of the soil, The objective of this experiment was to determine the water retention curve (CRA) for different RS soils with different textural classes, calculate the amount of total water stored and ranges of water available for the surface horizon, determine the field capacity, as well as carry out the comparison of real results of the methodologies adopted by ZARC. The experiment was developed in laboratory 102 of pedology and soil physics at UFFS campus Cerro Largo- RS. Samples of the A horizon of 12 soils from RS were used. The soils were air-dried, macerated and sieved through a 2 mm mesh. Particle size analysis was carried out with these samples using the pipette method. To carry out the CRA soil samples were placed in rings of 100 cm<sup>3</sup> in volume and saturated with water. 4 repetitions were made for each soil. After saturation, the samples were subjected to stresses of 6 and -33, -100, -500, - 100 and -1500 kPa in the Richards chamber. Using CRA data, soil water availability ranges soil density and porosity, and soil density and porosity were calculated. Pearson correlation analyzes were also carried out between water retention and other physical properties of the soil. The data obtained were subjected to analysis of variance and the means compared using the Scott Knott test at 5 % significance. The measured water retention data was also compared with the data estimated by the methodology currently used by ZARC. Only two mapping units obtained the same results as AD measured in the laboratory and AD estimated as predicted by Zarc, in the other mapping units a significant difference was obtained. Agricultural zoning does not take into account soil density total porosity, macro and microporosity, and these influence wter retention in the soil. The Zarc AD method needs to be improved, as AD in the soil is not a consequence only of the granulometric composition.

Keywords: Soil; Hydrological Cycle; Horizon A.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Preparação do solo.....	26
Figura 2- Preparação dos anéis volumétricos.....	27
Figura 3- Câmara de Richards.....	27
Figura 4- desenvolvimento da análise granulométrica.....	28
Figura 5- Limites e faixas de disponibilidade de água no solo.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frações granulométricas definidas pelos sistemas de Classificação Norte Americano (USDA), Internacional (ISSS) e da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). .....	22
Tabela 2- Profundidade efetiva do solo. ....	23
Tabela 3- Classes de profundidade do solo. ....	24
Tabela 4- Classificação da água disponível. ....	28
Tabela 5- Propriedades físicas dos solos estudados. ....	30
Tabela 6- Retenção de água dos solos em diferentes tensões. ....	31
Tabela 7- Correlação de Pearson entre atributos físicos do solo e a retenção de água em diferentes potenciais e as faixas de água disponível. ....	33
Tabela 8- Limites de disponibilidade de água no solo, capacidade e classes de água disponível em função do tipo de solo e granulometria. ....	35
Tabela 9-Faixas de disponibilidade de água nos primeiros 40 cm da camada superficial do solo. ....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>UFFS</b>	Universidade Federal da Fronteira Sul
<b>UES</b>	Unidades Experimentais
<b>ZARC</b>	Zoneamento de risco climático
<b>CC</b>	Capacidade de campo
<b>CRA</b>	Curva de retenção de água no solo
<b>FDr</b>	Água facilmente drenada
<b>AFD</b>	Água facilmente disponível
<b>ADest</b>	Água disponível sob estresse
<b>AND</b>	Água indisponível
<b>CAD</b>	Capacidade de água disponível

## LISTA DE SÍMBOLOS

- + Mais
- Menos
- \* Multiplicação
- > Maior que
- < Menor que

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS GERAIS .....	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1	RETENÇÃO, ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO.....	15
2.2	DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE ÁGUA RETIDA NO SOLO .....	16
2.3	MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO.....	17
2.4	DEMANDA DE ÁGUA PELAS CULTURAS AGRÍCOLAS.....	19
2.5	ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO .....	19
2.6	SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL.....	21
2.7	TEXTURA DO SOLO .....	22
2.8	ESTRUTURA DO SOLO .....	23
2.9	PROFUNDIDADE EFETIVA E PROFUNDIDADE DO SOLO.....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.1	DESCRIÇÃO AMBIENTAL DO LOCAL DO EXPERIMENTO.....	25
3.2	IMPLANTAÇÃO E DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO .....	26
3.3	FAIXAS DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA.....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é o grande armazenador de água para as plantas e controla importantes etapas do ciclo hidrológico. A quantidade de água que cada solo consegue reter e armazenar depende da sua textura, estrutura e profundidade. A quantidade de água disponível também vai depender da profundidade explorada pelas raízes das plantas.

O Rio Grande do Sul sofre com frequentes estiagens que ocasionam perdas drásticas na produção das culturas agrícolas. A estiagem e a seca tiveram registros em quase todos os anos entre 2003 e 2021. Foi possível observar que a grande maioria dos municípios ao longo dos 18 anos teve pelo menos uma ocorrência de estiagem e seca (ATLAS SOCIOECONOMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2022).

As baixas precipitações nas últimas safras ocasionadas pelo fenômeno La Niña que proporciona o resfriamento das águas do pacífico, causaram uma frustração de safra. Segundo o boletim da Conab da safra 2022/ 2023 a produtividade da cultura da soja foi muito variada, com médias abaixo de 600 kg/ha nas áreas de sequeiro e 1.800 Kg nas áreas irrigadas, e dessa forma teve uma grande demanda na solicitação do Proagro (CONAB, 2023).

O zoneamento agrícola de risco climático de responsabilidade do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento é um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura. O zoneamento permite minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos, através de estudos permitindo a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, em diferentes tipos de solos, bem como ciclos e cultivares.

Para fins de zoneamento agrícola até a safra 22/ 23, estava vigente a instrução normativa SPA/MAPA Nº 2, DE NOVEMBRO DE 2021. Normativa esta que considerava os resultados da análise granulométrica de areia, silte e argila existentes no solo para o enquadramento nos diferentes tipos previstos de zoneamento agrícola. Sendo com base nos teores de areia, silte e argila classificados em tipo 1, 2 e 3 e sem aptidão.

A classificação do solo em apenas três classes, não foi uma estratégia adequada para enquadrar todos os tipos de solo do Brasil para o zoneamento agrícola, e assim, o ministério da agricultura em parceria com a Embrapa desenvolveu uma

nova metodologia Instrução normativa SPA/ MAPA N° 1 DE 21 DE JUNHO DE 2022, onde a classificação dos diferentes tipos de solo é realizada em 6 classes, em função da capacidade do solo de reter água disponível (AD). A estimativa da água disponível (AD) é feita com uma pedofunção, que utiliza os teores de areia, silte e argila nos primeiros 40 cm da camada superficial do solo para estimar a lâmina de água disponível para cada cm de solo (mm/cm).

A utilização da composição granulométrica do solo como único critério para a estimativa da água disponível para as plantas pode subestimar os valores, pois a retenção e disponibilidade também são influenciados pela estrutura do solo, principalmente o conteúdo de água na capacidade de campo. Além disso, as raízes da maioria das culturas agrícolas conseguem crescer a profundidades maiores que 40 cm, em condições de solos bem estruturados e corrigidos quimicamente. Dessa forma, é necessário estudar a relação entre a retenção e disponibilidade de água reais de cada solo, com medidas feitas em laboratório e comparar com as metodologias que estimam a retenção apenas pela granulometria, visando o aperfeiçoamento do ZARC ao longo dos anos.

## 1.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem por determinar a curva de retenção de água para solos do RS com diferentes classes texturais, calcular a quantidade de água total armazenada e disponível para o horizonte superficial.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estimar a retenção e disponibilidade de água para solos de diferentes texturas do Rio Grande do Sul.
- b) Determinar a umidade do solo na capacidade de campo e o ponto de murcha permanente de diferentes solos do Rio Grande do Sul.
- c) Comparar a retenção e disponibilidade de água real com os resultados das metodologias adotadas pelos ZARC.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 RETENÇÃO, ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO

A composição física do solo é complexa e variável no tempo e nas três dimensões do espaço. O solo é composto por três frações físicas, os sólidos, os líquidos e os gases. Os sólidos formam a matriz do solo, o espaço entre os sólidos é chamado de espaço poroso ou poros. Os líquidos ou a solução do solo, consiste em água com sais minerais e substâncias orgânicas envolvidas. A fase gasosa, ou ar do solo possui composição similar à da atmosfera, porém com mais  $\text{CO}_2$  e menos  $\text{O}_2$ , apresentando uma umidade relativa próxima a 100% (LIER, 2020).

A capacidade de armazenamento de água de cada solo é diferente, isso se deve ao material de origem, grau de intemperismo, mineralogia, textura do solo, teor de matéria orgânica, porosidade e profundidade do perfil. A quantidade armazenada varia ao longo do tempo devido ao processo de umedecimento e secagem controlados pela quantidade e frequência das chuvas, pela evapotranspiração e drenagem interna.

A água no solo ocorre por meio do processo de infiltração, sendo variável como tempo. Inicialmente a taxa de infiltração é alta, diminuindo até atingir valor constante. As forças responsáveis pelo fluxo são as gravitacionais e as matriciais, está sendo resultante da interação entre fase sólida, líquida e gasosa. Quando a quantidade de água presente no solo é pequena a força matricial domina o processo e dessa forma a taxa de infiltração é alta. Ao longo do tempo a força diminui e a força gravitacional se torna a responsável pelo movimento principal da água (KAISER *et al.*, 2011).

O processo de infiltração depende da quantidade, tamanho e continuidade do sistema poroso. Alterações na configuração do sistema poroso como a compactação do solo, revolvimento, atividade biológica, dispersão, tráfego frequente em condições de alta umidade, altera a capacidade de infiltração do solo (KAISER *et al.*, 2011). O manejo adotado na área influencia, uma vez que a utilização de plantas de cobertura, rotação e diversificação de culturas proporciona uma diversidade de sistemas radiculares que criam poros e biócoros para que a água infiltre.

Devido ao solo ser um sistema aberto, a água pode passar para a atmosfera, e para os horizontes mais profundos, fora da zona radicular das culturas. Os poros são responsáveis pelo movimento de água no estado líquido, e também serve para o

armazenamento de água sendo possível garantir o desenvolvimento das plantas. Alterações na organização dos poros têm reflexo no comportamento da água no solo e no crescimento radicular (KAISER *et al.*, 2011).

A disponibilidade de água no solo pode ser aumentada por meio das práticas que diminuem as perdas da água para a atmosfera. A qualidade estrutural do solo tem grande influência na disponibilidade de água, devido determinar o volume de solo exportado pelo sistema radicular, e dessa forma determinar a quantidade de água que pode ser acessada pela planta ali presente. A compactação do solo diminui as trocas gasosas no solo, a disponibilidade de oxigênio e aumenta a concentração de gás carbônico prejudicando o sistema radicular das plantas, aumentando a resistência mecânica, diminuindo o crescimento radicular (KAISER *et al.*, 2011).

A água disponível no solo para as plantas (AD) é definida como o teor de água no solo entre a capacidade de campo e o limite inferior chamado de ponto de murcha permanente. A capacidade de água disponível (CAD) é calculada pela AD do solo e a profundidade efetiva do sistema radicular. A CAD representa o volume de água que pode ser retido pelo solo e absorvido pelas raízes (TEIXEIRA, 2021).

## 2.2 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE ÁGUA RETIDA NO SOLO

Para realizar a determinação do teor de água no solo se tem diferentes métodos que podem ser utilizados, sendo divididos basicamente em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são considerados destrutivos, devido a necessidade de coletar as amostras de solo, além de ser mais demorado, já os métodos indiretos possibilitam a determinação com sensores e dessa forma a alteração sofrida pelo solo é mínima, sendo também um método mais rápido.

Quando se fala em armazenamento de água no solo o que de fato interessa é o volume de água que terá disponível para as plantas em determinado volume de solo. Com isso se estabelece uma relação entre o volume de água da área e a profundidade do solo e dessa forma é possível determinar a lâmina de água em milímetros (KLEIN, 2012).

O volume de água armazenada depende do volume de solo disponível, dessa forma quanto menor o volume de solo menor o volume de água que será armazenada. O método mais utilizado para calcular a lâmina de água armazenada no perfil o método que mais se destaca é o da regra do trapézio e a regra de Simpson (RAUBER, 2019).

### 2.3 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A retenção de água no solo, é influenciada por diversos fatores, pois o manejo altera os componentes do solo, como a estrutura devido ao tráfego agrícola e ao pisoteio animal, características estruturais podem comprometer a infiltração e o armazenamento da água no solo.

A curva de retenção de água no solo (CRA), é um atributo físico representado por gráfico, expressa a relação entre o potencial matricial e o conteúdo de umidade do solo à base de massa ou volume. O CRA é um importante indicador de qualidade física do solo, este por sua vez está relacionado ao desenvolvimento das plantas. O CRA mostra o aspecto dinâmico da água no solo, permitindo calcular a quantidade de água que um solo pode reter dentro de determinados limites de potencial matricial, permitindo interpretar as características de armazenamento de água no solo (DOS SANTOS NASCIMENTO,2010).

O solo saturado em equilíbrio com a água e sob pressão atmosférica, ao ser submetido a uma força de sucção, parte de sua água será drenada e parte dos poros ocupados pelo ar. Com aumento gradual da sucção, os poros menores perderão água e ocorrerá entrada de mais ar, isso diminuirá a espessura da película de água envolvente das partículas e aumentará a força de adsorção, exigindo cada vez 4 maiores sucções para retirar a água (DOS SANTOS NASCIMENTO,2010).

Pode-se obter a CRA de duas formas: a campo ou em laboratório, utilizando diferentes metodologias, como a mesa de tensão ou câmara de Richards e o psicrômetro. A campo se realiza a instalação de tensiômetro, em laboratório as análises são mais rápidas devido realizar muitas amostras simultaneamente. A câmara de pressão de Richards é a metodologia mais utilizada, esse equipamento é uma câmara de pressão hermeticamente fechada, com placa porosa internamente

que possibilita o fluxo de água e não de ar, por vazios muito pequenos (DOS SANTOS NASCIMENTO,2010).

O elevado valor para se obter uma câmara de Richards, a necessidade de um complexo de sistema pneumático, a fragilidade das placas porosas bem como o elevado valor para adquirir outra em caso de quebra, são as principais limitações dessa metodologia. A extração da água da câmara de Richards se dá por meio da diferença de potencial entre a placa porosa e a amostra de solo, o fluxo de água é reduzido quando o potencial matricial se torna mais negativo, isso faz ser gasto um período muito longo para atingir o equilíbrio da unidade na amostra (NASCIMENTO, 2009).

A mesa de tensão é mais utilizada para tensões mais baixas, esse método utiliza uma camada de material poroso conectado a um tubo flexível na forma de "U" cheio de água, que serve como manômetro de água, indicada a tensão aplicada pela diferença de nível da água. O material poroso pode ser composto por papel mata borrão, asbestos, esferas de vidro, ou formando uma camada porosa com camadas de areia fina ou silte de forma que a capilaridade do material sustente uma coluna. A maior deficiência desse método é o limite da tensão aplicada capaz de sustentar a coluna de água sem a entrada de ar. Muitos autores utilizam valores de umidade para a capacidade de campo extraídos de curvas de retenção na tensão equivalente a 100 hpa, independente da textura do solo (REINERT, REICHERT 2006).

A capacidade de campo, refere-se às condições hídricas em que a drenagem é considerada desprezível. Em outras palavras, a capacidade de campo refere-se à quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que ocorre cerca de dois a três dias após uma chuva ou irrigação. O conteúdo de CC foi desenvolvido para o manejo de irrigação, mas pode ser utilizado para outras aplicações, sendo comum sua utilização como limite superior da água disponível para as plantas ou até mesmo como teor de água máximo em modelos de compartilhamento que considerem qualquer excesso acima da capacidade de campo (LIER,2020).

A umidade do solo a -1,0 m de tensão é uma boa estimativa da capacidade de campo para solos de textura arenosa melhor que o valor estimado pela microporosidade, determinada como sendo semelhante à água retida à tensão de 60 hPa (REINERT, REICHERT 2006).

## 2.4 DEMANDA DE ÁGUA PELAS CULTURAS AGRÍCOLAS

As culturas agrícolas sofrem influência da disponibilidade de água para o seu desenvolvimento, sendo importante ter conhecimento do solo que ela será implantada, bem como do ciclo da cultura e assim podendo consultar no Zarc a melhor janela para a implantação, e dessa forma ter os riscos de stress reduzidos. No estágio, reprodutivo, é onde as plantas são mais suscetíveis a estresse.

A cultura da soja ocupa a maior área plantada do Rio grande do Sul, apresentando variabilidade na produtividade a cada ano devido as chuvas desuniformes, sendo o regime hídrico o responsável pela limitação de rendimento da cultura. Em anos de fortes estiagens o consumo relativo de água foi menor que 0,20, acarretando na redução de até 70% do rendimento de grãos da cultura da soja. Para o Rio grande do Sul o maior risco de deficiência hídrica é para a semeadura realizada em outubro e novembro, sendo a semeadura de dezembro a de menor risco para a cultura (MATZENAUER, 2003).

A cultura do milho sofre grande influência do regime hídrico, principalmente a baixa disponibilidade que ocorre de dezembro a fevereiro, sendo o responsável pela quebra de safra. Quando se cultiva milho de ciclo médio para produção de grão seco, a cultura consome de 400 a 700 mm de água ao longo do seu ciclo, sendo o período de maior exigência na fase do emborrachamento (DE ALBUQUERQUE, 2002).

## 2.5 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO

A agricultura tem enorme importância na economia Brasileira, sendo um país de grande diversidade ambiental, com diferentes classes de solo e clima. A diversidade faz com não possa ser implantada uma mesma cultura com um determinado ciclo em um mesmo momento em todos os municípios do Rio Grande do Sul, pois ficaria suscetível às condições adversas como déficit hídrico, geada, granizo, e chuvas excessivas na colheita.

O zoneamento agrícola de risco climático (Zarc), coordenado pelo ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (Mapa) é um instrumento agrícola e gestão de riscos na agropecuária. Essa ferramenta visa indicar as datas de plantio para cada

município, levando em consideração o ciclo da cultura, tipo de solo de forma a minimizar as chances de adversidades climáticas. No Brasil o programa é a garantia da atividade agropecuária (Proagro), administrado pelo Banco Central do Brasil (MITIDIERI, 2008).

O Proagro é uma garantia da atividade agropecuária, que tem por objetivo exonerar o beneficiário em operações de crédito rural de custeio em caso de perdas das receitas em consequências de fenômenos naturais, bem como indenizar os recursos próprios do beneficiário, utilizado em custeio rural (MITIDIERI, 2008).

Levando em consideração a variabilidade dos tipos de solos encontrados no território Brasileiro, a instrução normativa N° 2 de novembro de 2021, até a safra 22/23, a coordenação geral de risco agropecuário e representantes da Embrapa / solos, visando adequar o entendimento dos laboratórios decidiu agrupar em três categorias a quantidade de areia silte e argila. Os solos foram agrupados em tipo: solos de textura arenosa, (Tipo 1); solos de textura média (Tipo 2); e solos de textura argilosa (Tipo 3) e solos sem aptidão com menos de dez por cento de argila.

Segundo a instrução normativa nº 2, de 9 de novembro de 2021, os solos do tipo 1 apresentam teor de mínimo de 10%, e menor ou igual a 15%, os solos do tipo 2 apresentam teor de argila maior de 15% e menor que 35% e a diferença do percentual de areia e o percentual de argila menor de 50, enquanto o solo do tipo 3 apresenta teor de argila maior ou igual a 35%.

Em estudo, surgiu a necessidade de mudança, sendo desenvolvida então a instrução normativa nº1, de 21 de junho de 2022, que estabelece o método para a classificação do solo em função da sua água disponível (AD) no zoneamento de risco climático. Os valores de água disponíveis serão determinados a partir da composição granulométrica do solo com base nos teores percentuais de areia total, de silte e de argila medidos na camada de 0 a 40 cm de profundidade. Os solos foram agrupados em AD1 (I), AD2 (II), AD3 (III), AD4(IV), AD5(V), e AD6(VI), com base na equação:

$$AD = \{[1 + (0,3591*((-0,02128887*AT) + (-0,01005814*SIL) + (-0,01901894*ARG) + (0,0001171219*AT*SIL) + (0,0002073924*AT*ARG) + (0,00006118707*SIL*ARG) + (-0,000006373789*AT*SIL*ARG)))] ^2,78474\} * 10$$

Segundo a instrução normativa nº1 de 21 de junho de 2022, os solos do tipo I- AD1: para valores de AD de 0,34 a 0,46 mm/ cm, solos tipo II- AD2: para valores de AD de 0,47 a 0,61 mm/cm, solo tipo III- AD3: para valores de AD de 0,62 a 0,80 mm/cm, solo tipo IV-AD4: para valores de AD de 0,81 a 1,06 mm/cm, solo tipo VI-

AD5: para valores de AD de 1,07 a 1,40 mm/cm e solo tipo VI-AD6: para valores maiores de 1,40 mm/cm.

## 2.6 SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL

O solo é um recurso natural lentamente renovável, encontrado em diferentes posições na paisagem, de origem da alteração de rochas e sedimentos pela ação de variações climáticas tais como a intensidade da chuva, variação da temperatura e organismos vivos. No Rio Grande do Sul a geologia diversa proporcionou uma enorme variabilidade de tipos de solos que contribuíram para os diferentes padrões de ocupação das terras bem como do uso agrícola e do desenvolvimento regional (STRECK, et.al., 2018).

Os solos do Rio Grande do Sul podem ser divididos em três grupos, os solos do planalto, onde as limitações são químicas, os solos da campanha e serra sudeste, que apresenta limitação de profundidade, e os solos da depressão central e litoral onde a principal limitação é a drenagem (DE LEMOS, et al., 1973). Segundo o levantamento de reconhecimento dos solos de 1973, o Rio Grande do Sul tem a ocorrência de 12 classes de solos, sendo elas, Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Neossolos e Chernossolos ocupam grande área do estado, e Gleissolos, Luvisolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos, que tem menor ocorrência. Classes de solos essas que diferenciam entre si por meio do seu material de origem, sua cor, espessura do horizonte, estrutura, textura, CTC, teor de matéria orgânica.

Segundo LOPES-ASSAD, 2007, cerca de 62% da área total do estado do Rio Grande do Sul está coberta por solos de média e alta capacidade de atividade agrícola, cerca de 28% das terras não é recomendado a atividade agrícola devido às reservas hídricas muito baixas. Através da CAD é possível definir as áreas propícias ao cultivo agrícola.

## 2.7 TEXTURA DO SOLO

A textura do solo se refere a um conjunto de partículas unitárias, em condições naturais, ou seja, agregadas umas às outras. As partículas possuem tamanhos diferentes, algumas podendo ser vistas a olho nu enquanto outras somente é possível visualizar com a ajuda de lupas, ou microscópios. A determinação do teor de areia, silte e argila é realizada com precisão em laboratório, através da análise granulométrica ou então a campo realizando a descrição morfológica e através do tato. (LEPSCH, 2021).

O tamanho das partículas que compõem uma camada de solo é determinante para muitas de suas propriedades físicas e químicas. A composição granulométrica se refere aos tamanhos das partículas que compõem o solo. As frações areia, silte e argila apresentam tamanhos variáveis em função do sistema de classificação adotado (LIER, 2020). A tabela 1, apresenta a classificação segundo as frações granulométricas e amplitude de tamanho.

Tabela 1 - Frações granulométricas definidas pelos sistemas de Classificação Norte Americano (USDA), Internacional (ISSS) e da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).

Frações	Sistemas		
	USDA	ISSS	SBCS
Areia muito grossa	2-1	-	-
Areia grossa	1 - 0,5	2 - 0,2	2 - 0,2
Areia média	0,5 - 0,25	-	-
Areia fina	0,25 - 0,10	0,2 - 0,02	0,2 - 0,05
Areia muito fina	0,10 - 0,05	-	-
Silte	0,05 - 0,002	0,02 - 0,002	0,05 - 0,002
Argila	<0,002	<0,002	<0,002

Fonte: LIER, 2016.

O armazenamento e disponibilidade de água, são sempre maiores em solos argilosos do que em solos arenosos, variações no teor de matéria orgânica tem pouca influência, sendo menos evidente diferenças na retenção de água, a densidade tem maior importância (BEUTLER, 2002).

## 2.8 ESTRUTURA DO SOLO

A estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas minerais (areia, silte e argila) e orgânicas do solo no espaço. A estrutura está diretamente ligada à fertilidade do solo, e sofre influência do manejo que é submetido (RALISCH, 2017). A estrutura pode ser modificada por meio de práticas agrícolas, podendo ser melhorada ou degradada.

A estrutura do solo serve como suporte à vida animal e vegetal. Um solo mal estruturado apresenta problemas na disponibilidade de água e oxigênio para o desenvolvimento das plantas. A estrutura do solo atua como fator de aeração, e dessa forma garante o fluxo de oxigênio capaz de contrabalançar o excesso de gás carbônico da atmosfera do solo, eliminado pelas raízes e microrganismos (MICHELON, 2010).

O espaço poroso do solo é determinado pela sua textura e estrutura. Solos arenosos apresentam reduzida porosidade total, o movimento da água e do ar é rápido devido ao predomínio de macroporos. Os solos de textura fina têm grande espaço poroso, o movimento dos gases e da água é lento, isso se deve a presença de microporoso. Solos de textura média é comum a ocorrência de agregados porosos, além de elevado teor de matéria orgânica, (MICHELON. 2010).

## 2.9 PROFUNDIDADE EFETIVA E PROFUNDIDADE DO SOLO

Em estudos referentes a solos, consideraram-se dois tipos de profundidades, a profundidade efetiva e a profundidade do solo. A profundidade efetiva refere-se à profundidade máxima que as raízes penetram no solo livremente, sem limitações físicas ou químicas, assim proporcionando às plantas condições para absorção de água e nutrientes e desenvolvimento do sistema radicular, (PEREIRA, GOMES, 2007). A profundidade efetiva está dividida em cinco categorias, (Tabela 2).

Tabela 2- Profundidade efetiva do solo.

Categoria	Profundidade cm
-----------	-----------------

Muito rasa	<25
Rasa	25 a 50
Moderadamente profunda	50 a 100
Profunda	100 a 200
Muito profunda	>200

Fonte: PEREIRA, GOMES (2007).

A profundidade do solo é mais abrangente, o seu limite inferior está definido pelos limites de ação das forças biológicas e climáticas, relacionada com os processos pedogenéticos, segundo a Embrapa (2017) a profundidade do solo está dividida em quatro classes (Tabela 3).

Tabela 3- Classes de profundidade do solo.

Categoria	Profundidade (cm)
Rasa	<50
Pouco profunda	50 a 100 cm
Profunda	100 a 200 cm
Muito profunda	> 200 cm

Fonte: PEREIRA, GOMES (2017).

As duas são importantes devido a influência na capacidade de armazenamento de água no solo, bem como desenvolvimento do sistema radicular e estoque de nutrientes, (PEREIRA; GOMES, 2017).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO AMBIENTAL DO LOCAL DO EXPERIMENTO

O trabalho foi realizado no laboratório 102 de Pedologia e física do solo do bloco três da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo. Onde foram utilizadas 12 amostras de solos, do horizonte A, coletados em beira de estrada, na viagem de levantamento e classificação de solos, (Tabela 4) sendo na sua maioria, sem cultivo agrícola.

Tabela 4 – Unidades de mapeamento, classificação e área ocupada de cada solo no Rio Grande do Sul.

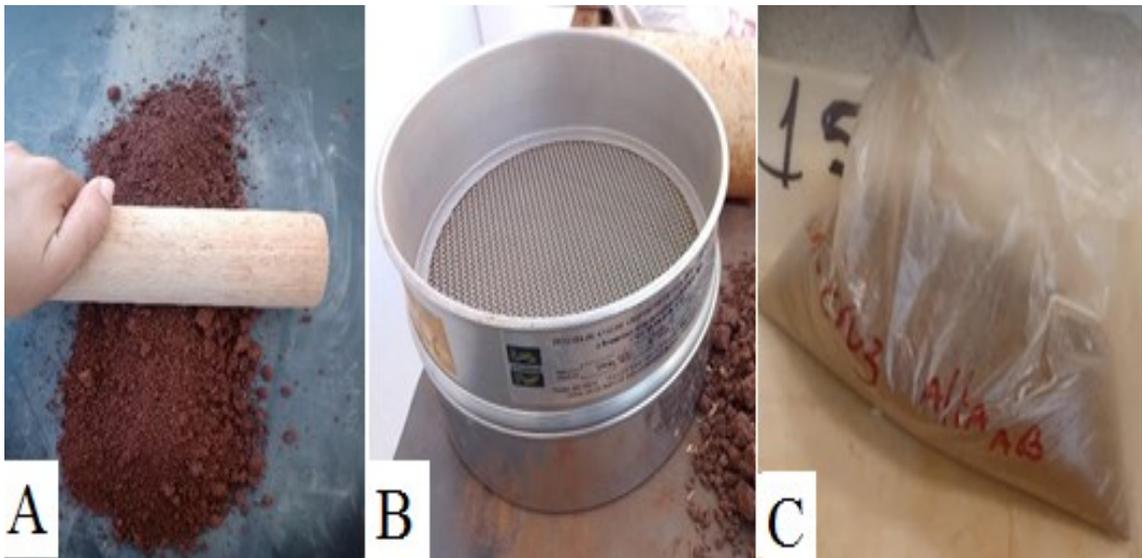
Horizonte	Unidade de Mapeamento	Classificação do Solo	Área Ocupada no RS (há)	% da área ocupada
A	Alto das Canas	Argissolo Vermelho distrófico latossólico	218.000	1,04
A	São Jeronimo	Argissolo Vermelho distrófico típico	134.500	0,5
A	Cruz Alta	Latossolo Vermelho distrofico típico	794.500	3
A	Pirai	Luvissolo Háplico órtico típico	62.000	0,23
A	São Borja	Laterítico Bruno avermelhado distrófico	208.000	0,77
A	São Pedro	Argissolo Vermelho distrófico arenico	667.500	2,48
A	São Gabriel	Planossolo Háplico eutrofico típico	219.500	0,81
A	Vacacaí	Planossolo Háplico eutrofico arênico	163.400	6
A	Santo Ângelo (exp)	Latossolo Vermelho distroférico típico	1.956.00	7,2
A	Santo Ângelo	Latossolo Vermelho distroférico típico	1.956.000	7,2
A	Santa Maria	Argissolo Bruno - acizentado	505.000	1,87
A	Areais	Neossolo Quartzarênico	102.000	0,33

Fonte: Adaptado de (DE LEMOS, R. C. et al, 1972).

### 3.2 IMPLANTAÇÃO E DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no laboratório 102 de Pedologia e física do solo do bloco três da universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo. Inicialmente separou-se os solos em bandejas e posteriormente foi colocado para secar ao ar, após a secagem foi realizado a moagem dos mesmos (figura 1A), passado em peneira de 2 mm (figura 1B), e armazenado em sacos plásticos já identificados (figura 1C).

Figura 1- Preparação do solo.



Fonte: Autora (2023).

Posteriormente foram separados os anéis volumétricos, pesados e anotados sua identificação numérica e seu respectivo peso (Figura 2A), realizado a montagem dos anéis, mais pano e duas borrachas (Figura 2B). Após a pesagem foi realizado o preenchimento de quatro anéis com cada solo, (Figura 2C), anotado as informações, e colocado para saturar um máximo de 40 anéis volumétricos por vez.

Após saturado, os anéis foram encaminhados para a mesa de tensão submetido a tensão de 60 cm (6 kPa) após 72 horas, foi realizada a pesagem das mesmas e submetida a tensão de 1 m (10 kPa), para determinar a macro e microporosidade e a CC, bem como uma nova pesagem.

Figura 2- Preparação dos anéis volumétricos.



Fonte: autora (2023).

Após submetido as duas tensões na mesa de tensão e realizado as pesagens, as amostras foram encaminhadas para a câmara de Richards (Figura 3), onde foram submetidas a novas tensões, sendo elas -33, -100, -500, -1000 -1500 kPa, estas sem tempo previamente estipulado, levando em consideração como critério o momento que parasse de sair água, assim realizado uma nova pesagem e então trocado a tensão submetida. Após submetido todas as tensões as amostras foram encaminhadas para a estufa a temperatura de 105 °C até peso constante, normalmente este sendo atingido em 24 horas.

Figura 3- Câmara de Richards.



Fonte: autora (2023).

Para obter a textura de cada solo, foi realizado a análise granulométrica (Figura 4), pelo método da pipetagem adaptado pelo laboratório de física do solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Figura 4- Desenvolvimento da análise granulométrica.



Fonte: autora (2023).

A capacidade de água disponível para o Zoneamento em vigor, o cálculo é realizado com base nos teores de areia total, silte e de argila, correlacionados com o índice de Água disponível no solo. As novas regras do Zarc determinam a aceitação ou exclusão do seguro. Os solos classificados como AD4, AD5 e AD6 são aceitos para a contratação de seguro agrícola, as demais classes são excluídas das apólices. Após obtidos os valores de areia, silte e argila por meio da análise granulométrica estes são colocados na pedofunção desenvolvida pelo Mapa e Embrapa:  $AD = \{ [1 + (0,3591 * ((-0,02128887 * AT) + (-0,01005814 * SIL) + (-0,01901894 * ARG) + (0,0001171219 * AT * SIL) + (0,0002073924 * AT * ARG) + (0,00006118707 * SIL * ARG) + (-0,000006373789 * AT * SIL * ARG)))] ^{2,78474} * 10$ . Após o cálculo, os solos são classificados conforme a tabela 4.

Tabela 4- Classificação da água disponível.

Limite inferior		Classes de AD		Limite superior
0,00	≤	AD0	<	0,34
0,34	≤	AD1	<	0,46
0,46	≤	AD2	<	0,61
0,61	≤	AD3	<	0,80
0,80	≤	AD4	<	1,06
1,06	≤	AD5	<	1,40
1,40	≤	AD6	≤	1,84

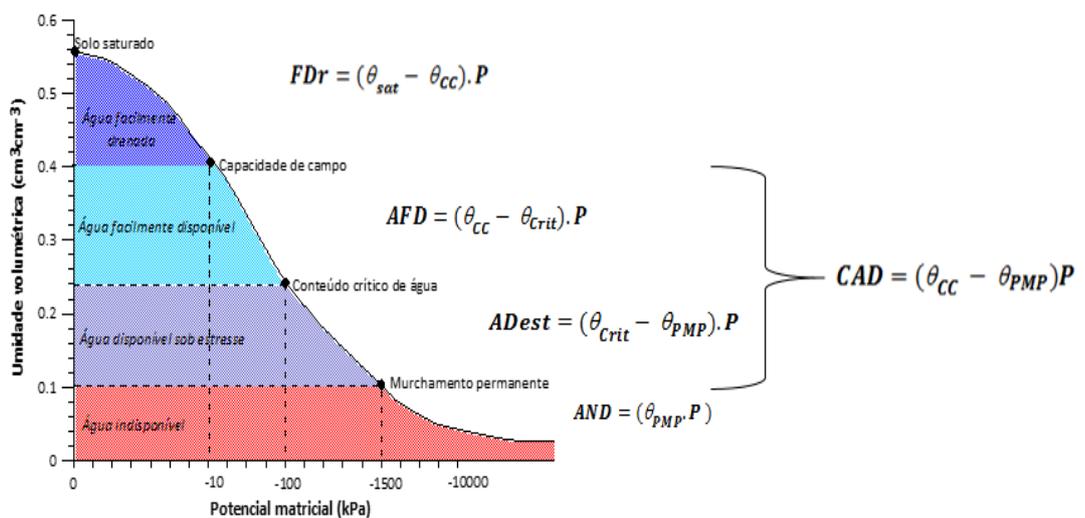
Fonte: Teixeira *et al.*(2021).

### 3.3 FAIXAS DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

Para realizar a determinação da disponibilidade de água dos diferentes solos do Rio Grande do Sul, foi realizado alguns cálculos como a água facilmente disponível (FDr) onde se utiliza o solo saturado menos a capacidade de campo vezes a profundidade. A água facilmente disponível (AFD), onde se utiliza a capacidade de campo menos o conteúdo crítico de água vezes a profundidade.

A água disponível sob estresse (ADest) onde se utiliza o conteúdo crítico menos o murchamento permanente. A água indisponível (AND) onde se utiliza o murchamento permanente vezes a profundidade e a capacidade de água disponível (CAD) onde se utiliza a capacidade de campo menos o ponto de murcha permanente vezes a profundidade. A unidade potencial de -1.500 kPa é denominada de ponto de murcha permanente (PMP) e no potencial de -10 kPa de capacidade de campo (CC).

Figura 5- Limites e faixas de disponibilidade de água no solo



Fonte: Kaiser *et al* (2023).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de significância. Os dados de retenção de água medidos também foram comparados com os dados estimados pela metodologia usada atualmente pelo ZARC. Foram feitas análises de correlação de Pearson entre os atributos físicos (teores de areia, silte e argila) e a retenção de água em diferentes potenciais e as faixas de água disponíveis. As análises foram realizadas com o auxílio do *software* SAS.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve uma diferença significativa nas propriedades físicas do solo principalmente na densidade e na microporosidade (Tabela 5).

Tabela 5- Propriedades físicas dos solos estudados.

Solo	Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidade total (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Macroporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Microporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
PVd (Um SJ)	1,36 b	0,49 b	0,15 b	0,34 e
TXo (Um Pirai)	1,16 g	0,61 a	0,14 b	0,47 a
NVe (Um SB)	0,97 i	0,69 a	0,32 a	0,37 d
LVd (Um CA)	1,15 g	0,56 a	0,22 b	0,35 e
PVd (Um SP)	1,33 c	0,63 a	0,34 a	0,29 g
SXe (Um SG)	1,20 f	0,58 a	0,12 b	0,46 b
PVd (Um AC)	1,27 e	0,54 b	0,11 b	0,42 c
LVdf (Um SA-Ae)	1,12 h	0,60 a	0,23 b	0,37 d
SXe (Um Va)	1,32 c	0,52 b	0,20 b	0,32 f
LVdf (Um SA)	0,93 j	0,65 a	0,30 a	0,36 d
PBACa (Um SM)	1,30 d	0,56 a	0,12 b	0,43 c
RQo (Um Areais)	1,68 a	0,41 b	0,31 a	0,11 h
CV (%)	1,74	13,92	36,96	2,60

Um SJ (unidade de mapeamento São Jeronimo); Um Pirai (unidade de mapeamento Pirai); Um SB (unidade de mapeamento São Borja); Um CA (unidade de mapeamento Cruz Alta); Um SP (unidade de mapeamento São Pedro); Um SG (unidade de mapeamento São Gabriel); Um AC (unidade de mapeamento Alto das Canas); Um SA-Aexp (Unidade de mapeamento Santo Ângelo área experimental); Um Va (Unidade de mapeamento Vacacaí); Um SA (unidade de mapeamento Santo Ângelo); Um SM (unidade de mapeamento Santa Maria); Um Areais (unidade de mapeamento Areais).

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem pelo teste de Scott knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A estrutura do solo afeta a densidade, quando esta possui valores elevados ocasiona a diminuição da porosidade, alteração do tamanho dos poros (DOS SANTOS NASCIMENTO, *et al.*; 2010). Solos argilosos normalmente são menos densos, mais porosos, e com maior porosidade, agregação, capacidade de retenção de água e resistência a operações de preparo, enquanto solos arenosos são mais densos, menos porosos e com predomínio de macroporos, isso se deve ao grande número de partículas pequenas, existe muitos espaços (microporos) entre as partículas (LIMA, *et al.*; 2023).

A unidade de mapeamento Areais possui a maior densidade do solo, enquanto possui o menor valor de microporos, e por conta disso o armazenamento de água

deste solo fica comprometido. Segundo LIER (2020), os microporos são responsáveis pela retenção, armazenamento e redistribuição da água no solo. O solo da unidade de mapeamento Santo Ângelo possui alta porosidade, menor densidade e por consequência é um solo com boa capacidade de retenção de água.

Os Neossolos Quartzarênicos têm predomínio da fração areia, e presença de quartzo em sua composição. Esse tipo de solo geralmente possui baixa fertilidade e capacidade de retenção de água, sendo desafiador cultivar qualquer espécie de planta nesse tipo de solo. Os latossolos têm predomínio da fração argila, como características pode-se ressaltar a elevada intemperização, e desta forma são solos profundos, normalmente ácidos.

Solos argilosos normalmente são menos densos, mais porosos, e com maior microporosidade, agregação, capacidade de retenção de água. No entanto solos arenosos são mais densos, menos porosos e com predomínio de macroporos (LIMA, *et al.*; 2023).

Os solos das diferentes unidades de mapeamento se comportaram de forma distinta, quando submetidas a diferentes tensões (Tabela 6).

Tabela 6- Retenção de água dos solos em diferentes tensões.

Solo	6 kPa (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	10 kPa (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	33 kPa (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	100 kPa (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	500 kPa (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	1000 kPa (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	1500 kPa (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
PVd (Um SJ)	0,34 e	0,28 f	0,23 c	0,17 c	0,17 d	0,12 c	0,09 e
TXo (Um Pirai)	0,47 a	0,40 b	0,29 b	0,20 b	0,20 c	0,19 b	0,15 c
NVe (Um SB)	0,37 d	0,34 d	0,31 b	0,28 a	0,28 a	0,25 a	0,23 b
LVd (Um CA)	0,34 e	0,26 g	0,23 c	0,16 c	0,16 d	0,14 c	0,11 e
PVd (Um SP)	0,29 g	0,22 h	0,17 d	0,14 c	0,14 e	0,14 c	0,10 e
SXe (Um SG)	0,46 b	0,43 a	0,38 a	0,26 a	0,25 b	0,20 b	0,14 c
PVd (Um AC)	0,42 c	0,36 c	0,28 b	0,20 b	0,15 d	0,14 c	0,14 c
LVdf (Um SA-Ae)	0,37 d	0,35 c	0,31 b	0,29 a	0,25 b	0,25 a	0,25 a
SXe (Um Va)	0,32 f	0,25 g	0,18 d	0,14 c	0,12 e	0,11 c	0,10 e
LVdf (Um SA)	0,36 d	0,32 e	0,29 b	0,28 a	0,25 b	0,23 a	0,22 b
PBACa (Um SM)	0,43 c	0,39 b	0,24 c	0,15 c	0,13 e	0,12 c	0,12 d
RQo (Um Areais)	0,11 h	0,06 i	0,05 e	0,04 d	0,03 f	0,02 d	0,02 f
CV (%)	2,60	3,64	11,08	12,84	11,55	13,03	7,47

Um SJ (unidade de mapeamento São Jerônimo); Um Pirai (unidade de mapeamento Pirai); Um SB (unidade de mapeamento São Borja); Um CA (unidade de mapeamento Cruz Alta); Um SP (unidade de mapeamento São Pedro); Um SG (unidade de mapeamento Gabriel); Um AC (unidade de mapeamento Alto das Canas); Um vacacaí (Unidade de mapeamento Vacacaí); Um SA (unidade de mapeamento Santo Ângelo); Um SM (unidade de mapeamento Santa Maria); Um Areais (unidade de mapeamento Areais)

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem pelo teste de Scott knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os valores de umidade do solo diminuem à medida que aumenta a pressão aplicada, devido a saída de água dos poros e por consequência ocorre o aumento dos espaços aéreos. Na literatura a quantidade de água presente no potencial de  $-10$  kPa representa a capacidade de campo (CC). A umidade retida no potencial de  $1.500$  kPa é denominado ponto de murcha permanente. A unidade de mapeamento São Gabriel obteve a maior capacidade de campo. E a unidade de mapeamento Santo Ângelo obteve o maior ponto de murcha permanente.

A retenção de água do solo é distinta, quando submetidas a diferentes tensões, o solo com maior capacidade de retenção de água na capacidade de campo é o da unidade de mapeamento São Gabriel, no ponto de murcha permanente o solo com maior capacidade de retenção de água é o da unidade de mapeamento SA-Aexp

A densidade é utilizada como propriedade indicadora de mudanças na estrutura do solo. O sistema de manejo do solo tem grande influência na densidade do solo. Os macroporos apresentam diâmetro equivalente maior que  $0,05$  mm sendo esvaziados com aplicação do potencial de  $-6$  kPa, os microporos apresentam diâmetro entre  $0,015$  e  $0,0002$  mm, são esvaziados aplicando um potencial entre  $-20$  e  $-1500$  kPa (LIMA *et al.*, 2023).

O trabalho realizado por SCHREINER *et al.*, 2010, demonstrou que o aumento de a aplicaç carga, provocam aumento no valor de densidade do solo, além de uma redução na porosidade total e redução dos macroporos., as pressões de  $1000$  e  $1500$  kPa causam aumento do armazenamento de água, nos horizontes Ap e A1.

Quando se trata dos atributos físicos é possível observar que houve uma correlação negativa significativa da densidade do solo com os potenciais submetidos. desta forma, quanto maior a densidade do solo menor a capacidade de retenção de água. Na porosidade total, obteve-se uma correlação positiva significativa com as tensões submetidas, desta forma quanto mais porosidade total mais capacidade de retenção de água, (Tabela 7).

Tabela 7- Correlação de Pearson entre atributos físicos do solo e a retenção de água em diferentes potenciais e as faixas de água disponível.

<b>Atributos do solo</b>	<b>DS</b>	<b>PT</b>	<b>Micro</b>	<b>Macro</b>	<b>Argila</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>
6 kPa	-0,37*	0,48*	1,00*	-0,55*	0,53*	-0,60*	0,34*
10 kPa	-0,47*	0,53*	0,97*	-0,48*	0,58*	-0,72*	0,47*
33 kPa	-0,58*	0,58*	0,86*	-0,31*	0,69*	-0,84*	0,53*
100 kPa	-0,62*	0,63*	0,74*	-0,15 <sup>ns</sup>	0,84*	-0,91*	0,46*
500 kPa	-0,56*	0,63*	0,73*	-0,14 <sup>ns</sup>	0,85*	-0,89*	0,40*
1000 kPa	-0,57*	0,63*	0,72*	-0,13 <sup>ns</sup>	0,89*	-0,90*	0,37*
1500 kPa	-0,58*	0,61*	0,68*	-0,09 <sup>ns</sup>	0,92*	-0,90*	0,35*
CAD	0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,63*	-0,60*	-0,28*	0,03 <sup>ns</sup>	0,32*
APD	-0,02 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,63*	-0,59*	-0,19 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,24*
ADest	0,07 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
AND	-0,58*	0,62*	0,68*	-0,09 <sup>ns</sup>	0,93*	-0,91*	0,33*
ADzarc	-0,65*	0,35*	0,35*	-0,02 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	-0,61*	0,88*

DS (densidade do solo); PT (porosidade total); Micro (microporosidade); Macro (macroporosidade); CAD (capacidade de água disponível); APD (água parcialmente disponível); ADest (água disponível sob stress); AND (água não disponível); ADzarc (água disponível pelo ZARC).

\*Significativo a 1%. <sup>ns</sup> não significativo.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O trabalho realizado por BEAUTLER et al,2002 a maior retenção de água em baixas tenções foi obtida no Latossolo vermelho eutroférico com maior proporção de poros grandes e menor densidade, em altas tenções a argila foi responsável pela maior retenção de água. Segundo DA SILVEIRA et al 2009, solos compactados com elevada densidade, apresentam baixas quantidades de água disponível.

Na microporosidade houve correlação significativa positiva com as tensões submetidas, então quanto mais microporos, mais capacidade de retenção de água. A macroporosidade influencia de forma negativa na retenção de água no solo, de forma

que quanto mais macroporos, menor capacidade de retenção de água no solo, da mesma forma a areia, quanto mais areia menos água o solo retém.

Houve uma correlação positiva significativa da argila e do silte com os potenciais submetidos de forma que quanto mais argila ou silte o solo estiver, maior a capacidade de reter água. Desta forma fica claro que não é somente os teores de areia, silte e argila que influenciam na retenção de água no solo. A densidade, micro e macroporosidade influenciam significativamente na retenção de água no solo, e estes não entram no modelo matemático do Zoneamento agrícola.

Tabela 8- Limites de disponibilidade de água no solo, capacidade e classes de água disponível em função do tipo de solo e granulometria.

SOLO	CC (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	PMP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	CAD medida (mm cm <sup>-1</sup> )	AD ZARC (mm cm <sup>-1</sup> )	CAD medida/ AD ZARC	Classe de água disponível (medida)	Classe de água disponível (ZARC)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Classe textural
PVd (Um SJ)	0,28 f*	0,09 e*	1,86 d*	1,00	1,86	AD6	AD4	13	60	27	Franco arenoso
TXo (Um Piraí)	0,40 b	0,15 c	2,51 b	1,28	1,96	AD6	AD5	23	38	39	Franca
NVe (Um SB)	0,34 d	0,23 b	1,06 f	1,30	0,82	AD5	AD4	59	5	36	Argila
LVd (Um CA)	0,26 g	0,11 e	1,48 e	0,89	1,66	AD6	AD4	28	63	9	Franco argiloso arenoso
PVd (Um SP)	0,22 h	0,10 e	1,24 f	0,77	1,61	AD5	AD3	19	70	11	Franco arenoso
SXe (Um SG)	0,43 a	0,14 c	2,97 a	1,64	1,81	AD6	AD6	18	30	52	Franco siltosa
PVd (Um AC)	0,36 c	0,14 c	2,25 c	1,13	1,99	AD6	AD5	27	43	30	Franca
LVdf (Um SA-Ae)	0,35 c	0,25 a	1,00 f	1,16	0,86	AD4	AD5	63	7	30	Muito Argilosa
SXe (Um Vacacai)	0,25 g	0,10 e	1,50 e	0,97	1,54	AD6	AD4	10	64	26	Franco arenosa
LVdf (Um SA)	0,32 e	0,22 b	1,00 f	1,34	0,75	AD4	AD5	49	12	39	Argila
PBACa (Um SM)	0,39 b	0,12 d	2,69 b	0,86	3,12	AD6	AD4	8	70	22	Franco arenoso
RQo (Um Areais)	0,06 i	0,02 f	0,40 g	0,22	1,82	AD0	AD0	1,5	97,8	0,7	Areia
CV (%)	3,64	7,47	8,78								

Um SJ (unidade de mapeamento São Jerônimo); Um Piraí (unidade de mapeamento Piraí); Um SB (unidade de mapeamento São Borja); Um CA (unidade de mapeamento Cruz Alta); Um SP (unidade de mapeamento São Pedro); Um SG (unidade de mapeamento Gabriel); Um AC (unidade de mapeamento Alto das Canas); Um vacacai (Unidade de mapeamento Vacacai); Um SA (unidade de mapeamento Santo Ângelo); Um SM (unidade de mapeamento Santa Maria); Um Areais (unidade de mapeamento Areais).

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem pelo teste de Scott knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A capacidade de água disponível, é fundamental para o desenvolvimento das plantas, uma vez que o sistema radicular bem desenvolvido, permite que ocorra as reações químicas, movimentos e absorção dos nutrientes, e uma ótima produção da cultura (LIMA, *et al.*; 2023). A capacidade de água disponível é influenciada pela textura de cada solo (teor de areia, silte e argila), bem como da mineralogia, grau de intemperismo, profundidade, e grau de compactação.

A maior parte dos solos utilizados apresentam boas condições para o cultivo agrícola, existindo uma diferença significativa entre valores de AD medidos em laboratório com os valores de AD estimados pelo ZARC. Os solos classificados em AD6 através das análises realizadas no laboratório são de textura franca, franca arenosa, franca argilosa, franca siltosa.

No trabalho desenvolvido por RAUBER 2019 os solos de textura franca, franca argila siltosa, são os solos com maior disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura do milho e da soja, o que se repetiu neste trabalho onde a os maiores valores AD medidos foram nos solos de textura franca e franca siltosa, como é possível observar na Tabela 8. Os valores de AD em solos de textura areiam franca, podem apresentar valores de AD um pouco superior em função de características como maiores teores de areia fina e carbono (TEIXEIRA, 2021).

Comparando a classe de água medida (real), com CAD estimada pelo Zarc foi possível identificar uma subestimação, onde os valores medidos foram maiores que os estimados pelo Zarc, em nove unidades de mapeamento. A maior subestimação foi obtida no Argissolo Bruno da unidade de mapeamento Santa Maria, onde a CAD medida é 3,12 vezes maior que a CAD estimada pelo Zarc. A menor subestimação ocorreu no Argissolo Vermelho da unidade de mapeamento São Pedro, onde a CAD medida é 1,61 vezes maior que a CAD estimada pelo Zarc.

A água disponível estimada pelo Zarc só superestimou a água disponível medida em três unidades de mapeamento, sendo elas: Santo Ângelo, São Borja e Santo Ângelo, área experimental. A maior superestimação ocorreu no Latossolo Vermelho da unidade de mapeamento Santo Ângelo área experimental onde a AD estimada pelo Zarc foi 0,86 vezes maior que a CAD determinada em laboratório. A menor superestimação ocorreu no Latossolo Vermelho da unidade de mapeamento

Santo Ângelo onde a CAD estimada pelo Zarc foi 0,75 vezes maior que a CAD determinada em laboratório.

As culturas agrícolas podem desenvolver sistemas radiculares mais ou menos profundos, dependendo das condições físico-químicas do solo, bem como da espécie, e desta forma ter maior ou menor volume de solo e solutos (TEIXEIRA *et al.*; (2021). O Zoneamento de risco climático em sua pedofunção prevê uma profundidade de 40 cm, está sendo uma grande limitação do Zarc, uma vez que em condições de solos profundos sem limitações físicas a profundidade efetiva do sistema radicular pode atingir profundidades maiores do que a usada para realização da estimativa do Zarc.

Para o trabalho realizado por WUTKE *et al.*; 2000 a profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação com pousio, milho e adubos verdes em Latossolo roxo, foi de 0,35 a 0,4 m, o modelo matemático do Zarc é suficiente, uma vez que o sistema radicular não ultrapassa os 40 cm de profundidade. Quando as condições físicas do solo forem boas e a profundidade efetiva do solo for moderadamente profunda, profunda ou muito profunda a capacidade de armazenamento de água será maior do que a estimada pelo zoneamento de risco climático, uma vez que o sistema radicular das culturas terá capacidade de se desenvolver em uma profundidade maior que 40 cm.

Segundo os resultados obtidos na tabela 8, os valores de água disponíveis não são os mesmos quando se mede e quando se estima pelo método do Zarc, impactando nas épocas de semeadura das culturas. Pensando a cultura da soja no município de Cerro Largo, quando o solo é classificado em AD6, e a soja é do grupo 1 com GMR menor ou igual a 6.2 , o riscos de deficiência hídrica no florescimento e enchimento de grão é no máximo 20%, quando classificado em AD4 o risco de ocorrer deficiência hídrica é de no máximo 20% quando se realiza a semeadura no máximo até os primeiros 10 dias de dezembro, se semear de 10 a 20 de outubro os riscos de deficiência hídrica no florescimento de grãos é de até 30% e se semear de 20 a 30 de outubro o risco de deficiência hídrica no enchimento e florescimento de grão chega a 40%.

A classe de AD, impacta na escolha da melhor época de semeadura de cada cultivar, pois conforme a classe de água disponível se tem mais ou menos risco de deficiência hídrica.

Tabela 9-Faixas de disponibilidade de água nos primeiros 40 cm da camada superficial do solo.

Solo	CAT (mm cm <sup>-1</sup> )	CAD (mm cm <sup>-1</sup> )	APD (mm cm <sup>-1</sup> )	ADest (mm cm <sup>-1</sup> )	AND (mm cm <sup>-1</sup> )
PVd (Um SJ)	110,8 f	74,5 d	44,9 c	29,5 b	36,4 e
TXo (Um Piraí)	158,7 b	100,4 b	75,8 b	24,6 b	58,2 c
NVe (Um SB)	134,5 d	42,2 g	22,1 e	20,1 b	92,3 b
LVd (Um CA)	101,2 g	59,1 e	34,7 d	24,3 b	42,1 d
PVd (Um SP)	87,5 h	49,6 f	34,9 d	14,6 c	37,8 e
SXe (Um SG)	173,3 a	118,8 a	73,9 b	44,9 a	54,5 c
PVd (Um AC)	144,8 c	89,9 c	85,6 b	4,3 c	54,9 c
LVdf (Um SA-Aexp)	139,1 c	39,8 g	38,1 d	1,7 c	99,3 a
SXe (Um Vacacaí)	99,1 g	60,0 e	50,9 c	9,1 c	39,2 e
LVdf (Um SA)	127,7 e	40,1 g	27,6 e	12,6 c	87,6 b
PBACa (Um SM)	154,2 b	107,5 b	100,5 a	7,0 c	46,7 d
RQo (Um Areais)	24,5 i	16,1 h	12,4 f	3,8 c	8,3 f
CV (%)	3,63	8,74	15,37	49,34	7,04

Um SJ (unidade de mapeamento São Jerônimo); Um Piraí (unidade de mapeamento Piraí); Um SB (unidade de mapeamento São Borja); Um CA (unidade de mapeamento Cruz Alta); Um SP (unidade de mapeamento São Pedro); Um SG (unidade de mapeamento Gabriel); Um AC (unidade de mapeamento Alto das Canas); Um vacacaí (unidade de mapeamento Vacacaí); Um AS (unidade de mapeamento Santo Ângelo); Um SM (unidade de mapeamento Santa Maria); Um Areais (unidade de mapeamento Areais).

CAT (capacidade de água total); CAD (capacidade de água disponível); APD (água prontamente disponível); ADest (Água disponível sob estresse); AND (água não disponível).

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O déficit hídrico afeta quase todos os processos fisiológicos do solo. A capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) é um indicador da duração e intensidade do déficit hídrico (CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. 1999). A CAD é importante para o planejamento das culturas, bem como da escolha do grupo de maturidade, sendo uma importante aliada para que o produtor escolha de forma

eficiente o material que irá utilizar conforme a classificação de CAD do seu solo por exemplo em anos com previsões de déficit hídrico, ou em anos de fortes chuvas. Diversos fatores interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo a maioria delas ligadas à água (MARTINS, 2009).

Quanto maior a CAD, maior disponibilidade de água para o desenvolvimento das culturas, em anos de déficit hídrico, os solos com maior capacidade de água disponível, aguentam mais dias sem chuvas, sem que as plantas atinjam o ponto de murcha permanente, enquanto em anos de chuvas regulares os solos com menor CAD não conseguem atender as necessidades das culturas. Em anos chuvosos os solos classificados como AD6 de maior capacidade de retenção de água tendem a sofrer mais com volumes elevados de precipitações, a umidade excessiva pode afetar o desenvolvimento da cultura ali presente, pois o excesso de água no sistema radicular leva a falta de oxigenação podendo acarretar o apodrecimento da mesma.

A baixa disponibilidade hídrica no solo pode se tornar um fator limitante para o suprimento de nutrientes até a superfície das raízes. Quando a disponibilidade de água no solo for baixa, maior será o desenvolvimento radicular da planta em superfície, devido às perdas de evapotranspiração serem menores e por consequência mantêm maiores teores de água, durante mais tempo (MARTINS, 2009).

## 5 CONCLUSÃO

Os diferentes solos do Rio Grande do Sul devido sua textura, estrutura apresentaram diferentes níveis de retenção e disponibilidade de água, armazenamento total e água disponível nos primeiros 40 cm proposto pela nova instrução normativa.

Os fatores que mais influenciaram a retenção de água no solo foram a densidade, a micro e macroporosidade, de forma que quando maior a densidade menor a capacidade de retenção de água no solo e da mesma forma a macroporosidade, enquanto maior microporosidade maior capacidade de retenção de água no solo, estes não tem influência no valor de AD estimado pelo Zarc.

O ZARC utiliza somente o valor de areia, silte e argila no método de estimativa AD do zarc necessita ser aperfeiçoado, pois a AD no solo não é consequência da composição granulométrica, uma vez que se obteve diferença significativa entre os valores medidos em laboratório e os valores calculados.

## REFERÊNCIAS

- ASSAD, Eduardo Delgado et al. Zoneamento agrícola de riscos climáticos do Brasil: base teórica, pesquisa e desenvolvimento. 2008.
- Atlas socioeconômico do Rio Grande do sul. **Estiagens e Secas: A estiagem foi o evento que mais atingiu pessoas no Rs no período de 2017 e 2021, representando 43,2% do total do Estado.** 2022. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/estiagens-e-secas#:~:text=A%20estiagem%20e%20a%20seca,e%202020%20com%20500%20registros.>>. Acessado em 29 de maio de 2023.
- BASSOI, Luís Henrique et al. Relação solo-água-plantas. **Brasília, DF**, 2011.
- BEUTLER, A. N. et al. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 829-834, 2002.
- CÂNDIDO, Bernardo Moreira et al. CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB PASTAGENS NATIVAS NO ECOSSISTEMA PANTANAL.
- CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 17-25, 1999.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra Brasileira – grãos: oitavo levantamento, maio 2023 – safra 2022/ 23.** Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2023. Disponível em <[file:///C:/Users/Talia/Downloads/E-book\\_BoletimZdeZSafrasZ-Z8oZlevantamento\\_1.pdf](file:///C:/Users/Talia/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZ-Z8oZlevantamento_1.pdf)> Acessado em 29 de maio de 2023.
- DA SILVEIRA, ALANA KAREN DA COSTA et al. Capacidade de Retenção de Água em Amostras de Diferentes Horizontes de Solo na Bacia do Rio Urucu-Amazonas. 2009.
- DE ALBUQUERQUE, P. E. P.; RESENDE, M. Cultivo do milho: manejo de irrigação. 2002.
- DE LEMOS, R. C. et al. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. 1973.
- DOS SANTOS NASCIMENTO, Patricia et al. Estudo comparativo de métodos para a determinação da curva de retenção de água no solo. **Irriga**, v. 15, n. 2, p. 193-207, 2010.
- KAISER, Douglas Rodrigo et al. **Estrutura e água em Argissolo sob distintos preparos na cultura do milho.** 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

KAISERL41, Douglas Rodrigo; MINELLA1J, Jean Paolo Gomes; REINERTLL, Dalvan Jose. HIDROLOGIA DOSOLO, DISPONIBILIDADE DE AGUAASPLANTASEZONEAMENTO AGROCLIMATICO.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Livro, Passo Fundo: Edi upf, 2012.

KLEIN, Vilson Antonio; LIBARDI, Paulo Leonel. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, v. 30, p. 959-964, 2000.

LEPSCH, Igo F. **19 lições de pedologia**. Oficina de textos, 2021.

LIER, Q.J. **Física do solo**. Livro, Viçosa: Edi ufv, 2016.

LIER.V. J. Q. **Física do solo baseada em processos**. Agricultura (cena) da universidade de são Paulo, 2020.

LIMA.R.L.Cláudia, *et al.* **Física do solo**. Santa maria, 2023.

LOPES-ASSAD, Maria Leonor et al. Uso de informações de solo no zoneamento agrícola de risco climático, 2007.

MARTINS, Mariana Ventura et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 147-154, 2009.

MATZENAUER, Ronaldo; BARNI, Nídio Antonio; MALUF, Jaime Ricardo Tavares. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1013-1019, 2003.

MICHELON, Cleudson Jose et al. **Pedofunções para retenção de água de solos do Rio Grande do Sul irrigados por aspersão**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa Spa /Mapa Nº 2, de 9 de novembro de 2021**.

MITIDIERI, Francisco José; MEDEIROS, Josemar Xavier de. Zoneamento Agrícola de Risco Climático Ferramenta de auxílio ao seguro rural. **Revista de Política Agrícola**, v. 17, n. 4, p. 33-46, 2008.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa Spa /Mapa Nº 1, de 21 de junho de 2022**.

MORAES, Maria Helena; BENEZ, Sergio Hugo; LIBARDI, Paulo Leonel. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v. 54, p. 393-403, 1995.

NASCIMENTO, P. dos S. **Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos e planilha para manejo da irrigação. 2009.** 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.

PEREIRA, L.C; GOMES, M.A.F. **Estudo destaca importância da profundidade efetiva do solo**, 2017. Disponível em < <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/20796250/estudo-destaca-importancia-agronomica-da-profundidade-efetiva-do-solo>>. Acesso em 12 de maio de 2023.

PEREIRA, L.C.; GOMES, M.A.F. **Profundidade efetiva e profundidade do solo: conceitos e importância.** 2007. Disponível em: <<http://diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=33953&secao=Artigos%20Especiais>> Acessado em 12 de maio de 2023.

RALISCH, Ricardo et al. Diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). 2017.

RAUBER, Maicon Junior. Estimativa da retenção e disponibilidade de água para os solos do Rio Grande do Sul. 2019.

REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1931-1935, 2006.

SCHREINER, Débora Tonon et al. Efeito da compactação do solo na retenção de água em uma Toposequência argissolos-gleissolo no RS. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia MG.** 2010

SOUZA, Edicarlos Damacena; CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone; PAULINO, Helder Barbosa. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1135-1139, 2005.

STRECK, E.V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. Livro, Porto Alegre: ed. 3, 2018.

SUZUKI, Luis Eduardo Akiyoshi Sanches et al. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 963-973, 2008.

TEIXEIRA, Wenceslau Geraldês et al. Predição da água disponível no solo em função da granulometria para uso nas análises de risco no zoneamento agrícola de risco climático. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2021. **Boletim técnico**, v. 272, 2021.

WUTKE, E. B. et al. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 621-633, 2000.