

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO – PPGCS**

CARLOS VIEIRA

**CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS SOB
VITIVINICULTURA NO PLANALTO SERRANO CATARINENSE**

LAGES

2024

CARLOS VIEIRA

**CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS SOB
VITIVINICULTURA NO PLANALTO SERRANO CATARINENSE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciência do Solo pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Orientador: Profa. Dra. Letícia Sequinatto Rossi

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre ten Caten

LAGES

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Vieira, Carlos

Classificação e caracterização físico-hídrica de solos sob
vitivinicultura no planalto serrano catarinense / Carlos Vieira.

-- 2024.

95 p.

Orientadora: Letícia Sequinatto Rossi

Coorientador: Alexandre ten Caten

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages,
2024.

1. Vitis vinifera. 2. Água no solo. 3. Zonas de manejo. 4.
Infiltração de água. 5. Conservação do solo. I. Rossi, Letícia
Sequinatto. II. ten Caten, Alexandre. III. Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do
Solo. IV. Título.

CARLOS VIEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE UM SOLO SOB VITIVINICULTURA DA REGIÃO DO
PLANALTO SERRANO CATARINENSE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciência do Solo pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Profa. Dra. Letícia Sequinatto Rossi

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre ten Caten

BANCA EXAMINADORA

Letícia Sequinatto Rossi, Doutora em Ciência do Solo
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Gustavo Eduardo Pereira, Doutor em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Jean Alberto Sampietro, Doutor em Engenharia Florestal
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Lages, 31 de Julho de 2024.

Aos professores e estudantes da
Universidade do Estado de Santa Catarina,
pela inspiração de sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por conceder sabedoria e força para enfrentar os desafios diários. Agradeço à minha orientadora, Letícia Sequinatto Rossi, por aceitar me conduzir em meu trabalho de pesquisa, e aos meus coorientadores, Alexandre ten Caten e Gustavo Eduardo Pereira, por todo o apoio em conhecimento para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os meus professores do Mestrado em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC pela excelência da qualidade técnica de cada um. Em especial, agradeço aos professores Jackson Adriano Albuquerque, Jean Alberto Sampietro e à professora Mari Lúcia Campos pela colaboração neste trabalho. Agradeço também a colaboração dos meus colegas de laboratório e campo, Aline Sena, Kelly Dabot, Eduardo Bleichvel, Augusto Felipe Montemezzo, João Vitor Scopel, Caroline Macedo e Daniel Alexandre Heberle, pela valiosa contribuição.

Agradeço aos proprietários e sócios da Vinícola Berto Aguiar por cederem o espaço para a realização deste projeto, assim como à CAPES pelo financiamento da bolsa, à FAPESC pelo auxílio financeiro, e à Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC por todo, especialmente pelos recursos humanos e contribuição ao conhecimento durante o desenvolvimento deste projeto. Agradeço aos meus pastores, Fabiano Finardi e Laís Finardi, à minha mãe, Nadir da Silva Vieira e aos meus irmãos, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando ao longo de toda a minha trajetória. Sou grato à minha família pelo apoio constante que me deram durante toda a minha vida.

Deixo um agradecimento especial à minha orientadora, professora Letícia, pelo incentivo e pela dedicação, mesmo com seu tempo escasso, ao meu projeto de pesquisa.

Como está escrito em Salmos 107:1: “Deem graças ao Senhor, porque ele é bom; o seu amor dura para sempre.”

E não nos cansemos de fazer o bem, pois no tempo próprio colheremos, se não desanimarmos. (Gálatas 6:9)

RESUMO

As propriedades físicas do solo, como densidade e porosidade, são determinantes para a retenção e infiltração de água no solo. Maior microporosidade determina uma maior capacidade de armazenamento de água no solo, porém, uma maior densidade do solo leva a uma menor infiltração de água no solo e consequentemente a um maior escoamento superficial. Solos com maior porosidade facilitam a infiltração, melhorando a retenção de água nas camadas mais profundas. Assim, a combinação dessas propriedades físicas é crucial para o comportamento hídrico do solo, influenciando os demais processos decorrentes dele e o desenvolvimento das culturas. O objetivo foi analisar a influência da classe de solo, da posição no relevo e das propriedades físicas na infiltração e capacidade de retenção de água em áreas de cultivo de videira no município de Curitibanos/SC. O estudo foi realizado em uma área de viticultura da vinícola Berto Aguiar, localizada em Curitibanos/SC. A área possui aproximadamente 1/3 de hectare e uma declividade média de 20%. A classificação dos solos, realizada segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS), foi efetuada em três perfis localizados nos seguintes pontos: terço superior, médio e inferior. A avaliação das características físicas na área, como granulometria, densidade, porosidade, retenção de água no solo, resistência à penetração e estabilidade de agregados em água, foi realizada em 17 pontos amostrais georreferenciados. A análise de infiltração de água a campo foi realizada nos terços superior e inferior. No terço superior, foi identificado um NITOSSOLO BRUNO (NB), no terço médio um LATOSSOLO VERMELHO (LV) e, no terço inferior, um LATOSSOLO BRUNO (LB). A granulometria do solo apresentou-se argilosa nas camadas superficiais do solo, tornando-se muito argilosa a partir dos 30 cm de profundidade. A densidade do solo apresentou-se menor e a macroporosidade apresentou-se maior no LB, quando comparado ao NB. A retenção de água apresentou comportamento similar entre os solos, no entanto, a CC foi menor no LB quando comparado ao LB. A resistência à penetração, realizada na umidade próxima a CC, ficou abaixo de 2 MPa, portanto, abaixo do limite crítico ao crescimento radicular. A comparação dos dados através da análise de componentes principais e dendrograma de similaridade permitiu delimitar as possíveis zonas de manejo presentes na área. Concluiu-se que as propriedades físicas do solo foram mais determinantes para a retenção e infiltração de

água no solo do que a classe de solo ou a posição topográfica (terço superior, médio e inferior).

Palavras-chave: *Vitis vinifera*; Água no solo; Zonas de manejo; Infiltração de água; Conservação do solo.

ABSTRACT

The physical properties of the soil, such as density and porosity, are crucial for water retention and infiltration in the soil. Greater microporosity determines a greater water storage capacity in the soil; however, greater soil density leads to less water infiltration into the soil and consequently greater surface runoff. Soils with greater porosity facilitate infiltration, improving water retention in the deeper layers. Thus, the combination of these physical properties is crucial for the water behavior of the soil, influencing other processes resulting from it and the development of crops. The objective was to analyze the influence of soil class, position in the relief, and physical properties on infiltration and water retention capacity in areas of grapevine cultivation in the municipality of Curitibanos/SC. The study was carried out in a viticulture area of the Berto Aguiar winery, located in Curitibanos/SC. The area has approximately 1/3 of a hectare and an average slope of 20%. The soil classification, carried out according to the Brazilian Soil Classification System (SiBCS), was performed in three profiles located at the following points: upper, middle, and lower third. The evaluation of physical characteristics in the area, such as granulometry, density, porosity, soil water retention, resistance to penetration, and stability of aggregates in water, was carried out at 17 georeferenced sampling points. The analysis of water infiltration in the field was performed in the upper and lower thirds. In the upper third, a NITOSSOLO BRUNO (NB) was identified, in the middle third, a LATOSSOLO VERMELHO (LV), and, in the lower third, a LATOSSOLO BRUNO (LB). The soil granulometry was clayey in the surface layers of the soil, becoming very clayey from 30 cm in depth. The soil density was lower and the macroporosity was higher in LB when compared to NB. Water retention showed similar behavior among soils; however, CC was lower in LB when compared to LB. Penetration resistance, performed at moisture close to CC, was below 2 MPa, therefore, below the critical limit for root growth. Comparison of data through principal component analysis and similarity dendrogram allowed delimiting the possible management zones present in the area. It was concluded that the physical properties of the soil were more determinant for water retention and infiltration in the soil class or topographic position (upper, middle, and lower third).

It was concluded that the physical properties of the soil were more decisive for water retention and infiltration in the soil than the soil class or topographic position (upper, middle and lower third).

Keywords: *Vitis vinifera*; Water in the soil; Description; Mapping; Soil conservation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Agrupamentos clima-maturidade das cultivares vitícolas com base nas temperaturas médias da estação de crescimento..... | 27 |
| Figura 2 - Mapa de localização da Vinícola Berto Aguiar..... | 29 |
| Figura 3 – Área de cultivo de videiras na vinícola Berto Aguiar, onde se observa a cobertura verde, método de condução e declividade da área..... | 30 |
| Figura 4 - Videiras conduzidas no sistema espaldeira com cordão esporonado..... | 31 |
| Figura 5 – Coleta de perfis do terço superior/média/inferior da área de estudo da Vinícola Berto Aguiar..... | 31 |
| Figura 6 – Provetas de 1000 ml com as frações silte e argila..... | 32 |
| Figura 7 – Psicrômetro WP4C utilizado para obter a pressão no ponto de orvalho para posterior identificação dos valores de umidade e pressão a 15 bar | 35 |
| Figura 8 – Coleta de amostras de solo em anéis volumétricos e em estrutura de solo não preservada..... | 36 |
| Figura 9 – Análise de Infiltração de água no solo..... | 38 |
| Figura 10 – Levantamento altimétrico da área com destaque aos três perfis de solo dispostos em distintas posições do relevo na área de estudo: terço superior (940m), terço médio (926m) e terço inferior (918m)..... | 40 |
| Figura 11 – Argila no solo nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm..... | 43 |
| Figura 12 – Porcentagem de argila na profundidade de 20 a 30 cm..... | 44 |
| Figura 13 – Densidade e macroporosidade do solo na camada de 20 a 30 cm..... | 45 |
| Figura 14 – Diâmetro médio ponderado dos agregados nos diferentes pontos e diferentes profundidades..... | 48 |
| Figura 15 - Diâmetro médio geométrico dos agregados nos diferentes pontos e diferentes profundidades..... | 48 |
| Figura 16 – Curvas de retenção de água na área de estudo..... | 49 |
| Figura 17 – Curva de retenção de água no solo do NITOSSOLO BRUNO (NB) localizado no terço superior, e do LATOSSOLO BRUNO (LB) localizado no terço inferior da área de estudo..... | 51 |
| Figura 18 – Propriedades físicas e químicas de cada perfil de solo..... | 55 |
| Figura 19 – Porcentagem de argila, silte e areia (%) no solo de acordo com os perfis de solo analisados..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 20 – pH encontrados nos perfis analisados..... | 57 |
| Figura 21 – Teores de Ca, Mg observados nos perfis analisados..... | 58 |
| Figura 22 – Teores de K observados nos perfis de solo..... | 59 |
| Figura 23 – Correlação de Pearson dos dados analisados nos perfis..... | 60 |
| Figura 24 – Dendrograma <i>de similaridade</i> identificador dos possíveis clusters..... | 61 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Triângulo textural dos perfis coletados no terço superior (vermelho), terço médio (azul) e terço inferior (amarelo) identificados na área de estudo e Boxplot do Silte, Argila e Areia..... | 42 |
| Gráfico 2 – Média da pressão aplicada por ponto de coleta..... | 47 |
| Gráfico 3 – Análise de infiltração de água no terço superior (NB)..... | 52 |
| Gráfico 4 – Análise de infiltração de água no LB..... | 53 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Efeito do clima na expressão do <i>terroir</i> nas características do vinho..... | 28 |
| Tabela 2 – Principais características morfológicas dos solos classificados..... | 41 |
| Tabela 3 – Capacidade de infiltração observada a campo no NB e no LB..... | 52 |
| Tabela 4 – Médias de densidade do solo, macroporosidade e microporosidade nos solos onde foi realizado a análise de infiltração..... | 53 |
| Tabela 5 - Propriedades físicas e químicas do NITOSSOLO BRUNO..... | 87 |
| Tabela 6 - Propriedades físicas e químicas do LATOSSOLO VERMELHO..... | 90 |
| Tabela 7 - Propriedades físicas e químicas do LATOSSOLO BRUNO..... | 93 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 17 |
| 2.1 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 17 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 18 |
| 3.1 | A VITIVINICULTURA..... | 18 |
| 3.2 | O SOLO NA VITIVINICULTURA..... | 21 |
| 3.3 | A ÁGUA NO SOLO E A VIDEIRA..... | 22 |
| 3.4 | A INTERAÇÃO DE SOLO, PLANTA E ATMOSFERA..... | 26 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 29 |
| 4.1 | LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 29 |
| 4.2 | DESCRÍÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO..... | 31 |
| 4.2.1 | Granulometria..... | 32 |
| 4.2.2 | pH em água e pH em KCL..... | 33 |
| 4.2.3 | Carbono Orgânico..... | 33 |
| 4.2.4 | Óxidos de Ferro e Óxidos de Alumínio..... | 33 |
| 4.2.5 | Alumínio, Cálcio e Magnésio..... | 34 |
| 4.2.6 | Sódio e Potássio..... | 34 |
| 4.3 | ANÁLISES FÍSICAS GEORREFERENCIADAS PARA MAPEAMENTO E COMPARAÇÃO..... | 34 |
| 4.3.1 | Granulometria..... | 35 |
| 4.3.2 | Densidade e Porosidade..... | 36 |
| 4.3.3 | Resistência à Penetração..... | 36 |
| 4.3.4 | Estabilidade de Agregados em água..... | 37 |
| 4.3.5 | Retenção de Água no Solo..... | 37 |
| 4.4 | ANÁLISE DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO..... | 37 |
| 4.5 | ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 38 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 40 |
| 5.1 | DESCRÍÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO..... | 40 |
| 5.2 | ANÁLISES FÍSICAS GEORREFERENCIADAS PARA MAPEAMENTO E COMPARAÇÃO..... | 43 |
| 5.2.1 | Granulometria..... | 43 |
| 5.2.2 | Densidade e Porosidade..... | 44 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 5.2.3 | Resistência à Penetração..... | 46 |
| 5.2.4 | Estabilidade de Agregados em Água..... | 48 |
| 5.2.5 | Curva de Retenção de água no Solo..... | 49 |
| 5.3 | INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO..... | 51 |
| 5.4 | ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 54 |
| 5.5 | COMPARATIVO DOS DADOS OBSERVADOS..... | 61 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 62 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 63 |
| 8 | REFERÊNCIAS..... | 64 |
| | ANEXO A – CÓDIGO R UTILIZADO PARA AQP..... | 75 |
| | ANEXO B - CÓDIGO R UTILIZADO PARA PCA..... | 83 |
| | ANEXO C – CÓDIGO PARA GRÁFICO DE BARRAS DA ANÁLISE DE PENETRAÇÃO..... | 84 |
| | ANEXO D – PERFIS DE SOLO..... | 85 |

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para o desenvolvimento das plantas, influenciando a absorção de nutrientes e o crescimento das raízes. A disponibilidade hídrica das culturas agrícolas é influenciada por diversos fatores, como a umidade, a estrutura e composição do solo.

O solo desempenha um papel crucial na retenção de água, na regulação da temperatura e no fornecimento de nutrientes para as plantas. Além disso, a topografia também influencia as propriedades do solo e na disponibilidade de água. Fatores como a granulometria, mineralogia, matéria orgânica e estrutura do solo afetam significativamente a disponibilidade de água para as plantas (ALBUQUERQUE et al., 2021; WANG et al., 2001). A natureza do leito rochoso, juntamente com seu estado físico (cor, dureza, compactação, presença de planos de fraqueza) e grau de intemperismo, influencia fortemente as propriedades físicas e hidrológicas do solo, e consequentemente influenciam o desenvolvimento radicular e a absorção de água.

A videira é uma cultura de importância mundial, cultivada em seis dos sete continentes do mundo. O Brasil apresenta constantes crescimentos produtivos na área vitivinícola, sendo que, a região sul do país é reconhecida como a principal produtora nacional de uvas para a indústria vinícola. O estado do Rio Grande do Sul é o que apresenta maior representatividade no setor vitivinícola (CONAB, 2020). Assim, é possível afirmar que o cultivo de videira é de suma importância para a economia regional e nacional.

Como a maioria das culturas, a videira também apresenta necessidades hídricas. O estresse hídrico excessivo pode prejudicar a fotossíntese e o amadurecimento dos frutos, enquanto a utilização de irrigação nos períodos de déficit hídrico tende a garantir um maior crescimento da videira e qualidade do fruto (NADAL; AROLA, 1995; VAN LEEUWEN; ROBY; RESSEGUIER, 2016).

Portanto, a caracterização dos solos em regiões vitivinícolas e a compreensão da dinâmica físico-hídrica são essenciais para as relações com o desenvolvimento das videiras, qualidade das uvas e produtividade. Esse conhecimento permite a adoção de técnicas de manejo mais adequadas,

ajustadas às condições específicas do solo, promovendo uma viticultura mais eficiente e sustentável.

Com base nisso, a hipótese desta pesquisa considera que, independentemente da classe de solo e da posição no relevo, as propriedades físicas, como densidade e porosidade, são determinantes para a retenção e infiltração de água no solo.

A hipótese baseia-se no fato de que a densidade do solo afeta o espaço disponível entre as partículas para a passagem da água, enquanto a porosidade, especialmente a microporosidade, determina a capacidade do solo de armazenar água. Solos mais densos tendem a ter menor porosidade e, portanto, uma menor capacidade de infiltração, o que pode levar a um aumento do escoamento superficial. Já solos com maior porosidade facilitam a infiltração, melhorando a retenção de água nas camadas mais profundas. Assim, a combinação dessas propriedades físicas é crucial para o comportamento hídrico do solo, influenciando os demais processos decorrentes dele e o desenvolvimento da cultura da uva.

2 OBJETIVOS

Analisar a influência da classe de solo, da posição no relevo e das propriedades físicas na infiltração e capacidade de retenção de água em áreas de cultivo de videira no município de Curitibanos/SC.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Classificar e caracterizar os solos da área em diferentes posições do relevo: terço superior, médio e inferior.
- Analisar as propriedades físicas do solo: granulometria, porosidade, densidade, resistência à penetração e a retenção de água no solo.
- Avaliar a infiltração de água no solo.
- Determinar os parâmetros que mais influenciam na infiltração e capacidade de retenção de água no solo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A VITIVINICULTURA

A Videira tem origem na Ásia, especificamente na região árida do Cáucaso, de onde se disseminou por todo o mundo. Pertence à família das Vitaceae, ao gênero *Vitis* e ao subgênero *Euvitis*. Existem diversas espécies, sendo as mais cultivadas globalmente a *Vitis vinifera*, *V. aestivalis*, *V. rupestris*, *V. riparia*, *V. cinerea* e *V. labrusca*. Cada espécie possui muitas variedades, conhecidas como castas ou cepas (LAGO-VANZELA et al., 2015).

Geograficamente, as videiras são cultivadas historicamente em seis dos sete continentes, entre as latitudes 4° e 51° no Hemisfério Norte e entre 6° e 45° no Hemisfério Sul. Embora a maioria seja cultivada em regiões de clima temperado (SANTOS et al., 2020). Adapta-se a uma grande diversidade de climas, como por exemplo os climas oceânicos, oceânicos quentes, temperados de transição, continentais, continentais frios, mediterrâneos, subtropicais, tropicais atenuados, áridos e hiper áridos.

O cultivo da videira no Brasil teve início no começo do século XVI, com vinhedos de *Vitis vinifera* introduzidos pelos portugueses. Atualmente, no país, cultivam-se uvas classificadas como europeias, conhecidas como uvas finas, que pertencem à espécie *Vitis vinifera* e seus híbridos primários. Além dessas, são cultivadas outras variedades, denominadas de uvas comuns, que incluem as cultivares americanas *Vitis labrusca* e a *Vitis bourquina*, bem como espécies híbridas que variam de uvas comuns a uvas finas (LAGO-VANZELA et al., 2015).

Aproximadamente 57% de todas as uvas produzidas no mundo são destinadas à produção de vinho, enquanto 36% são utilizadas como uvas de mesa e 7% destinadas para uvas secas (SANTOS et al., 2020). Em 2018, a produção mundial de vinho alcançou 294.162×10^5 milhões de litros (OIV, 2020). Os três principais produtores do mercado global são: Itália, França e Espanha com 19, 18 e 16% da produção mundial (KARLSSON; KARLSSON, 2021).

As exportações de uva no Brasil foram cerca de 73,2 mil toneladas no ano de 2023, um crescimento de 39% nas exportações quando comparado a 2022 (LIMA; GERALDINI, 2024). A região sul do país reconhecida como a principal

produtora nacional de uvas para a indústria vinícola, sendo o Rio Grande do Sul o estado com maior representatividade no setor (CONAB, 2020). Esses números destacam a vitivinicultura como um setor socioeconômico e cultural fundamental em muitos países e regiões do mundo, exercendo um alto impacto econômico em diversas cadeias de fornecimento e distribuição (SANTOS et al., 2020).

Dada a importância econômica da indústria vinícola global, é crucial compreender melhor a influência da variabilidade espacial e temporal na composição da uva, bem como identificar as resoluções espaciais e culturais na produção de vinhos terroir, que revelem as qualidades específicas de determinada unidade de produção (VAUDOUR et al., 2015). Portanto, desde o planejamento da instalação de um vinhedo, é fundamental considerar as variações locais dos fenômenos meteorológicos para antever os problemas e tomar as decisões mais assertivas na administração dos riscos (SANTOS; SILVA; MELO, 2020).

O Estado de Santa Catarina apresenta uma elevada amplitude térmica, próxima da 10°C (FERNANDES et al., 2022), e uma distribuição regular de chuva, sendo a precipitação de aproximadamente 150 mm mensais e em média 1790 mm anuais (GOTADO et al., 2018). As áreas de altitude, situadas acima de 900 metros em relação ao nível do mar, onde há o predomínio de solos adequados ao cultivo da videira (Cambissolos, Latossolos, Nitossolos e Neossolos), proporcionam condições ideais para o desenvolvimento da vitivinicultura. Localizadas entre as latitudes 26° à 28°S, essas áreas estão sob um clima subtropical úmido que favorece especialmente a produção de uvas finas (MALINOVSKI et al., 2021).

Os municípios de São Joaquim, Água Doce, Caçador, Campo Belo do Sul, Campos Novos, Urubici, Bom Retiro, Tangará e Videira destacam-se pela sua localização geográfica, com características climáticas e de altitude ideais para a produção de uvas de alta qualidade. As principais variedades viníferas cultivadas no estado de Santa Catarina incluem *Chardonnay*, *Cabernet Sauvignon*, *Merlot*, *Pinot Noir*, *Cabernet Franc*, *Malbec*, *Sauvignon Blanc*. Também são cultivadas espécies para processamento, como Niágara Branca, Isabel, Bordô, *Jaquez*, *Courdec 13* e variedades de mesa como *Venus* e Niágara rosada (BORGHEZAN et al., 2014; LAGO-VANZELA et al., 2015).

O clima é um fator determinante natural do potencial regional para a adaptação das variedades, assim como para a qualidade e tipicidade (típico de sua procedência geográfica, safra ou uva.) da produção vitivinícola (MALINOVSKI et al., 2021). No planalto catarinense, os ciclos fenológicos mais longos permitem períodos de maturação prolongados resultando em uvas com maior qualidade enológica (MALINOVSKI et al., 2016).

A temperatura do ar, precipitação, radiação solar e o vento são influenciados pela atuação dos sistemas atmosféricos e suas variabilidades, sendo cruciais para definir a qualidade da uva. A quantificação desses sistemas durante o desenvolvimento da videira, especialmente durante o período da maturação até a colheita em diferentes safras, é essencial para compreender a dinâmica dos cultivos sob a perspectiva climática em diferentes regiões produtoras de Santa Catarina (MALINOVSKI et al., 2021).

Para a vitivinicultura, é preferível uma menor frequência de precipitações durante a época da colheita, o que promove uma melhor sanidade dos frutos (MALINOVSKI et al., 2021). Quando combinadas com temperaturas do ar mais amenas, essas condições favorecem a completa maturação fenológica das uvas, contribuindo significativamente para a qualidade dos vinhos produzidos (MALINOVSKI et al., 2021).

A produtividade da videira está diretamente relacionada à assimilação de carboidratos por hectare, que ocorre através da fotossíntese. Esse processo é influenciado por diversos fatores, como temperatura, concentração de dióxido de carbono, atividade fotoquímica e bioquímica das folhas, estado hídrico da planta, concentração de nutrientes e demanda dos órgãos drenantes por fotoassimilados (SILVA, 2021).

A Geografia desempenha um papel crucial na vitivinicultura, pois quanto mais compreende-se dos locais, culturas e da geografia, mais compreendemos o vinho (DOUGHERTY, 2012). Busca-se constantemente alcançar a excelência em diversos segmentos da agricultura, estabelecendo uma referência de qualidade para os produtos comercializados. Nesse contexto surge o conceito de *Terroir*, termo de origem francesa sem tradução adequada para o inglês.

De acordo com a *International Organisation of Vine and Wine* (OIV), conforme a resolução OIV/VITI 333/2010, *Terroir* na vitivinicultura refere-se “uma

área em que o conhecimento coletivo das interações entre o ambiente físico e biológico identificável e práticas vitivinícolas aplicadas desenvolve, dando características diferenciadas para os produtos originários desta área. *Terroir* inclui solo específico, topografia, clima, características da paisagem e características da biodiversidade" (OIV, 2010)."

Esse conceito é aplicado geralmente a pequenas áreas, onde as características de solo e microclima conferem qualidades distintas aos produtos alimentícios. A palavra está particularmente associada à produção de vinhos de excelente qualidade (BARHAM, 2003). *Terroir* pode ser definido como o 'sabor do território', incorporando qualidades características que resultam dos efeitos específicos que o território exerce sobre o produto (PRIORI et al., 2014).

3.2 O SOLO NA VITIVINICULTURA

O solo apresenta heterogeneidade de seus atributos devido a seus fatores formação, diferenciando principalmente conforme sua dependência espacial (CARVALHO; TAKEDA; FREDDI, 2003). Esta variabilidade espacial nas características do solo já foi observada em diversos tipos de uso de solo (COMPAGNON et al., 2020; MACHADO et al, 2006; RIBEIRO et al., 2016), mas poucos trabalhos estudaram essa variabilidade do solo em área de cultivo vitivinícola (CARVALHO; TAKEDA; FREDDI, 2003; NASCIMENTO et al., 2014).

A variabilidade espacial dos atributos do solo pode ser influenciada pelos seus fatores de formação, onde podemos citar o material de origem, relevo, clima, organismos e tempo), mas também por fatores extrínsecos como a adubação, calagem, dentre outros (CARVALHO; TAKEDA; FREDDI, 2003). No caso da videira as características do solo, principalmente as químicas (Cálcio e Magnésio), normalmente são encontradas em excesso devido a calagem e adubação realizada na implantação do pomar (TECCHIO et al., 2012).

O solo influência a fenologia da videira e o amadurecimento da uva através da temperatura do solo, do abastecimento de água e do suprimento de minerais (VAN LEEUWEN; RESSÉGUIER, 2018). Outros estudos também revelaram variações nas características do vinho conforme o tipo de solo em que

a videira foi cultivada (PRIORI et al., 2019; RETALLACK; BURNS, 2016; PRIORI et al., 2014; PRIORI et al., 2013a; PRIORI et al., 2013b).

O solo e a geologia subjacente são fatores muito importantes para a produção de vinhos finos (BURNS, 2012). Mas embora a geologia da videira seja amplamente hipotetizada para contribuir significativamente para a tipicidade do vinho, ainda há pouco conhecimento embasado cientificamente sobre como essa conexão é estabelecida e quais parâmetros geológicos específicos estão envolvidos (PRIORI et al., 2019). As formas de relevo são um fator importante na drenagem do ar, resfriamento de elevação, prospecto solar, taxas de erosão, solo formação e a importância dos leques aluviais (DOUGHERTY, 2012).

A natureza do leito rochoso, juntamente com seu estado físico (cor, dureza, compactação, presença de pontos de fraqueza) e grau de intemperismo, influenciam fortemente as propriedades físicas e hidrológicas do solo, e consequentemente influenciam o desenvolvimento radicular e a absorção de água. A geoquímica da rocha afeta o pH do solo, o fornecimento de nutrientes e o equilíbrio, que são cruciais para o crescimento da videira e composição da uva.

3.3 A ÁGUA NO SOLO E A VIDEIRA

A água é fator fundamental no desenvolvimento de uma cultura, afetando, principalmente o desenvolvimento radicular e a absorção e transferência de nutrientes pelas plantas (REICHARDT et al., 1979). As culturas agrícolas são fortemente influenciadas pela disponibilidade hídrica, que depende da umidade do solo, granulometria, mineralogia, matéria orgânica e estrutura do solo (REICHERT et al., 2020).

O solo atua em alguns processos que interferem no regime térmico, armazenamento e fornecimento de água e nutrientes para as plantas (ALBUQUERQUE et al., 2021). A fisiologia da videira é fortemente influenciada pela água presente na videira, pois em falta causa crescimento dos rebentos e frutos de menor tamanho (VAN LEEUWEN; ROBY; RESSEGUIER, 2016).

A utilização de irrigação nos períodos de déficit hídrico tende a garantir um maior crescimento da videira e qualidade do fruto (NADAL; AROLA, 1995). Já a

condição de estresse hídrico por excesso pode prejudicar a fotossíntese provocando um amadurecimento emperrado (VAN LEEUWEN; ROBY; RESSEGUIER, 2016).

Bonfante et al (2015), identificou em uma área de videiras de 3 anos instalada com a cultivar Aglianico e porta-enxerto 1103 Paulsen, que na safra de 2013, houve menor temperatura registrada durante o ciclo da cultura e maior precipitação durante o amadurecimento. Como consequência, a acumulação de graus dias foi mais lenta. Identificou-se que nessa safra respectiva as uvas apresentaram menor teor de açúcares, maior peso e menor densidade de bagas.

Em um experimento com uvas da cultivar Shiraz, as uvas responderam ao déficit hídrico com uma redução no tamanho da baga, possibilitando uma maior concentração dos açúcares. Autores (OJEDA et al., 2002; Priori et al., 2019) identificaram uma resposta direta na biossíntese fenólica o qual variava conforme o período do déficit hídrico aplicado, podendo deste modo, ser positiva ou negativa para a qualidade da uva e também variações na acidez e ácido málico na safra de 2014 que teve por característica de verão ameno e úmido, enquanto a safra de 2012, que foi caracterizada por temperaturas mais intensas e chuvas escassas produziu mostos com baixo teor de ácido málico e menor teor polifenóis e antocianinas.

Matthews e Anderson (1988) Identificaram valores alterados de acidez titulável, Brixº e Potássio na uva conforme déficit hídrico encontrado. Bonfante et al. (2015) estudou o estresse hídrico de uma videira com dois tipos de solo característicos classificados de acordo com a classificação da FAO, sendo eles o Calcisol Câmbico (CAL fHZ) e o Cambissolo Eutrico (CAM fHZ) e identificaram que o estresse hídrico sentido pelas plantas durante os 3 anos de pesquisa foi 22% maior no solo CAL fHZ. Ao mesmo tempo, as uvas presentes no solo Calcisol Câmbico foram mais ricas em açúcares, antocianinas e polifenóis totais confirmando que o tipo de solo interfere no Terroir da videira.

A resistência do solo a penetração interfere diretamente na produção das culturas agrícolas prejudicando o desenvolvimento das raízes e consequentemente a absorção de água e nutrientes (OLIVEIRA et al., 2022). A resistência a penetração pode ser mensurada através de penetrômetros que

identificam a força necessária para penetração no solo e com isso a sua quantificação (TUBA et al., 2021).

O estado de água na videira depende diretamente da Capacidade de Retenção de Água no Solo (SWHC), pluviosidade, Evapotranspiração de Referência (ET0), variedade de videira, porta-enxerto e sistema de condução (VAN LEEUWEN; ROBY; RESSEGUIER, 2016). As propriedades físicas do solo, como textura, estrutura, drenagem interna e profundidade do solo, influenciam a temperatura do solo, as relações solo/água e o desenvolvimento radicular, o que posteriormente influencia a nutrição hídrica e química da videira (PRIORI et al., 2019). O estado hídrico do solo afeta fortemente a qualidade da uva (BONFANTE et al., 2015).

A água do solo é armazenada na porosidade do solo, a água é drenada dos grandes poros do solo ($> 10 \mu\text{m}$ de diâmetro). A água em poros extremamente pequenos ($<0,2 \mu\text{m}$ de diâmetro) não pode ser extraída pelas raízes da videira (VAN LEEUWEN; RESSÉGUIER, 2018). Os poros na faixa de $0,2 \mu\text{m}$ a $10 \mu\text{m}$ podem armazenar água contra drenagem profunda e, no entanto, liberá-la progressivamente para as videiras.

A porcentagem do volume total do solo dentro dessa faixa de tamanho de poro ($0,2 \mu\text{m}$ a $10 \mu\text{m}$) varia de acordo com a textura do solo: aproximadamente 5% em um solo muito arenoso, 10% em um solo muito argiloso e 20% em um solo muito siltoso, portanto, a textura do solo tem um grande impacto na capacidade de retenção de água do solo (VAN LEEUWEN; RESSÉGUIER, 2018).

A maioria das videiras no Brasil está localizada em áreas de encosta e, como parâmetro topográfico, a posição da encosta tem uma influência indireta nas propriedades físico-químicas do solo, controlando o movimento da água e do material em suspensão e contribuído para as diferenças espaciais das propriedades do solo (MAGDIC et al., 2022; HANNA; HARLAN; LEWIS, 1982).

Apesar da toposequência na encosta nem sempre alterar a classe de solo, ela afeta diretamente os atributos do solo e controla a dinâmica da paisagem pedológica em vários processos, tais como alteração de componentes da acidez, reatividade da fração argila, dispersão de íons na encosta e trajetória de fluxo do escoamento superficial (MANRIQUEZ et al., 2024).

Em um experimento conduzido por Boyer et al. (1990), identificou-se que a água disponível foi menor nos locais de encosta quando comparados ao cume. O mesmo estudo apontou que quanto maior o teor de argila, menor a capacidade de infiltração e menor foi a disponibilidade de água. Afyuni, Cassel e Robarge (1993) identificaram que, em um solo arenoso, a posição do declive do terço inferior da encosta teve o menor teor total de água.

A topografia é, portanto, um fator dominante que influência a variação das propriedades do solo devido à sua influência no escoamento superficial, drenagem, microclima e erosão do solo (WANG et al., 2001). Magdic et al (2022), identificaram em um solo de videiras na Croácia, diferenças nos teores de areia, silte, argila, iodo, húmus e retenção de água, conforme a posição na encosta. Diferenças de quantia de húmus também foram encontradas quando comparado a avaliação na linha e na entrelinha, indicando um possível preparo de solo que possa ter influenciado nestes valores. Estudos em solos com rochas cacárias apontam variação do pH do solo conforme sua posição na encosta, sendo que valores menores de pH são encontrados normalmente no terço inferior da encosta (SUN et al., 2021; AMUYOU; KOTINGO, 2015).

O material de origem tem relação direta com a retenção de água, pois afeta a granulometria e a mineralogia dos solos formados (ALBUQUERQUE et al., 2021). A retenção de água é influenciada pela origem do solo, sendo que é maior em solos derivados de rochas ígneas extrusivas da Formação Serra Geral, rochas metamórficas, rochas ígneas intrusivas e rochas sedimentares de textura fina. A umidade do solo em capacidade de campo e no ponto de murcha permanente é maior nos Cambissolos (especialmente nos Cambissolos Húmicos), Nitossolos e Latossolos (COSTA et al., 2013).

A granulometria, mineralogia, matéria orgânica, estrutura, cargas de superfície, entre outros atributos do solo, influenciam também a disponibilidade de água para as plantas (ALBUQUERQUE et al., 2021; REICHERT et al., 2020). A análise granulométrica quantifica os teores de areia, silte e argila da fração terra fina. Solos de granulometria mais fina tendem a reter mais água, tanto na capacidade de campo, como no ponto de murcha permanente (ALBUQUERQUE et al., 2021).

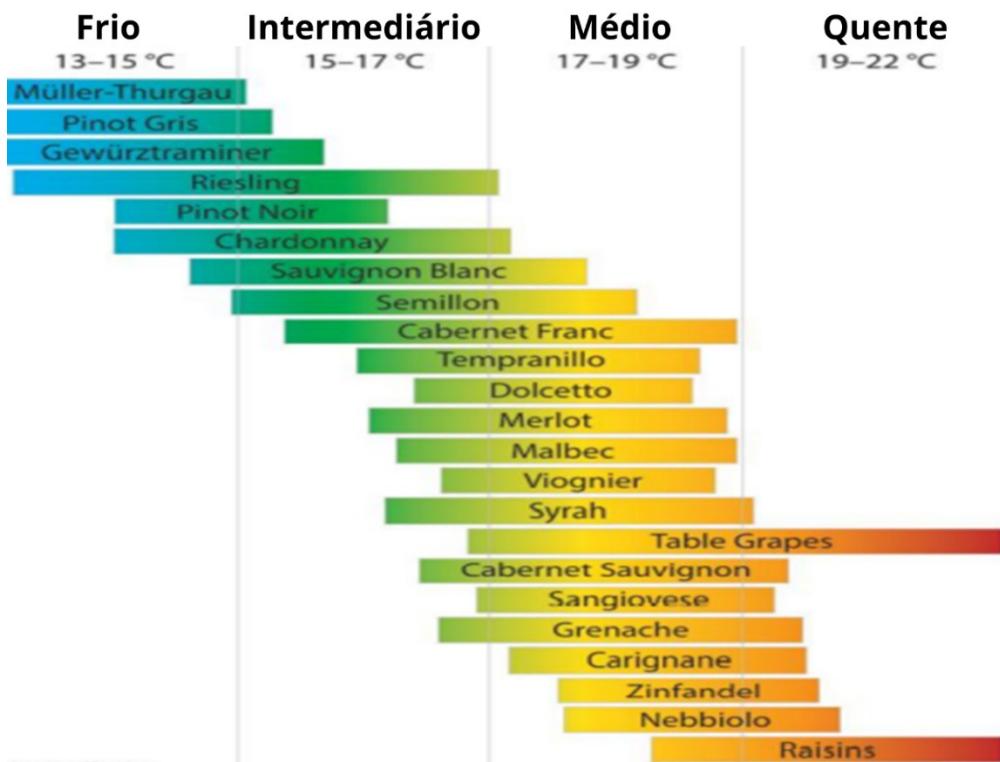
3.4 A INTERAÇÃO DE SOLO, PLANTA E ATMOSFERA

A interação entre solo, planta e atmosfera é fundamental para o desenvolvimento e produtividade das culturas, incluindo a vitivinicultura. O solo serve como o meio de suporte físico e nutricional das plantas, proporcionando o ambiente onde elas se desenvolvem. Suas propriedades físicas, como textura, estrutura, porosidade e capacidade de retenção de água, desempenham papéis cruciais no crescimento radicular e, consequentemente, no desenvolvimento da parte aérea das plantas (REICHARDT et al., 1979; REICHERT et al., 2020; ALBUQUERQUE et al., 2021).

Além das propriedades do solo, a atmosfera também desempenha um papel crucial. Ela engloba elementos climáticos como temperatura, umidade e radiação solar, que são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (MALINOVSKI et al., 2021). A temperatura influencia diretamente processos metabólicos e fenológicos das plantas, enquanto a umidade atmosférica e a radiação solar são essenciais para a fotossíntese e transpiração, afetando a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

As variedades de uvas para vinho são agrupadas conforme a maturação, sendo as precoces, como intermediária e tardia, sendo que a variação em dias da precoce para a tardia é de aproximadamente 35 dias, ou seja, enquanto as precoceces completam o ciclo vegetativo em 245 dias, as tardias levam 280 dias aproximadamente para completar seu ciclo vegetativo (MANDELLI et al., 2003). Como exemplo, nas variedades precoces como Müller Thurgau, Gewürztraminer e Chardonnay, adaptadas a climas frios e estações de crescimento curtas. Por outro lado, variedades de maturação tardia, como Cabernet Sauvignon, Mourvèdre e Grenache, necessitam de estações de crescimento mais longas e quentes (Figura 1).

Figura 1: Agrupamentos clima-maturidade das cultivares vitícolas com base nas temperaturas médias da estação de crescimento



Fonte: Adaptado de JONES, 2018

Essas interações climáticas são perceptíveis para os consumidores, que identificam nos vinhos de climas frios características como menor teor alcoólico, acidez pronunciada, corpo mais leve e sabores de frutas tipicamente brilhantes (Tabela 1). Em contraste, vinhos de climas quentes tendem a apresentar maior teor alcoólico, acidez suave, corpo mais encorpado e sabores de frutas mais intensos (JONES, 2018).

Temperaturas mais elevadas durante o período vegetativo resultam em fases fenológicas mais precoces e uma tendência de aumento do teor de açúcar nas uvas (LEOLINI et al., 2019). Fatores climáticos como radiação solar, temperaturas extremas (geadas e estresse por calor), acúmulo de calor, vento, precipitação, umidade e características de equilíbrio hídrico do solo têm impacto direto no crescimento da videira, produtividade e qualidade do vinho. Esses fatores ainda podem ser controlados pelas variações da paisagem e do solo, criando uma variedade de interações complexas dentro desses sistemas (JONES, 2018).

Vinhos de diferentes países ou regiões podem ser diferenciados por meio de sua composição química e/ou perfis sensoriais.

Tabela 1: Efeito do clima na expressão do *terroir* nas características do vinho

| Características | Clima frio | Intermediário | Clima quente |
|-------------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| Estilo de frutas | Magro, Tarte | Maduro, Suculento | Muito maduro, Exuberante |
| Sabores Brancos | Maçã, Pera | Pêssego, Melão | Manga, Abacaxi |
| Sabores Vermelhos | Amora, Cereja | Baga, Ameixa | Figo, Poda |
| Corpo | Leve | Médio | Cheio |
| Acidez | Fresco, Tangy | Integrado | Suave |
| Álcool | Baixo a moderado | Moderado a Alto | Alto a Muito Alto |
| Estilo geral | Sutil, Elegante | Intensidade Média | Audacioso |

Fonte: Adaptado de JONES, 2018

Enquanto o clima é o fator dominante que controla o potencial de maturação e as características do vinho, a geologia e o solo produzem diferenças sutis e/ou a expressão das características dos frutos e estilos de vinho dentro do mesmo clima ou região (JONES, 2018).

Como a videira absorve os nutrientes do solo, estes devem estar em quantidades ideais. Dentre os nutrientes, o nitrogênio é o que mais influência na caracterização aromática do vinho, afetando o rendimento, o vigor, o crescimento da parte aérea, o tamanho da baga, a acidez da uva, o teor de açúcar, os compostos fenólicos da casca e compostos do aroma da uva (VAN LEEUWEN; ROBY; RESSEGUIER, 2016). A atividade microbiana do solo também contribui para disponibilização de Nitrogênio para as plantas. No entanto, apesar de poucos estudos relacionados, uma atividade microbiológica muito alta no solo poderia resultar na liberação excessiva de nitrogênio, o que é prejudicial à qualidade do vinho (VAN LEEUWEN; RESSÉGUIER, 2018).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma das áreas da vinícola Berto Aguiar, situada no município de Curitibanos, SC. A área de estudo, localizada nas coordenadas geográficas centrais de 27°12'24"S e 50°37'10"W (Figura 2), tem aproximadamente 3500m² (119x34m). A área de estudo foi dividida em terço superior, médio e inferior, conforme a altitude e posição no relevo. O terço superior encontra-se a aproximadamente 940 metros, o terço médio a 926 m de altitude, e o terço inferior a 918 metros de altitude. A declividade na área é em média de 20 % (de acordo com a plataforma SIG SC), e o relevo forte-ondulado (EMBRAPA, 2018).

Figura 2 - Mapa de localização da Vinícola Berto Aguiar



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A área de estudo é heterogênea, com um relevo que varia de levemente plano a fortemente ondulado, o que favorece o escoamento superficial da água (

Figura 3). De acordo com o administrador técnico da propriedade, essa variação nas características do solo é evidente até mesmo no desenvolvimento das videiras, que apresentam diferenças de crescimento dependendo de suas posições ao longo da encosta. O solo é coberto por pastagem em toda a área das videiras, o que contribui para o armazenamento de água e a regulação da temperatura do solo.

Figura 3 – Área de cultivo de videiras na vinícola Berto Aguiar, onde se observa a cobertura verde, método de condução e declividade da área



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

No local, são cultivadas videiras para a produção de vinhos finos das cultivares Pinot Noir, Syrah, Sauvignon Blanc, Chardonnay e Moscato, sendo que na área de estudo são cultivadas 680 videiras para a produção de vinhos finos e destas, 68 videiras, sendo 58 Sauvignon Blanc e 10 Syrah foram previamente georreferenciadas para os estudos a serem realizados. Na área, foi utilizado o porta-enxerto Paulsen 110 e a condução é em espaldeira com cordão esporonado simples (). A região é classificada como clima Cfb, segundo Köppen, ou seja, clima temperado, constantemente úmido, com verão ameno (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual varia de 15,8 a 17,9°C, a temperatura média das máximas varia de 22,3°C a 25,8°C, e das mínimas de 10,8°C a 12,9°C, sendo que no mês de agosto de 2024 as temperaturas chegaram a -3,5°C, conforme dados da estação meteorológica PlugFiled presente na área do projeto. A precipitação pluviométrica total anual, pode variar de 1.460 a 1.820 mm (EMBRAPA, 2012).

Figura 4 - Videiras conduzidas no sistema espaldeira com cordão esporonado



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.2 DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO

Na área de estudo, foram abertas 3 trincheiras até o contato lítico (Figura 5) para descrição completa de acordo com o manual de descrição e coleta de solo no campo (SANTOS et al., 2005).

Figura 5 – Coleta de perfis do terço superior/média/inferior da área de estudo da Vinícola Berto Aguiar



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Foram realizadas análises físicas e químicas dos perfis de solo da vinícola Berto Aguiar de acordo com os conceitos estabelecidos pelo SiBCS (SANTOS et al., 2018) sendo que as principais análises realizadas estão descritas abaixo.

4.2.1 Granulometria

Seguiu-se o estabelecido por Donagemma et al. (2017), onde se utilizou snap-caps, adicionando 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA), com 10 ml de hidróxido de sódio 1M (NaOH 1M), e 70 ml de água destilada. Os snap-caps passaram por agitação de 4 horas, onde após esse período passou pela separação da areia através da peneira de 0,53 mm, sendo que a fração silte e argila ficaram em decantação, em provetas de 1000 ml (), com volume completado com água no tempo estabelecido no método de Donagemma et al. (2017). Após o período indicado, com auxílio de uma pipeta de 25 ml, realizou-se a extração da fração argila. As frações foram secas em estufa de 105°C pelo período de 48h para posterior quantificação das mesmas. A fração silte foi calculada de acordo com a diferença dos percentuais de areia e argila, levando em conta o fator de correção da umidade.

Figura 6 – Provetas de 1000 ml com as frações silte e argila



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4.2.2 pH em água e pH em KCL

Foi mensurado através do método descrito por Teixeira, Campos e Saldanha (2017), que consistiu na utilização de 10 g. de TFSA em um copo plástico de 100 ml, adicionando água, e em outro copo com 10 g. de 100 ml, adicionando KCl 1 mol.L⁻¹. Após agitação das amostras com bastão de vidro, aguardou-se 1 hora para mensuração através de um pHmetro e eletrodo de bancada previamente calibrado.

4.2.3 Carbono Orgânico

Foi analisado através da metodologia de Walkley & Black (1934), que consiste na separação macerada de aproximadamente 0,500 g de TFSA, em um erlenmeyer de 250 ml com 15 ml de Dicromato de Potássio (K₂CrO₇ 1,25 mol_c L⁻¹), agitando-o e adicionando em sequência 30 ml de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). Aqueceu-se a amostra com uma chapa até atingir 150°C e deixou-se esfriar em um pano sobre a bancada para evitar choque térmico. Adicionou-se 100 ml de água destilada, homogeneizou-se a amostra, adicionou-se 3 gotas do indicador ferroin. A titulação foi efetuada com sulfato de ferro (FeSO₄), onde se inseriu a solução com auxílio de uma buretra até obter a mudança de cor. Para ser possível observar a variação na cor, utilizou-se uma luminária refletida próximo ao frasco.

4.2.4 Óxidos de Ferro e Óxidos de Alumínio

Realizada através do equipamento de marca e modelo específico, módulo Omnia, semi-quantitativa, aparelho de fluorescência de Raio-X conforme descrito por Almeida et al. (2020). Para utilização do equipamento de fluorescência, foi necessário realizar a separação total da fração argila de acordo com o método descrito por Donagemma, Calderano e Viana (2017), alterando o tempo de retirada da fração argila para 12 horas, com volume retirado até 10, cm

utilizando uma mangueira de chuveiro como cifão e cuidado para evitar a vinda da fração silte.

4.2.5 Alumínio, Cálcio e Magnésio

Utilizou-se da metodologia preconizada por Tedesco et al. (1995), onde cada amostra com aproximadamente 2,5 g. de solo foi inserida em snap-cap de 100 ml. Adicionou-se 50 ml de KCl 1M a amostra, e, com os frascos fechados, agitou-se por meia hora em um agitador automático horizontal, para então deixá-los decantarem por 18 horas. Após esse período, com ajuda de pipetas e pipetadores, retirou-se 25 ml para determinação do Al e 5 ml para determinação do Ca e do Magnésio. O Al foi determinado por titulação e o Ca e Mg, através do espectrofotômetro de absorção, com as curvas de calibração do Ca e Mg previamente preparadas.

4.2.6 Sódio e Potássio

Utilizou-se a metodologia preconizada por Tedesco et al. (1995), onde se utilizou aproximadamente 3 g de solo em um erlenmeyer de 50 ml, adicionou-se a solução P-A e após 5 minutos de agitação no agitador horizontal. As amostras permaneceram em repouso até o dia seguinte, onde se retirou aproximadamente 6 ml do sobrenadante, transferindo-os para copos plásticos. Após calibração da curva no equipamento, procedeu-se à leitura do K^+ e do Na^+ no espectrofotômetro de emissão.

4.3 ANÁLISES FÍSICAS GEORREFERENCIADAS PARA MAPEAMENTO E COMPARAÇÃO

Foram realizadas as coletas de amostras de solo deformadas e amostras de solo indeformadas, em anéis de altura 5 cm de diâmetro médio de 6 cm, com volume alternando de 131 a 172 cm^3 , para realização das análises físicas do solo em 17 pontos georreferenciados nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

Analisou-se nestes pontos a granulometria, densidade do solo, porosidade e curva de retenção de água no solo segundo a metodologia preconizada por TEIXEIRA et al. (2017), sendo que para finalização da curva de retenção utilizou-se do psicrômetro wp4c da empresa METER GROUP (Figura 7) que mensura a umidade do solo no ponto de orvalho. Nestes 17 pontos, foi avaliada também a resistência a penetração com auxílio de um penetrômetro com GPS da Royal Eijkelkamp (Modelo 06.15.SA), e a estabilidade de agregados em água (KEMPER; CHEPIL,1965).

Figura 7 – Psicrômetro WP4C utilizado para obter a pressão no ponto de orvalho para posterior identificação dos valores de umidade e pressão a 15 bar



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.3.1 Granulometria

As amostras deformadas coletadas (Figura 8) foram avaliadas quanto à granulometria, que permite a separação das frações de argila, silte e areia do solo (DONAGEMMA et al., 2017). Por meio dessa identificação, é possível determinar a sua classe textural conforme a quantidade das frações observadas.

Figura 8 – Coleta de amostras de solo em anéis volumétricos e em estrutura de solo não preservada



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4.3.2 Densidade e Porosidade

A avaliação da densidade foi realizada conforme descrito por Almeida et al. (2017), onde se obtém a massa por pesagem e o volume pela coleta de amostras de solo com estrutura indeformada por meio de um cilindro de volume interno conhecido.

Já a porosidade foi obtida através dos cálculos sucessivos da umidade volumétrica nos potenciais (TEIXEIRA; BEHRING, 2017) com base nos dados obtidos pela análise de retenção de água (4.3.5 Retenção de Água no Solo).

4.3.3 Resistência à Penetração

A resistência à penetração foi avaliada nos 17 pontos previamente georreferenciados com auxílio de um penetrômetro com GPS da Royal Eijkelkamp (Modelo 06.15.SA).

4.3.4 Estabilidade de Agregados em água

Amostras deformadas de solo foram coletadas em 17 pontos, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, e foram avaliadas quanto à estabilidade dos agregados em água. Este método envolve a imersão dos agregados em água e a medição de sua resistência à desintegração, proporcionando informações sobre a coesão entre as partículas do solo.

4.3.5 Retenção de Água no Solo

Os solos coletados foram avaliados quanto à retenção de água no solo pelo método da mesa de areia e da câmara de Richards (TEIXEIRA; BEHRING, 2017) até a pressão de 1000 kPa. Através dos dados das diferentes pressões aplicadas na mesa de areia, nas câmaras de Richards e com a leitura final dos valores do WP4C. Os dados foram submetidos ao sistema SWRC (SWRC, 2001) para geração da equação de van Genuchten (1980) e os gráficos foram gerados através do aplicativo Grapher 8 (Golden Software, 2011).

4.4 ANÁLISE DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A capacidade de infiltração de água no solo foi realizada através da utilização do infiltrômetro de anel (MANTOVANI; BERNARDO & PALARETTI, 2006) em três períodos (14, 15 de dezembro de 2023 e 27 de março de 2024). Devido às Intempéries climáticas, poucos dias foram favoráveis para execução desta análise. A análise de infiltração de água no solo foi realizada em dois pontos da área. O primeiro ponto está no terço superior da área de estudo (940 m de altitude), e o segundo ponto, no terço inferior da área, a 918 m de altitude (Figura 9).

Figura 9 – Análise de Infiltração de água no solo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os perfis de solo foram analisados através da análise *Algorithms for Quantitative Pedology* (AQP). O AQP é uma ferramenta na linguagem de programação R, que permite a visualização do levantamento de solos realizado a campo. É possível visualizar através desta ferramenta as propriedades físicas e químicas do solo em profundidade e compará-las entre os perfis coletados.

A granulometria foi analisada através do triângulo textural e do boxplot com as informações de areia, silte e argila encontrados. Os solos coletados também foram avaliados através da análise de componentes principais (KASSAMBARA; MUNDT, 2020) e da correlação de Pearson através da matriz de correlação.

A resistência à penetração foi avaliada através de gráfico de diagrama de caixa na linguagem de programação R (BEAUDETTE; ROUDIER; BROWN, 2023; BEAUDETTE; ROUDIER; O'GEEN, 2013). Os códigos utilizados para esta análise podem ser observados nos anexos A, B e C. Para a análise de infiltração, utilizou-se a equação logarítmica presente no aplicativo Excel para geração dos gráficos.

Os dados obtidos através do WP4C foram ajustados para identificação da umidade no ponto de orvalho, na pressão de 1500 kPa, através do recurso de linha de tendência do Excel. A curva de retenção utilizou o sistema SWRC (SWRC, 2001) para geração dos dados da equação de van Genuchten (1980) e

os gráficos foram gerados através do aplicativo Grapher 8 (Golden Software, 2011).

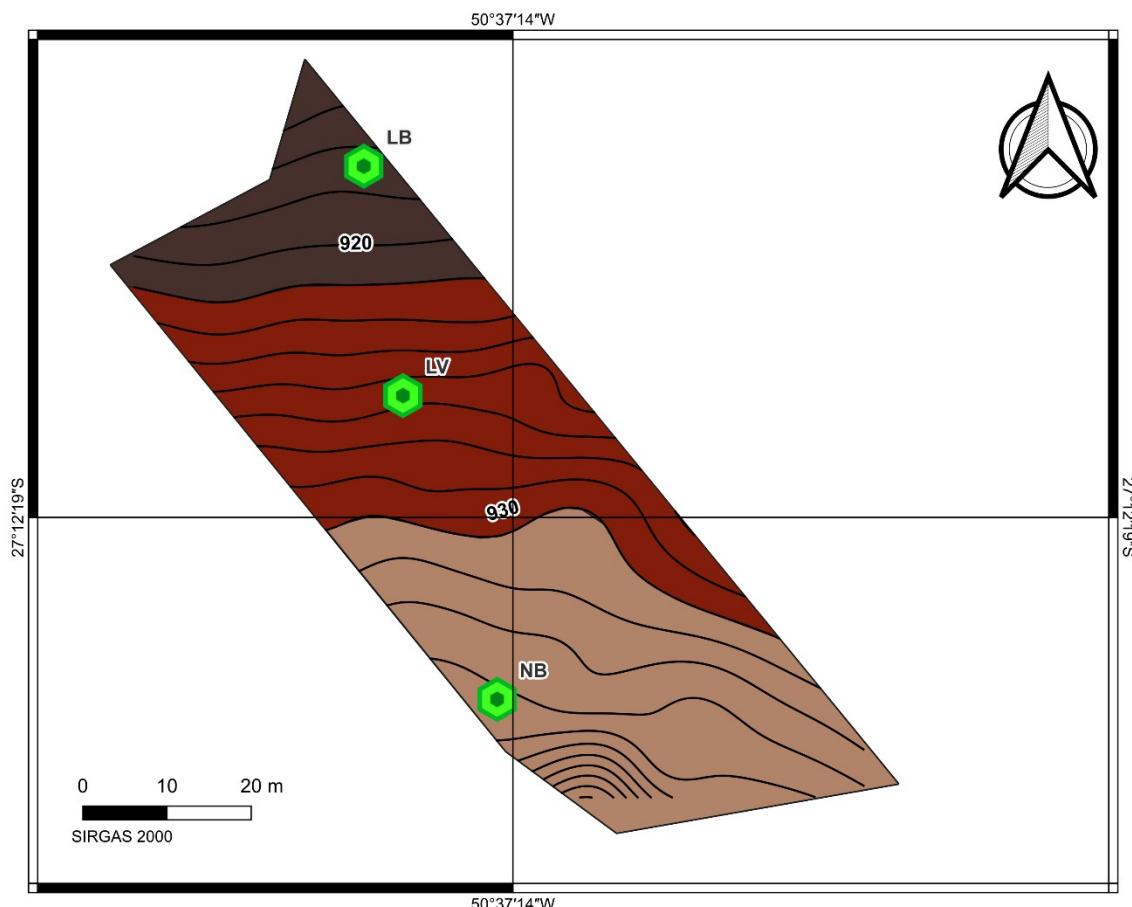
Os mapas das características físicas presentes na área foram obtidos através do formato de bolhas disponível no software QGIS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO

O perfil de solo do terço inferior (Figura 10), posicionado há 918 metros de altitude, foi classificado com LATOSSOLO BRUNO Distroférrico típico – LB (Tabela 2, anexo D). O perfil do terço médio da área (926 m de altitude) foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico - LV. Já o perfil terço superior da área (940 m de altitude) foi classificado como NITOSSOLO BRUNO Distroférrico típico - NB.

Figura 10 – Levantamento altimétrico da área com destaque aos três perfis de solo dispostos em distintas posições do relevo na área de estudo: terço superior (940m), terço médio (926m) e terço inferior (918m).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A coloração do solo nos perfis classificados variou entre bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido) no NB para bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmido) no LV e bruno avermelhado escuro (5YR 2,5/2, úmido) no LB. As principais características que diferenciaram estes perfis de solo foram a presença de cerosidade, cor do solo e a presença de mosqueado presente no NB (Tabela 2).

Tabela 2 – Principais características morfológicas dos solos classificados

| Sol | Altitud e (m) | Cerosidad e | Mosquead o | Horizonte A | | Horizonte B | |
|-----|------------------|----------------|---------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | | | | Cor úmid a | Valor/ Croma | Cor úmid a | Valor/ Croma |
| NB | 940 | mo-fo-co | sim | be | 7,5YR 3/2 | bae | 5YR ¾ |
| LV | 926 | au | não | bme | 7,5YR 2,5/2 | bae | 2,5YR 2,5/3 |
| LB | 918 | po | não | bae | 5YR 2,5/2 | be | 7,5YR 3/4 |

*Solo: NB: NITOSSOLO BRUNO, LV: LATOSSOLO VERMELHO, LB: LATOSSOLO BRUNO.

*Cerosidade: mo: moderada, fo: forte, co: comum, au: ausente, po: pouca.

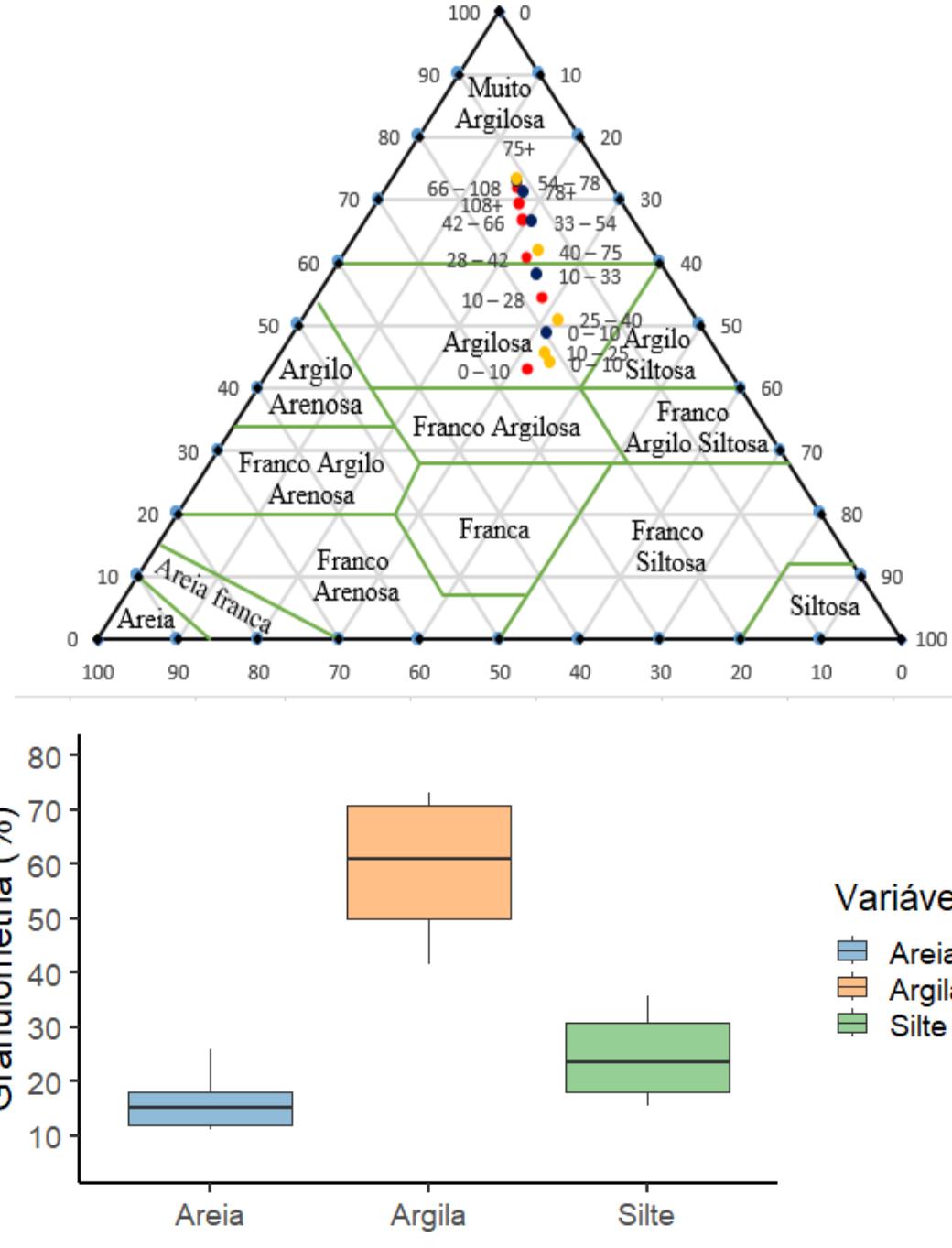
*Cor úmida: be: Bruno-escuro, bme: Bruno-muito-escuro, bae: Bruno-avermelhado-escuro

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A textura do solo apresentou-se argilosa nas camadas superiores do solo, passando a muito argilosa nas camadas inferiores do solo (). Este incremento nos teores de argila é observado principalmente após os 30 cm de profundidade no solo. Apesar da diferença existente entre as classificações dos solos, os mesmos não tiveram variação significativa nas suas características físicas e químicas. Através do Boxplot é possível identificar a variação de areia, argila e silte nos perfis analisados. A argila variou de 50 a 70%, indicando ser predominante nos solos estudados. O silte variou de 20% a 40%, enquanto a areia variou 10 a 20%, tendo a menor representatividade na área de estudo.

Gráfico 1 – Triângulo textural dos perfis coletados no terço superior (vermelho), terço médio (azul) e terço inferior (amarelo) identificados na área de estudo e

Boxplot do Silte, Argila e Areia



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

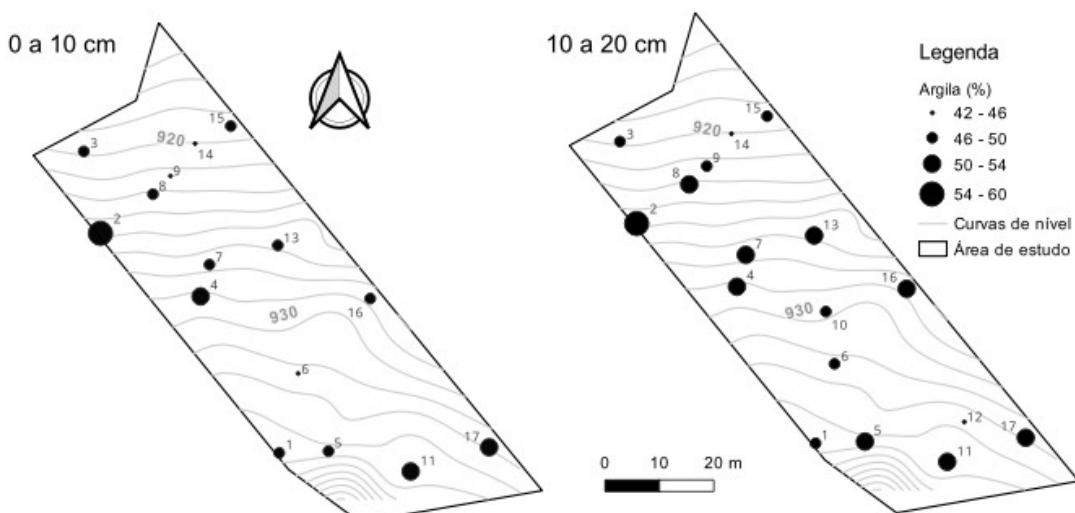
5.2 ANÁLISES FÍSICAS GEORREFERENCIADAS PARA MAPEAMENTO E COMPARAÇÃO

5.2.1 Granulometria

A classe textural do solo foi classificada como argilosa nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm dos pontos analisados. Isto era esperado, considerando o observado nos perfis de solo na etapa de descrição e classificação do solo (Item 5.2), onde a partir de 30 cm a textura do solo apresentou-se muito argilosa.

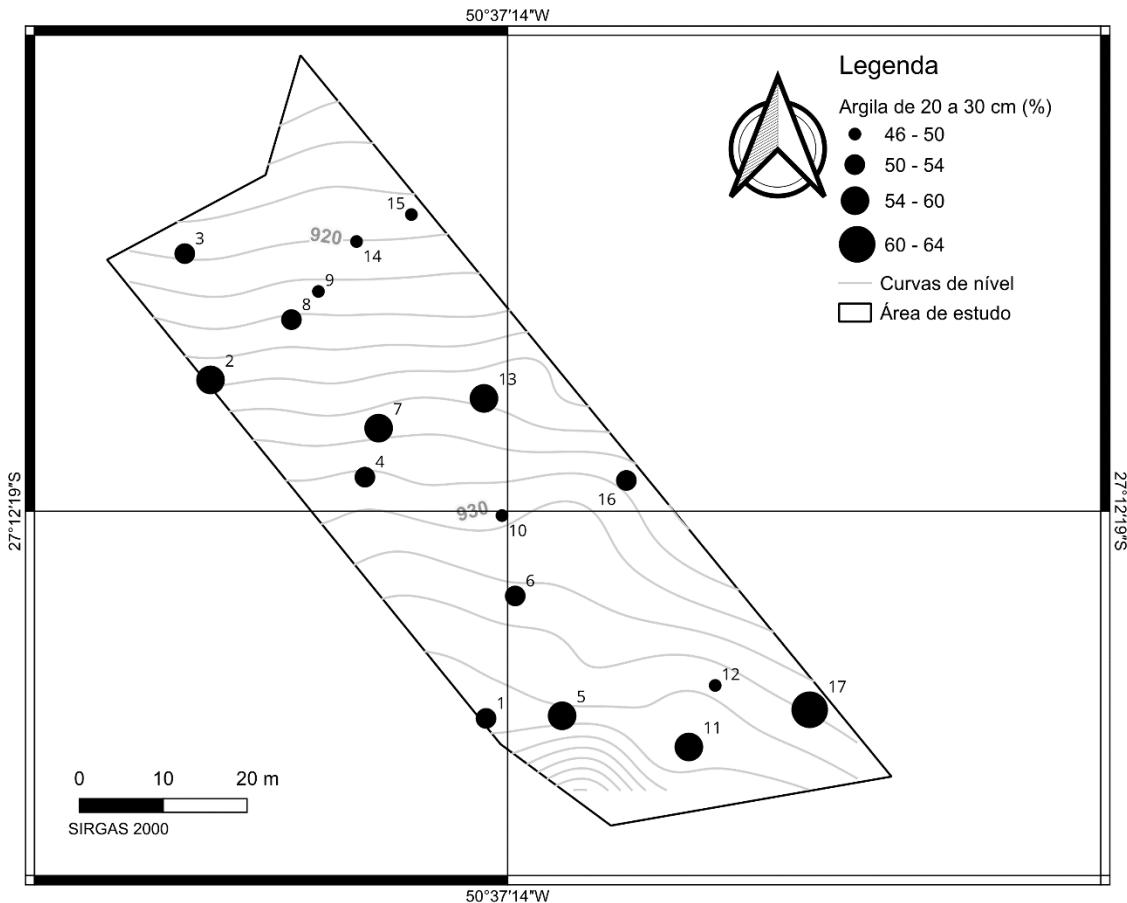
Ao observar os mapas gerados através do QGIS (Figura 11), identifica-se que, principalmente após a profundidade de 20 cm, a argila é menor no LB (Figura 12). Solos argilosos favorecem o crescimento das raízes e o desenvolvimento de culturas em geral, principalmente devido à economia hídrica ocasionada pela maior quantidade de microporos presentes no solo (MAGALHÃES; BLUM; FERNANDES, 1986). Em áreas de vitivinicultura, observam-se diferenças de crescimento e desenvolvimento da videira conforme o tipo de solo. Solos argilosos têm um desenvolvimento inicial mais lento quando comparado a solos arenosos, porém o ciclo vegetativo é favorecido em áreas onde o solo é argiloso (ROSIER; CARBONNEAU, 1995).

Figura 11 – Argila no solo nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 12 – Porcentagem de argila na profundidade de 20 a 30 cm

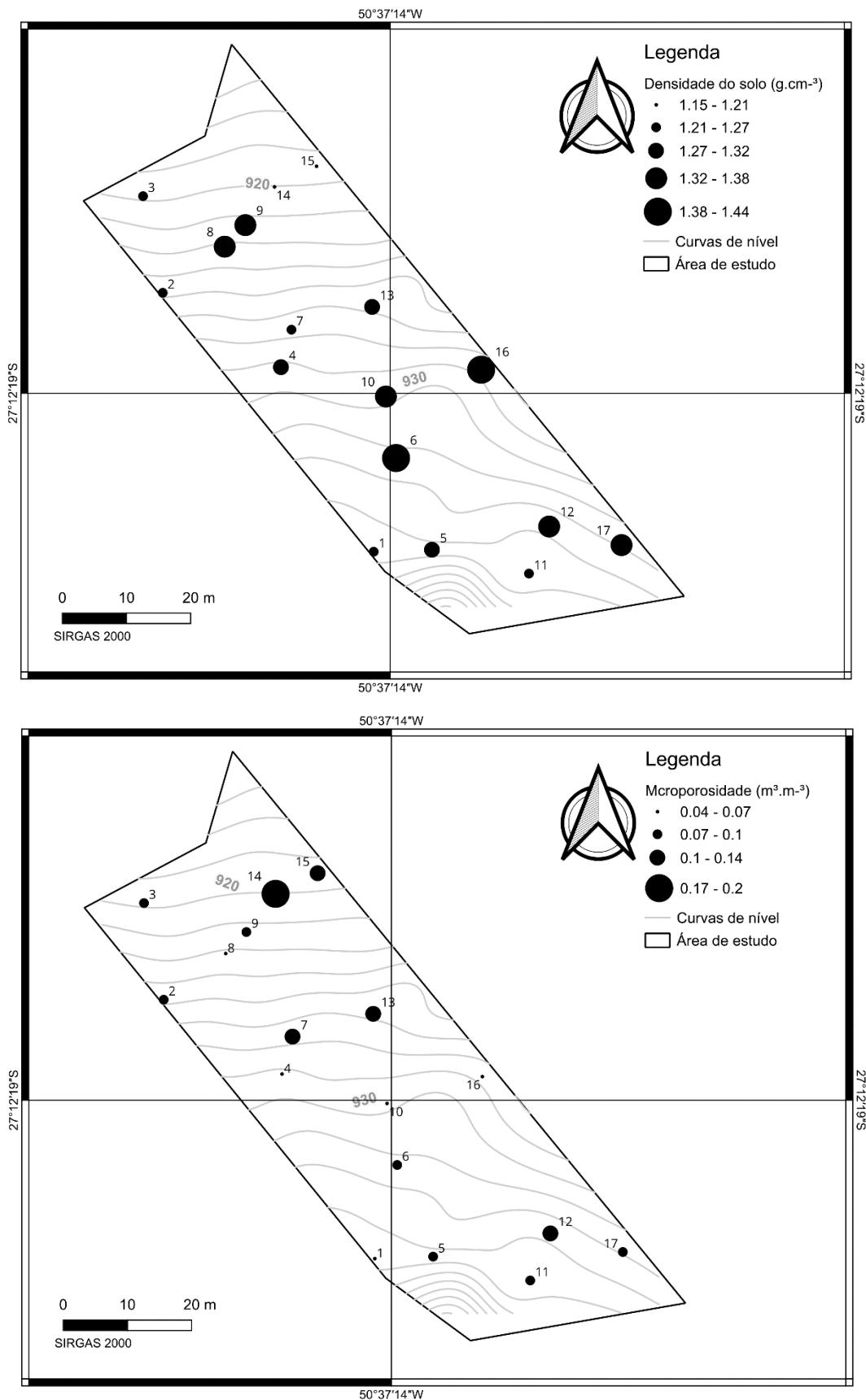


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5.2.2 Densidade e Porosidade

A densidade e a macroporosidade apresentaram diferenças entre os pontos coletados. É possível observar através da , principalmente na profundidade de 20 a 30 cm, a diferença da densidade e da macroporosidade do solo encontrada na área.

Figura 13 – Densidade e macroporosidade do solo na camada de 20 a 30 cm



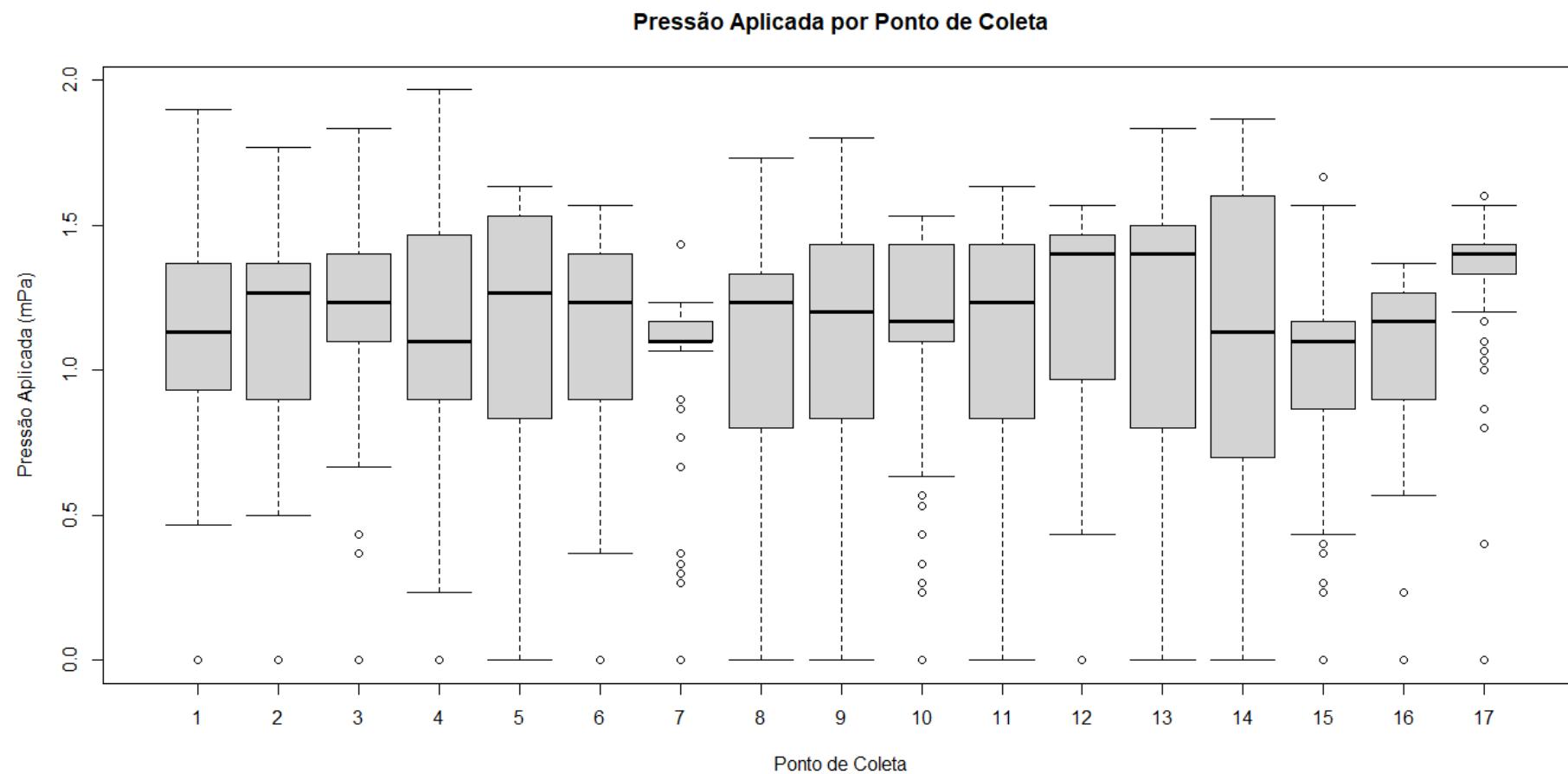
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Esta variação de densidade e porosidade conforme a posição na encosta já foi vista por outros autores (RAMOS et al., 2013; BRITO et al., 2006; LIMA et al., 2009), sendo que Ramos et al. (2013) identificaram densidade do solo menor no terço inferior da encosta quando comparado ao terço superior, em Latossolos e Argissolos no município de Itaboraí, RJ. Porém Ramos et al. (2013) identificaram menor macroporosidade no terço inferior da encosta.

5.2.3 Resistência à Penetração

O gráfico elaborado com os dados do penetrômetro permite visualizar diferenças de pressões aplicadas conforme o ponto analisado (Gráfico 2). A umidade observada a campo no dia da análise foi aproximadamente $30\text{ m}^3\text{m}^{-3}$, que é um valor próximo da umidade na capacidade de campo. Ao observarmos a resistência à penetração, identificamos que, apesar de em média passarem de 1,0 MPa, não ultrapassam o valor crítico de 2,0 MPa, o que não gera impedimento para o desenvolvimento das raízes (BEUTLER et al., 2006; SARTOR et al., 2020; TORRES & SARAIVA, 1999). Queiroz et al. (2019) identificaram haver correlação entre a resistência à penetração e a textura do solo.

Gráfico 2 – Média da pressão aplicada por ponto de coleta



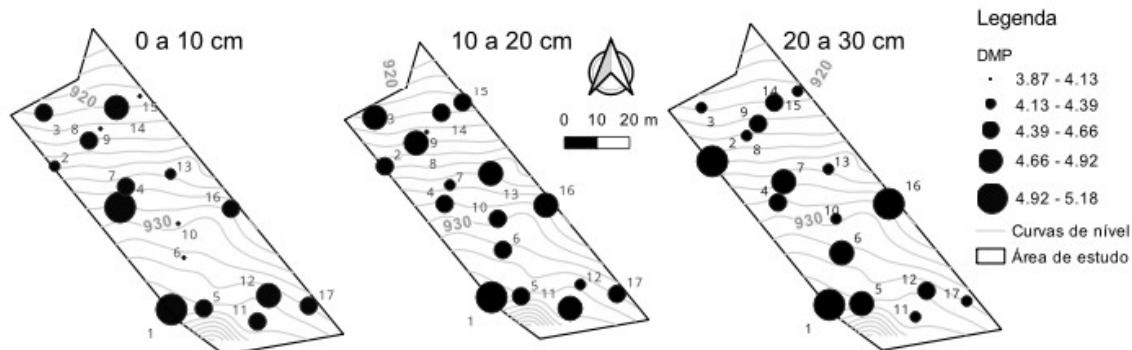
*As bolas fora da caixa box-plot representam outliers (valores atípicos) que são valores que se encontram fora do intervalo interquartil (IQR). São onde a resistência à penetração (ou "Pressão Aplicada") foi significativamente diferente da maioria dos valores coletados em cada ponto de coleta.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5.2.4 Estabilidade de Agregados em Água

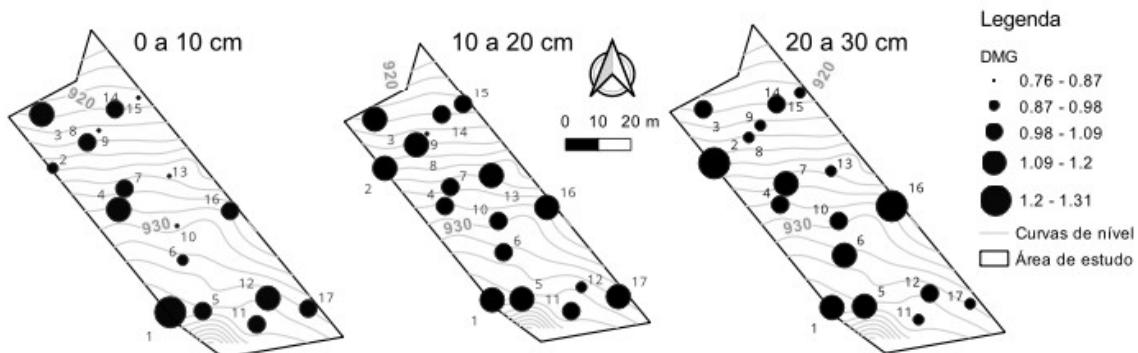
As camadas de solo com maiores teores de matéria orgânica são normalmente as mesmas que apresentam maiores valores de DMG e DMP (SERPA et al., 2020). É possível notar que há diferença significativa do DMG e do DMP tanto por ponto analisado quanto conforme a profundidade do solo. Os valores de DMP variaram de aproximadamente 4,25 a 5,10 (Figura 14), enquanto o DMG variou de 0,93 a 1,20 aproximadamente (Figura 15).

Figura 14 – Diâmetro médio ponderado dos agregados nos diferentes pontos e diferentes profundidades



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 15 - Diâmetro médio geométrico dos agregados nos diferentes pontos e diferentes profundidades



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Deste modo, é possível observar que os valores de DMP foram maiores que os observados em área de plantio direto, cultivo de frutíferas como Citros e

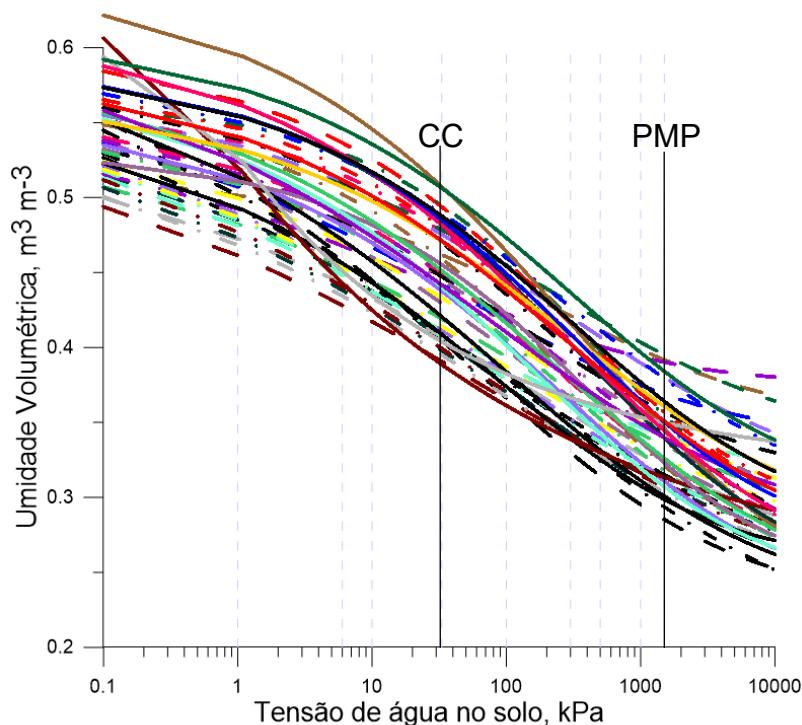
Goiaba ou culturais anuais como feijão e milho (HICKMANN; COSTA; SCHAEFER; FERNANDES, 2011; SILVA et al., 2022).

Já os valores de DMG, apesar de serem menores que os encontrados em áreas florestais e de plantio direto (SERPA et al., 2020; HICKMANN; COSTA; SCHAEFER; FERNANDES, 2011; SILVA et al., 2022), foram similares aos encontrados em áreas de cultivo anual (LOSS et al., 2009; ENCK et al., 2020). Fator esse que pode ter sido favorecido pela pastagem existente juntamente com as videiras, em razão da maior agregação do solo promovida pelas raízes das plantas cultivadas na área (TORRES et al., 2015).

5.2.5 Curva de Retenção de água no Solo

As curvas de retenção de água no solo observadas na Figura 16 descrevem a relação entre a tensão de água no solo e a umidade volumétrica do solo. Ao analisar as curvas de retenção de água, observa-se uma similaridade entre elas. Porém, notam-se diferentes valores de CC e PMP, o que indica que há comportamentos diferentes de retenção de água nos pontos analisados.

Figura 16 – Curvas de retenção de água na área de estudo



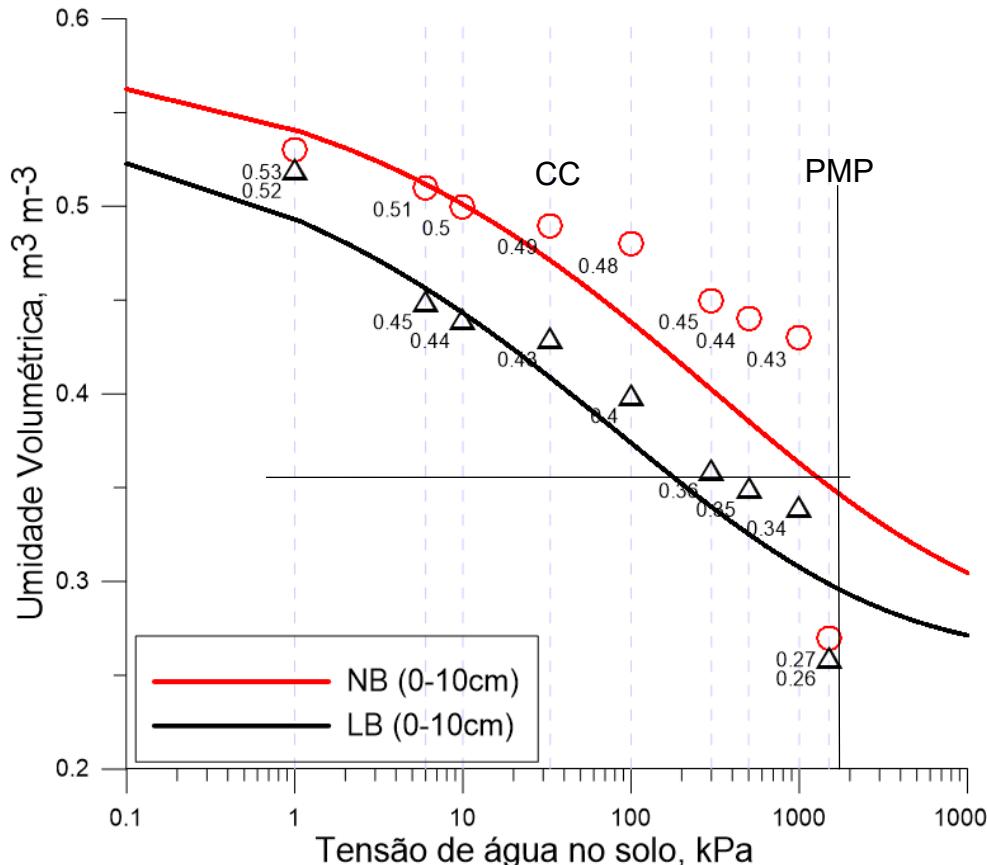
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Quando observamos a curva correspondente ao terço superior da área (NB) em comparação ao terço inferior (LB), identifica-se uma variação na curva de retenção.

Apesar de ambas as curvas iniciarem com uma umidade de saturação entre 0,52 e 0,53, percebeu-se uma variação de aproximadamente 20% na umidade das demais pressões, indicando diferenças de porosidade entre as curvas (). Essas diferenças de porosidade corroboram com os resultados da análise de infiltração de água.

O fato da curva de retenção de água no solo do NB apresentar valores em média 20% a mais que o LB, indica que esse ponto do solo apresenta maior retenção de água. Esta variação é justificada através da microporosidade presente na área. A capacidade de campo, indicada em 33 kPa, mostra que o LB apresentou menor valor, sugerindo que, em uma possível implementação de irrigação, o solo LB deverá ter uma frequência de irrigação maior quando comparado ao NB. Resultados similares a este foram encontrados por outros autores que também avaliaram a retenção de água em LATOSOLOS E NITOSSOLOS (COOPER; VIDAL TORRADO, 2005; GREGO; COELHO; VIEIRA, 2011). Segundo Grego, Coelho e Vieira (2011), essa diferenciação se dá principalmente pela diferença granulométrica entre os solos, se dá principalmente, devido à estrutura e distribuição granulométrica. NITOSSOLOS normalmente apresentam maior densidade do solo, associado a menor de macroporosidade e menor microporosidade quando comparados aos LATOSOLOS (GREGO; COELHO; VIEIRA, 2011).

Figura 17 – Curva de retenção de água no solo do NITOSSOLO BRUNO (NB) localizado no terço superior, e do LATOSSOLO BRUNO (LB) localizado no terço inferior da área de estudo



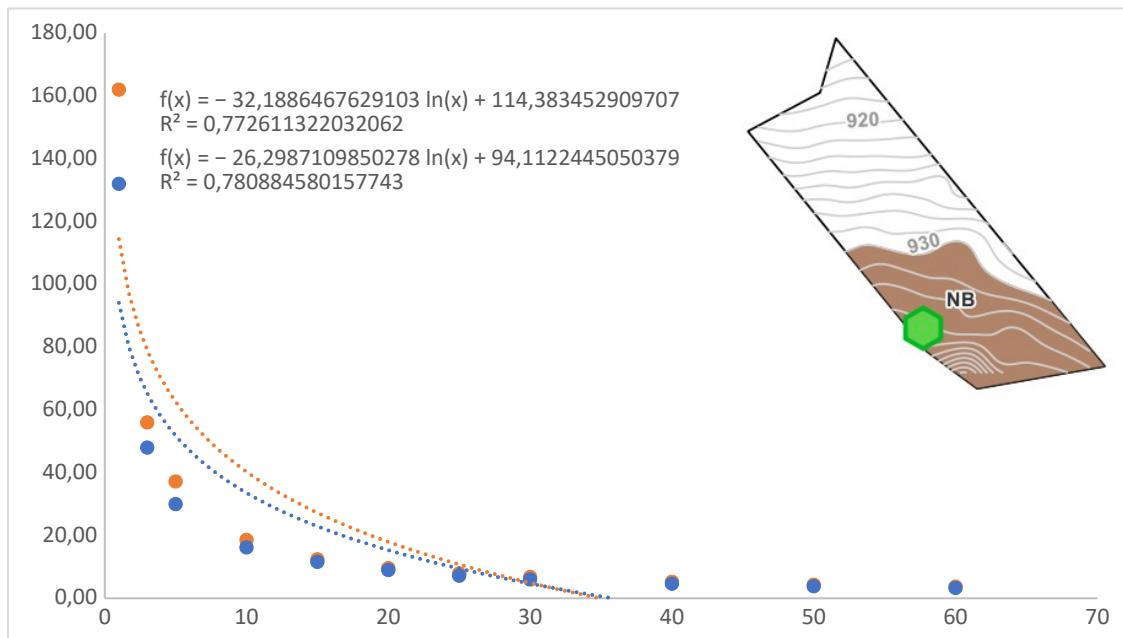
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

F

5.3 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A velocidade de infiltração básica (VIB) no terço superior da área estudada, onde o solo foi classificado como NB, apresentou-se no valor de 0,6 cm/h (), o que classifica o solo estudado como sendo de VIB média (MANTOVANI, BERNARDO; PALARETTI, 2006), apresentando uma classe de infiltração enquadrada como Moderadamente Lento, segundo Neto et al. (1999). Esse valor de VIB média corrobora com o estudo realizado por Zenaro e Tomazoni (2020), onde os mesmos encontram VIB média em Nitossolos estudados na cidade de Chapecó-SC.

Gráfico 3 – Análise de infiltração de água no terço superior (NB)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Já no terço inferior do terreno, onde o solo foi classificado como LB, a infiltração de água apresentou uma variação bastante expressiva, a ponto de não atingir o ponto de estabilização da infiltração. Em quatro das seis análises realizadas, mesmo após 7 horas de avaliação, os valores encontrados variaram de 0,6 a 5,6 cm/h (Tabela 3), o que classifica o presente solo como tendo infiltração moderada (NETO et al., 1999).

Tabela 3 – Capacidade de infiltração observada a campo no NB e no LB

| Solo | Capacidade de Infiltração cm/h | Média | Classe |
|------|--------------------------------|-------|--------|
| NB | 0.6 | 0.6 | ML |
| LB | 0.6 a 5.6 | 2.97 | MD |

Classe*: ML: Moderadamente lento, MD: Moderado

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Esse efeito de diferenciação do terreno foi perceptível até mesmo ao cravar os anéis ao solo. No terço inferior da área de estudo, onde se encontra o LB, a fixação dos anéis foi menos desgastante quanto comparada ao solo no terço superior do terreno, onde está presente o NB. Isso se deve, principalmente, às características estruturais presentes nestes dois solos, como a presença de

cerosidade encontrada no NB, a qual é um indicativo dos processos de segregações e reorganizações deste solo.

Como pode ser visualizado na Tabela 4, a macroporosidade é maior e a densidade do solo é menor no LB e isso explica esse valor elevado na VIB, conforme descrito por Bertol et al. (2001).

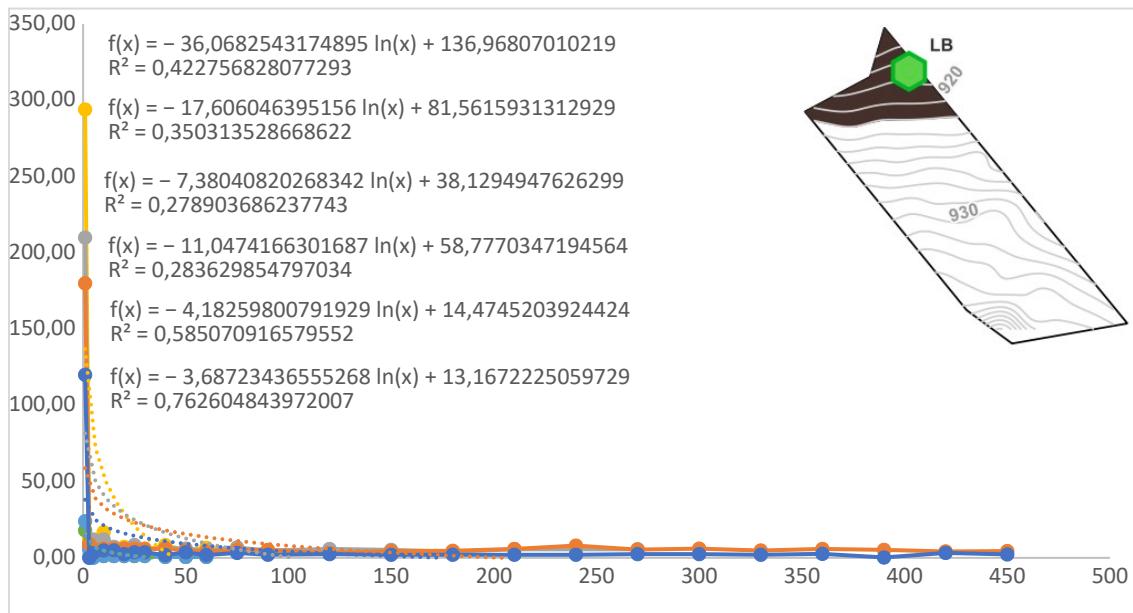
Tabela 4 – Médias de densidade do solo, macroporosidade e microporosidade nos solos onde foi realizado a análise de infiltração

| Solo | DS (g cm ⁻³) | PT (m ³ m ⁻³) | Macro (m ³ m ⁻³) | Micro (m ³ m ⁻³) |
|------|--------------------------|--------------------------------------|---|---|
| NB | 1.25 | 0.59 | 0.07 | 0.51 |
| LB | 1.19 | 0.58 | 0.13 | 0.45 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

No terço inferior da área de estudo, é possível identificar que as equações não se assemelham (Gráfico 4), gerando diferentes velocidades de infiltração, demonstrando o efeito ocorrido a campo.

Gráfico 4 – Análise de infiltração de água no LB



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Diversos são os fatores que podem influenciar na infiltração de água, como por exemplo a condição da superfície, tipo de solo, condição do solo, umidade inicial do solo, carga hidráulica, temperatura, caráter retrátil, raízes

decompostas, compactação ou mesmo cobertura vegetal da área (CARVALHO & SILVA, 2006). Além do tipo de solo, outros fatores podem ter influenciado essa variação, e na ausência de estabilidade da VIB. Entre eles, destacam-se os canais formados pela presença de raízes, matéria orgânica e atividade microbiológica, que impactam diretamente. (NASCIMENTO et al., 2020).

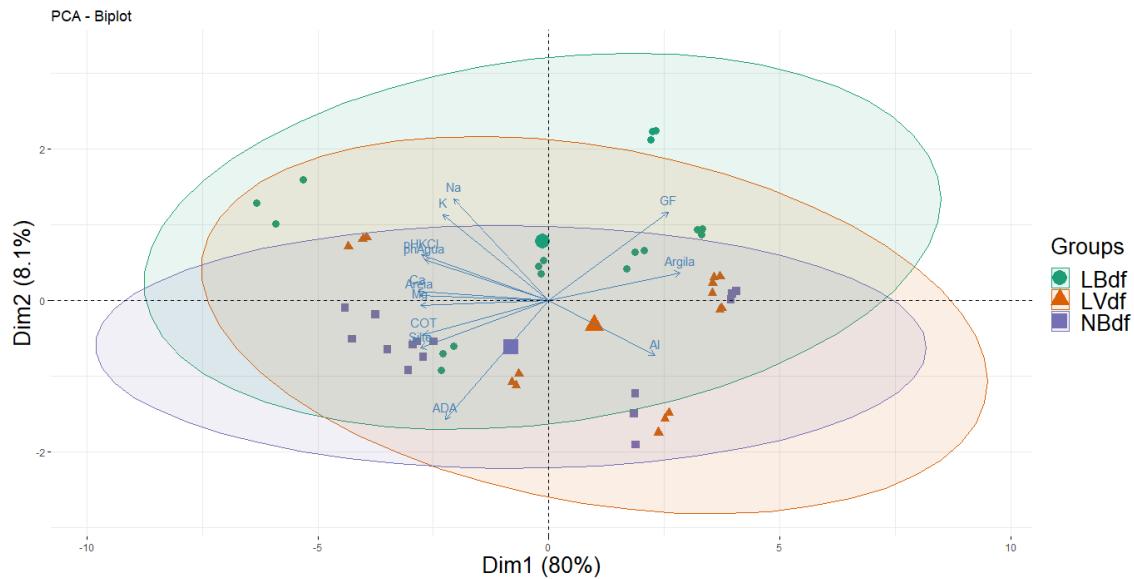
Existem muitos trabalhos que trazem o efeito da infiltração de água em Latossolos e Nitossolos. Bono et al. (2012), avaliaram a VIB em diferentes sistemas de manejo em Latossolos do cerrado e identificaram velocidades de infiltração diferentes, que foram desde a média de 15,37 cm/h em solos de lavoura com braquiária até 24,9 a 33,72 cm/h em outros sistemas de lavouras e de 88,83 cm/h em solo com vegetação natural. A infiltração de água em Latossolos estudados na região de Chapecó-SC também apresentou valores mais altos de VIB quando comparados a Nitossolos presentes na mesma região (ZENARO; TOMAZONI, 2020). Santos et al. (2021) em uma área sob vitivinicultura, identificaram uma VIB diferenciada em um solo argiolo siltoso. Na área em que Santos et al. (2021) realizaram a avaliação (entrelinhas), os valores de VIB variaram entre 3.36, 4.28 e 1.75 cm/h.

5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de componentes principais oferece uma visualização das principais variáveis que influenciam as amostras em estudo e como essas amostras se distribuem em relação a essas variáveis. A distribuição e agrupamento das amostras conforme a variável revelam padrões importantes que podem ser úteis para entender as características dos diferentes grupos de amostras.

Ao observar as características dos perfis (Figura 18), nota-se que há diferença entre os três perfis de solos, sendo que o componente principal um que está altamente ligado à textura do solo, explica 80 % da variância total dos dados. A separação de cores e formas geradas pela análise possibilita identificar a similaridade das características no perfil NB e como ele se diferencia dos demais. Os teores de Al, ADA, K e Na pouco contribuíram para a clusterização dos dados.

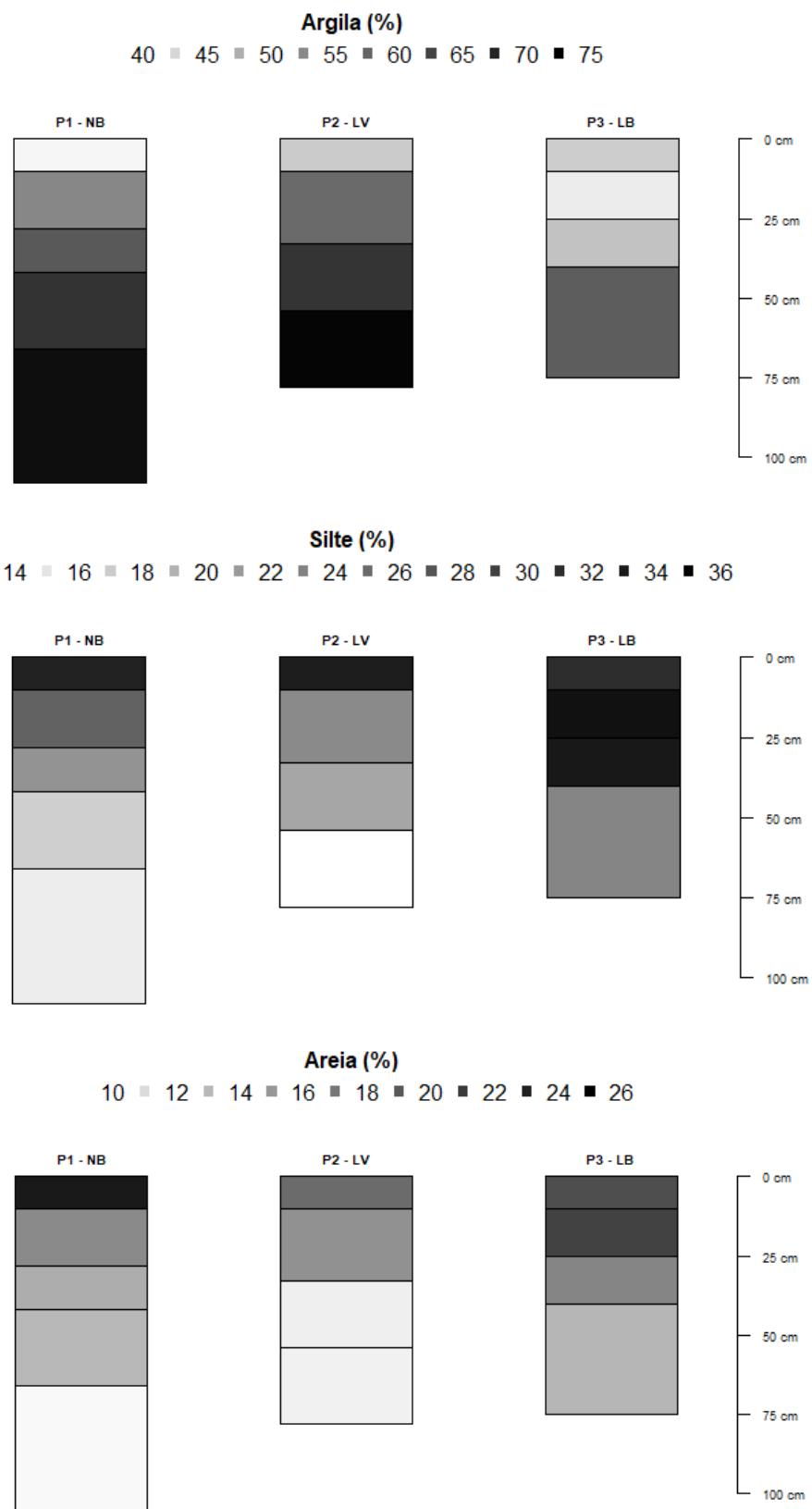
Figura 18 – Propriedades físicas e químicas de cada perfil de solo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Na análise com base na profundidade através do AQP, é possível visualizar a diferença entre os perfis NB, LV e LB. Os teores de silte e areia diminuíram com a profundidade, sendo que o silte variou de 34 a 11 %, e a areia de 26 a 11 %. Já os teores de argila no solo, conforme anteriormente exposto no triângulo textural, aumentaram de 41 a 73% com o aumento da profundidade do solo (). Este aumento nos teores de argila não foi suficiente para caracterizar uma mudança textural abrupta nos horizontes, conforme o SBCS.

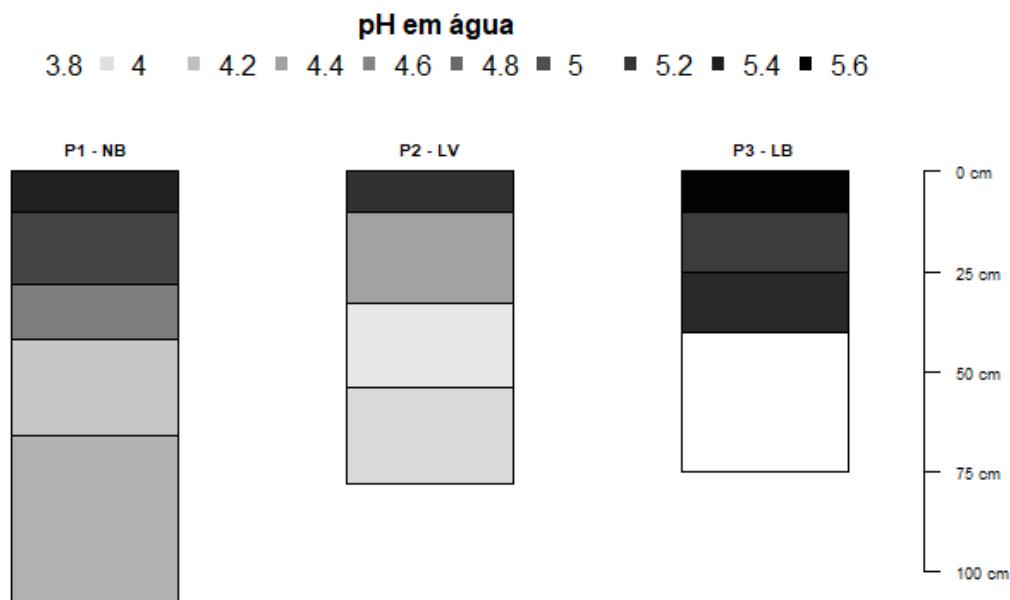
Figura 19 – Porcentagem de argila, silte e areia (%) no solo de acordo com os perfis de solo analisados



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O pH em água apresentou valores entre 5 a 5,6 nas camadas superiores do solo. Esse valor de pH é um indicativo da calagem realizada na área anterior ao plantio das videiras (Figura 20).

Figura 20 – pH encontrados nos perfis analisados



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

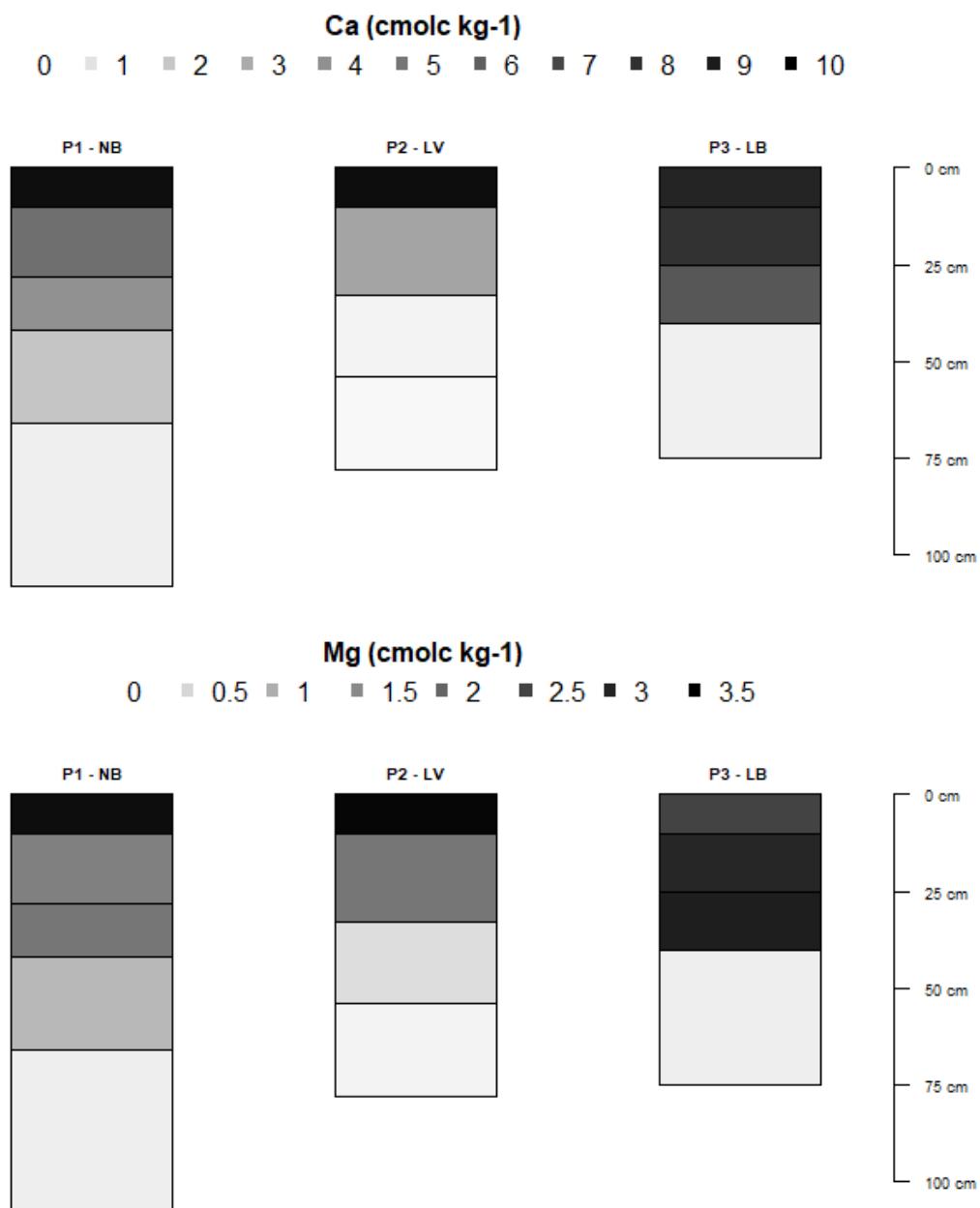
O valor de pH encontrado é inferior ao esperado para a cultura da videira, conforme o Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Quando o valor de pH baixa de 6 para 5,5 em uma cultura como a videira, a acidez que começa a se apresentar através do Al trocável vai limitar pouco a produtividade (SANTOS et al., 2016). Deste modo, compreende-se ser necessário o início e cronograma de uma calagem superficial na área com o intuito de elevar o pH do solo para o valor desejado. Os valores de pH em KCl apresentaram-se menores, indicando que a região em estudo neste trabalho apresenta cargas negativas, o que é o mais encontrado nesta região do Brasil (CUNHA et al., 2014; NAVA et al., 2012)

Observa-se um decréscimo na média geral do pH do solo próximo ao terço inferior da área de estudo, o que corrobora com o estudo de Sun et al. (2021) &

Amuyou e Kotingo (2015) que observaram um decréscimo no valor do pH conforme a diminuição da topografia do relevo.

Os teores de Ca, Mg (Figura 21) e COT apresentaram-se altos (SANTOS et al., 2016) nas camadas superiores do solo, que é o comportamento similar ao observado no pH (Figura 20). Estes valores elevados são, além do indicativo de calagem realizada na área, a alta fertilidade do solo presente na área de estudo.

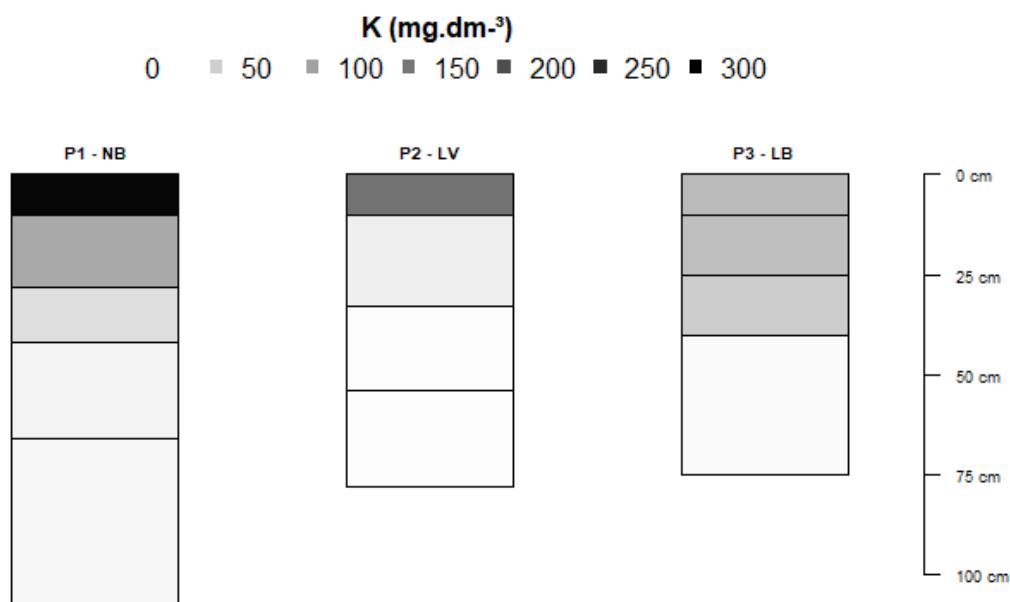
Figura 21 – Teores de Ca, Mg observados nos perfis analisados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Uma diferença significativa é observada nos teores de K (Figura 22) observados nos perfis. No horizonte A, o teor de K apresentou disponibilidade muito alta no horizonte A do NB (273 mg.dm⁻³), alta no LV (143 mg.dm⁻³) e baixa no LB (71 mg.dm⁻³). O teor de K reduz com a profundidade, mas no NB mantém-se maior que no LV e LB, tendo 11, 6 e 8 mg.dm⁻³ respectivamente.

Figura 22 – Teores de K observados nos perfis de solo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Isso tem relação direta com o pH do solo, pois conforme descrito por Malavolta (1979), a partir do pH do solo 5,5 há um aumento na disponibilidade de diversos nutrientes como N, P, K, Ca, Mg, Mo, Cl, e diminuição de outros como Fe, Cu, Mn, Zc e, consequentemente, redução do Al³⁺, que é tóxico para a maioria das culturas. A presença de alumínio no solo pode inibir o crescimento radicular e influenciar na disponibilidade de outros nutrientes e processos como a mineralização da matéria orgânica. A correção do solo com calcário eleva o pH e insolubiliza o Al³⁺, tornando-o inofensivo para as raízes e processos do solo (SOBRAL et al., 2015).

De acordo com Sobral et al. (2015), teores altos de potássio indicam presença de minerais primários e pouco intemperismo, o que ocorre normalmente em solos de regiões mais secas. Já teores mais baixos de potássio

indicam solos mais intemperizados. O local onde se encontra o LB, no terço inferior da área de estudo, foi anteriormente utilizado como lavoura, o que explica a menor disponibilidade de K encontrada.

Quando avaliamos os dados dos perfis através da correlação de Pearson (Figura 23), identificamos que há correlação significativa, sendo que em sua maioria ocorre multicolinearidade, pois o pH tem relação direta com o aumento do Ca, Mg e K, que são resultados da calagem efetuada na área. Apenas da acidez e do sódio, que apresentaram baixa correlação. Houve também baixa correlação do Al com a argila dispersa em água.

Figura 23 – Correlação de Pearson dos dados analisados nos perfis

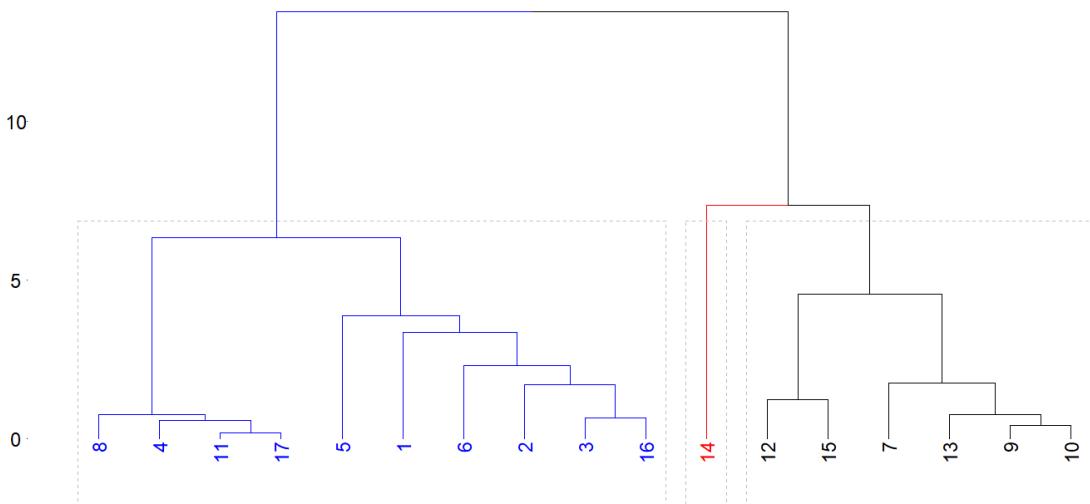
| | Argila | Silte | ADA | GF | Al | Ca | Mg | K | Na | COT | pH_agua | pH_KCl | Acidez |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Areia | *** -0.96 | *** 0.91 | *** 0.70 | *** -0.83 | *** -0.73 | *** 0.93 | *** 0.88 | *** 0.80 | *** 0.68 | *** 0.94 | *** 0.87 | *** 0.89 | * -0.37 |
| Argila | | *** -0.99 | *** -0.79 | *** 0.90 | *** 0.75 | *** -0.95 | *** -0.93 | *** -0.71 | *** -0.60 | *** -0.95 | *** -0.88 | *** -0.89 | * 0.33 |
| Silte | | | *** 0.81 | *** -0.91 | *** -0.74 | *** 0.93 | *** 0.92 | *** 0.62 | *** 0.53 | *** 0.91 | *** 0.86 | *** 0.86 | * -0.30 |
| ADA | | | | *** -0.97 | ** -0.46 | *** 0.68 | *** 0.73 | ** 0.46 | ** 0.42 | *** 0.74 | *** 0.57 | *** 0.61 | -0.01 |
| GF | | | | | *** 0.58 | *** -0.81 | *** -0.83 | *** -0.60 | *** -0.51 | *** -0.85 | *** -0.72 | *** -0.75 | 0.13 |
| Al | | | | | | *** -0.76 | *** -0.75 | *** -0.57 | *** -0.56 | *** -0.61 | *** -0.83 | *** -0.82 | *** 0.66 |
| Ca | | | | | | | *** 0.96 | *** 0.75 | *** 0.66 | *** 0.94 | *** 0.93 | *** 0.94 | ** -0.46 |
| Mg | | | | | | | | *** 0.69 | *** 0.67 | *** 0.89 | *** 0.88 | *** 0.89 | ** -0.39 |
| K | | | | | | | | | *** 0.77 | *** 0.70 | *** 0.71 | *** 0.82 | *** -0.47 |
| Na | | | | | | | | | | *** 0.57 | *** 0.64 | *** 0.69 | *** -0.54 |
| COT | | | | | | | | | | | *** 0.79 | *** 0.82 | -0.21 |
| pH_agua | | | | | | | | | | | | *** 0.97 | *** -0.64 |
| pH_KCl | | | | | | | | | | | | | *** -0.65 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5.5 COMPARATIVO DOS DADOS OBSERVADOS

Através da utilização do Dendrograma de similaridade (Figura 24), separando os dados analisados em três clusters, é possível identificar a similaridade entre os pontos, o que permite delimitar possíveis zonas de manejo na área estudada. Outros autores têm aplicado metodologias como esta para delimitação de zonas de manejo (ALMEIDA et al., 2018; JOSE et al., 2012; LEMOS FILHO; BASSOI; FARIA, 2018), incluindo a utilização do dendrograma como ferramenta para delimitação das possíveis zonas de manejo (BAESSO et al., 2019; OLIVEIRA DE JESUS SANTOS et al., 2015). Os dados obtidos através deste projeto ainda são insuficientes para afirmar exatamente onde ocorre essa subdivisão da área na vinícola.

Figura 24 – Dendrograma de similaridade identificador dos possíveis clusters



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Ao observar a média da maioria das análises físicas realizadas na área e compararmos com a topografia da área de estudo, identifica-se uma variação na física do solo, mas não diretamente correlacionada com a topografia da área. Apenas o DMP e o DMG obtidos na análise de agregados demonstram uma correlação com a topografia da área (Figura 14 e Figura 15), evidenciando que, conforme a topografia, há variações no índice de agregados de solo presentes na área de estudo.

6 CONCLUSÕES

- I) Ná área foram identificadas três classes de solos. No terço superior foi identificado um NITOSSOLO BRUNO, no terço médio um LATOSSOLO VERMELHO e, no terço inferior, um LATOSSOLO BRUNO.
- II) A análise de retenção de água revelou que os solos do terço superior da área, onde se encontra o NITOSSOLO BRUNO, apresentaram maior capacidade de retenção de água em comparação aos solos dos terços médio e inferior, onde se encontram, respectivamente, o LATOSSOLO VERMELHO e o LATOSSOLO BRUNO. A maior microporosidade dos solos do terço superior foi determinante para a maior retenção de água nestes.
- III) No terço inferior da área de estudo, onde se encontra o LATOSSOLO BRUNO, a macroporosidade foi maior e a densidade do solo menor, resultando em uma velocidade de infiltração básica mais elevada. Em comparação, o NITOSSOLO BRUNO localizado no terço superior apresentou menor macroporosidade e maior densidade do solo e, consequentemente, uma menor infiltração de água. Portanto, a macroporosidade e a densidade do solo apresentaram impacto direto na dinâmica da infiltração de água no solo.
- IV) A análise estatística, incluindo o uso de dendrogramas e clusters, permitiu identificar que a similaridade nas características físicas do solo é um bom indicador para delinear zonas de manejo.
- V) Apesar das diferenças nas classificações dos solos, as propriedades físicas como densidade e porosidade tiveram um impacto mais significativo na infiltração e retenção de água do que a classe de solo em si ou as variações topográficas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas ao longo deste estudo permitiram aprofundar o entendimento da dinâmica físico-hídrica dos solos vitivinícolas da região do Planalto Serrano Catarinense.

Ficou evidenciado que as propriedades físicas do solo, especialmente a densidade e porosidade, desempenham um papel crucial na capacidade de retenção e capacidade de infiltração de água no solo, o que pode influenciar diretamente no desenvolvimento das plantas e consequentemente na qualidade e produção vitivinícola. Isso reforça a necessidade de um manejo focado nas propriedades físicas do solo.

A análise estatística, através de dendrogramas e clusters, possibilitou a identificação de zonas de manejo. Essa abordagem não apenas fornece uma visão detalhada das características físicas do solo, mas também reforça a necessidade de um manejo focado nas propriedades que mais influenciam a dinâmica hídrica, ao invés de se basear exclusivamente na classificação do solo.

Por fim, o estudo reafirma a importância de compreender as interações entre as propriedades físicas do solo e a água, promovendo um manejo mais eficiente no cultivo vitivinícola. Recomenda-se a continuidade de investigações que explorem as variações das propriedades do solo ao longo do tempo, em diferentes safras e condições climáticas, contribuindo assim para o avanço do conhecimento e da prática no manejo de solos em regiões vitivinícolas.

8 REFERÊNCIAS

AFYUNI, M. M.; CASSEL, D. K.; ROBARGE, W. P. **Effect of Landscape Position on Soil Water and Corn Silage Yield**. Soil Science Society Of America Journal, [S.L.], v. 57, n. 6, p. 1573-1580, nov. 1993.

ALBUQUERQUE, Jackson Adriano et al. **Água no Solo**. In: RUFATO, Leo et al. A Cultura da Videira: vitivinicultura de altitude. 20. ed. Florianópolis: Udesc, 2021. p. 181-206.

ALMEIDA, Brivaldo Gomes de et al. **DENSIDADE DO SOLO**. In: TEIXEIRA, Paulo César. MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO. Brasília, Df: Embrapa, 2017. p. 65-75.

ALMEIDA, Jaime Antonio de et al. **Fluorescência de raios-X versus ataque sulfúrico para quantificação de óxidos elementares e do índice Ki em solos do Maranhão: problemas e perspectivas**. In: SILVA, Marlen Barros e et al. Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do maranhão. Brasília, Df: Embrapa Solos, 2020. p. 442-455.

ALMEIDA, Karla Silva Santos Alvares de et al. **VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO EM LATOSSOLO AMARELO DISTROCOESO, NO MUNICÍPIO DE CRUZ DAS ALMAS**. Irriga, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 259-274, 18 jun. 2018.

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013.

AMUYOU, U. A.; KOTINGO, K. E. **Toposequence analysis of soil properties of an agricultural field in the Obudu mountain slopes, Cross River State-Nigeria**. European Journal of Physical Agricultural Sciences, v. 3, 2015.

BAESSO, M. M. et al. **VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE DO CAFÉ CEREJA**. Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 109-115, 24 jun. 2019.

BARHAM, Elizabeth. **Translating terroir: the global challenge of french aoc labeling**. Journal Of Rural Studies, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 127-138, jan. 2003.

BATISTA, Ligia Flávia Antunes; ANAMI, Marcelo Hidemassa. **Avaliação da distribuição da lâmina de irrigação em ambiente protegido com métodos geoestatísticos**. Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 13-20, 2023.

BAUER-MARSCHALLINGER, Bernhard et al. **Toward Global Soil Moisture Monitoring With Sentinel-1: harnessing assets and overcoming obstacles**. Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing, [S.L.], v. 57, n. 1, p. 520-539, jan. 2019.

Beaudette, D., Roudier, P., Brown, A. (2023). **AQP: Algorithms for Quantitative Pedology**. R package version 2.0.
<https://CRAN.R-project.org/package=aqp>. 2023

Beaudette, D.E., Roudier, P., O'Geen, A.T. **Algorithms for quantitative pedology: A toolkit for soil scientists, Computers & Geosciences**, Volume 52, March 2013, Pages 258-268.

BELLVERT, J. et al. **Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle**. Precision Agriculture, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 361-376, 8 nov. 2013.

BERTOL, Ildegardis et al. **Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo**. Scientia Agricola, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 555-560, set. 2001.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J.C. **Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-645, 2006

BOYER, D. G. et al. **SOIL WATER RELATIONS ON A HILLTOP CORNFIELD IN CENTRAL APPALACHIA**. Soil Science: June 1990 - Volume 149 - Issue 6 - p 383-392.

BONFANTE, A. et al. **Functional homogeneous zones (fHZs) in viticultural zoning procedure: an italian case study on aglianico vine**. Soil, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 427-441, 9 jun. 2015. Copernicus GmbH.
<http://dx.doi.org/10.5194/soil-1-427-2015>.

BONO, José Antonio Maior et al. **Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 1845-1853, dez. 2012.

BORGHEZAN, M.; VILLAR, L.; SILVA, T.C.; CANTON, M.; GUERRA, M.P.; CAMPOS, C.G.C. **Phenology and vegetative growth in a new production region of grapevines: case study in São Joaquim, Santa Catarina, Southern Brazil**. Open Journal of Ecology, v.4, n.6, p.321-335, 2014.

BOSCH, Rik van Den; BATJES, Niels H. **ISRIC Data and Software Policy**. ISRIC. jan. 2020.

BRITO, Liziane de Figueiredo et al. **Influência de formas do relevo em atributos físicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar**. Ciência Rural, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 1749-1755, dez. 2006..

BURNS, Scott. **The Importance of Soil and Geology in Tasting Terroir with a Case History from the Willamette Valley, Oregon.** In: DOUGHERTY, Percy H.. The Geography of Wine: regions, terroir and techniques. Pennsylvania: Springer, 2012. p. 95-108.

CANDAR, Serkan; KORKUTAL, İlknur; BAHAR, Elman. **Changes of Vine Water Status and Growth Parameters Under Different Canopy Managements on cv. Merlot (Vitis vinifera L.).** Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, [S.L.], v. 1, n. 19, p. 1-15, 2021.

CARVALHO, Daniel Fonseca; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **Hidrologia.** Capítulo 5. INFILTRAÇÃO, Agosto, 2006

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. **Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 695-703, ago. 2003.

COMPAGNON, Ariel Muncio et al. **VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO NA COLHEITA MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM.** Cientific@ - Multidisciplinary Journal, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 1-12, 2020.

CONAB (org.). **HISTÓRICO MENSAL UVA.** 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-uva>. Acesso em: 29 ago. 2022.

COOPER, M. & VIDAL-TORRADO, P. **Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico.** R. Bras. Ci. Solo, 29:581-595, 2005.

COSTA, André da et al. **Water retention and availability in soils of the State of Santa Catarina-Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 37, n. 6, p. 1535-1548, dez. 2013.

CUNHA, Jailson C. et al. **Comparação de dispersantes químicos na análise granulométrica de solos do Estado de Pernambuco.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [S.L.], v. 18, n. 8, p. 783-789, ago. 2014.

DEMATTÉ, J. A. M.; GARCIA, G. J. **Avaliação de atributos de Latossolo Bruno e de Terra Bruna Estruturada da região de Guarapuava, Paraná, por meio de sua energia refletida.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 343-355, 1999.

DONAGEMMA, Guilherme Kangussu et al. **ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.** In: TEIXEIRA, Paulo César et al. **MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO.** Brasília, Df: Embrapa, 2017. p. 95-116.

DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; CALDERANO, Sebastião Barreiros; VIANA, João Herbert Moreira. **SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO PARA ANÁLISES MINERALÓGICAS**. In: TEIXEIRA, Paulo César et al. **MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO**. Brasília, Df: Embrapa, 2017. p. 439-442.

DOUGHERTY, Percy H. **Introduction to the Geographical Study of Viticulture and Wine Production**. In: DOUGHERTY, Percy H.. **The Geography of Wine: regions, terroir and techniques**. Pennsylvania: Springer, 2012. p. 3-36.

EMBRAPA. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas. 2012.

EMBRAPA. Rio de Janeiro – Brazil (Ed.), **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Embrapa Solos, 2018, p. 356

ENCK, Bruna Firmino et al. **Impacto nos atributos do solo sob conversão de floresta para áreas cultivadas na região sul do Amazonas, Brasil**. Geografia Ensino & Pesquisa, [S.L.], v. 24, p. 1-23, 2020.

FERNANDES, Leandro Carlos et al. **Amplitudes térmicas diárias no estado de Santa Catarina e níveis de inércia térmica para habitações**. Revista Brasileira de Climatologia, [S.L.], v. 30, n. 18, p. 463-487, 2022.

FREIRE-SILVA, Jadson et al. **Índices de vegetação do Sensoriamento Remoto para processamento de imagens na faixa do visível (RGB)**. Journal Of Hyperspectral Remote Sensing, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 228-239, 2019.

Golden Software. **Grapher**. Versão 8. Golden Software, 2011.

GOTADO, Rafael et al. **Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina**. Geosul, [S.L.], v. 33, n. 67, p. 253-276, 2018.

GREGO, Célia Regina; COELHO, Ricardo Marques; VIEIRA, Sidney Rosa. **Critérios morfológicos e taxonômicos de Latossolo e Nitossolo validados por propriedades físicas mensuráveis analisadas em parte pela geoestatística**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 337-350, abr. 2011.

HANNA, A. Y.; HARLAN, P. W.; LEWIS, D. T. **Soil Available Water as Influenced by Landscape Position and Aspect**. Agronomy Journal, [S.L.], v. 74, n. 6, p. 999-1004, nov. 1982.

HICKMANN, Clério; COSTA, Liovando Marciano da; SCHAEFER, Carlos Ernesto G.R; FERNANDES, Raphael Bragança Alves. **Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um argissolo vermelho-amarelo sob diferentes manejos de longa duração e mata atlântica secundária**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 35, n. 6, p. 2191-2198, 2011.

JONES, Gregory V. **The Climate Component of Terroir**. Elements, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 167-172, 1 jun. 2018.

JOSE, Jefferson Vieira et al. **VARIABILIDADE ESPACIAL DE VARIÁVEIS FÍSICO-HÍDRICAS DE DOIS LATOSOLOS DA REGIÃO NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ**. Irriga, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 208-219, 2012.

KARLSSON, Per; KARLSSON, Britt. **Wine Production In The World In 2020, A Detailed Look**. 2021.

Kassambara A, Mundt F (2020). **_factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses_**. R package version 1.0.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>>. 2020.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. **Size distribution of aggregation**. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D; ESNMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Ed.). Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical properties. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

LAGO-VANZELA, Ellen Silva et al. **PANORAMA GERAL DE UVAS E VINHOS O BRASIL**. In: SILVA, Roberto da; LAGO-VANZELA, Ellen Silva; BAFFI, Milla Alves. UVAS E VINHOS: química, bioquímica e microbiologia. São Paulo: Unesp, 2015. p. 9-38.

LEMOS FILHO, Luis César de Aquino; BASSOI, Luís Henrique; FARIA, Manoel Alves de. **VARIABILIDADE ESPACIAL E ESTABILIDADE TEMPORAL DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM SOLO ARENOSO CULTIVADO COM VIDEIRAS IRRIGADAS**. Irriga, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 319-340, 2018.

LEOLINI, L et al. **Modelling sugar and acid content in Sangiovese grapes under future climates: an italian case study**. Climate Research, [S.L.], v. 78, n. 3, p. 211-224, 2019.

LIMA, Gabriela Souza; GERALDINI, Fernanda. **UVA/CEPEA: Exportação bate recorde em receita em 2023**. 2024. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/uva-cepea-exportacao-bate-recorde-em-receita-em-2023.aspx>. Acesso em: 01 jul. 2024.

LIMA, Julião S. de S. et al. **Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo sob pastagem e vegetação secundária em regeneração natural**. Engenharia Agrícola, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 185-195, 2009.

LOSS, Arcângelo et al. **Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, [S.L.], v. 44, n. 1, p. 68-75, 2009.

MACHADO, Rodrigo Vilella; BECEGATO, Valter Antonio; RAFAELLI NETO, Sílvio Luís; FIGUEIREDO, Olívia Aparecida Rodolfo. **Variabilidade espacial**

de algumas propriedades físicas em três solos para duas profundidades.
Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v. 5, n. 1, p. 44–52, 2006.

MAGALHÃES, Luís M. S.; BLUM, Winfried E. H.; FERNANDES, Noeli Paulo. **Características edáfico-nutricionais de plantios florestais na região de Manaus.** I. Crescimento de Eucalyptus deglupta Blume em solos de diferentes texturas. *Acta Amazonica*, [S.L.], v. 16, p. 509-522, 1986.

MAGDIC, Ivan et al. **Effect of slope position on soil properties and soil moisture regime of Stagnosol in the vineyard.** *Journal Of Hydrology And Hydromechanics*, [S.L.], v. 70, n. 1, p. 62-73, 2022.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras.** Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato. 1979

MALINOVSKI, Luciane Isabel et al. **Clima: viticultura de elevada altitude do estado de santa catarina.** In: RUFATO, Leo et al. *A Cultura da Videira: vitivinicultura de altitude*. 20. ed. Florianópolis: Udesc, 2021. p. 27-44.

MALINOVSKI, Luciane Isabel et al. **Climate and Phenology: behavior of autochthonous italian grapevine varieties in the uplands of southern brazil.** *Journal Of Agricultural Science*, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 26, 13 abr. 2016.

MANDELLI, Francisco et al. **FENOLOGIA DA VIDEIRA NA SERRA GAÚCHA.** Pesquisa Agropecuária Gaúcha, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 129-144, 30 dez. 2003.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos.** Viçosa: UFV, 2006. 318 p

MANRIQUEZ, Daniel Ernesto Trujillo et al. **Efeito de atributos de solo sobre a composição do mosto e vinho de variedades de uva vinífera (*Vitis vinifera*) em uma topossequência na região da Campanha Gaúcha, RS – Brasil.** Caderno Pedagógico, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 1-44, 29 fev. 2024.

MATTHEWS, Mark A.; ANDERSON, Michael M. **Fruit Ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to Seasonal Water Deficits.** *American Journal Of Enology And Viticulture*, Davis-Ca, v. 39, n. 4, p. 313-320, jan. 1988.

MORALES-CASTILLA, Ignacio; WOLKOVICH, Elizabeth M.; FERNÁNDEZ-PASTOR, Marta. **Winegrowing Regions of the World 2007.** Dataone, [S.L.], p. 1-1, 2019.

NADAL, Montse; AROLA, L.. **Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of Cabernet Sauvignon under semi-arid conditions.** *Vitis - Journal Of Grapevine Research*, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 151-154, mar. 1995.

NASCIMENTO, Laecio Guedes et al. **Análise da velocidade de infiltração de água no solo por meio de anéis concêntricos na zona leste da cidade de**

Teresina - PI. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 15168-15178, 2020.

NASCIMENTO, Patricia dos Santos et al. **Zonas homogêneas de atributos do solo para o manejo de irrigação em pomar de videira.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 1101-1113, 2014.

NASCIMENTO, Maxsuel Bezerra do; SILVA, Israel Walter Hilário da; SILVA, Claudio Moises Santos e. **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NOS MUNICÍPIOS DE JOÃO PESSOA E CAMPINA GRANDE, ESTADO DA PARAÍBA ENTRE 1981 A 2020.** Revista Geonorte, [S.L.], v. 15, n. 50, p. 91-110, 4 maio 2024. Revista Geonorte. <http://dx.doi.org/10.21170/geonorte.2024.v.15.n.50.91.110>.

NAVA, Gilberto et al. **Soil composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 215-222, 2012.

NETO, R. A. et al. **Roteiro de aulas práticas de morfologia do solo.** 3^a ed. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. RJ.1999

TEIXEIRA, Paulo César; CAMPOS, David Vilas Boas de; SALDANHA, Marcelo Francisco Costa. **pH do solo.** In: TEIXEIRA, Paulo César et al. **MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO.** Brasília, Df: Embrapa, 2017. p. 199-202.

OIV (org.). **RESOLUTION OIV/VITI 333/2010.** 2010. Disponível em: <https://www.oiv.int/public/medias/379/viti-2010-1-en.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2022.

OIV. (org.). **Statistics Of Wine. 2020.** Disponível em: <https://www.oiv.int/en/statistiques/recherche>. Acesso em: 29 ago. 2022.

OJEDA, Hernán et al. **Influence of Pre- and Postveraison Water Deficit on Synthesis and Concentration of Skin Phenolic Compounds during Berry Growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz.** American Journal Of Enology And Viticulture. [S.I], p. 261-267. 2002.

OLIVEIRA DE JESUS SANTOS, E. et al. **Delimitation of management zones for macronutrients in coffee crop conilon intercropping with rubber trees.** Coffee Science - ISSN 1984-3909, [S. I.], v. 10, n. 3, p. 309–319, 2015

OLIVEIRA, Kethelin Cristine Laurindo de et al. **Uso do penetrômetro eletrônico manual na avaliação da resistência do solo em sistemas de cultivo com plantas de cobertura.** Research, Society And Development, [S.L.], v. 11, n. 14, p. 1-8, 2022.

PELLEGRINO, A. et al. **Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.).** Plant And Soil, [S.L.], v. 266, n. 1-2, p. 129-142, jan. 2005.

PRIORI, S. et al. **Improving Wine Quality through Harvest Zoning and Combined Use of Remote and Soil Proximal Sensing**. Soil Science Society Of America Journal, [S.L.], v. 77, n. 4, p. 1338-1348, 2013.

PRIORI, S. et al. **Natural terroir units, Siena province, Tuscany**. Journal Of Maps, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 466-477, 2014.

PRIORI, S. et al. **Scale effect of terroir under three contrasting vintages in the Chianti Classico area (Tuscany, Italy)**. Geoderma, [S.L.], v. 334, n. 1, p. 99-112, 2019.

PRIORI, S. et al. **Using the ARP-03 for high-resolution mapping of calcic horizons**. International Agrophysics, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 313-321, 2013.

QUEIROZ, Gabriela Carvalho Maia de et al. **Densidade e resistência do solo à penetração de raízes em agroecossistemas no semiárido brasileiro**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 497-505, 23 dez. 2019. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas.

RAMOS, Michele Ribeiro et al. **Influência da posição na encosta na manifestação do caráter coeso em solos da formação Macacu, no estado do Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 837-845, 2013.

R CORE TEAM, 2020. **R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020

REICHARDT, Klaus et al. **DINÂMICA DA ÁGUA EM SOLO CULTIVADO COM MILHO**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas-Sp, v. 3, n. 1, p. 1-5, 1979.

REICHERT, José Miguel et al. **Estimating water retention and availability in cultivated soils of southern Brazil**. Geoderma Regional, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 1-12, 2020.

RETALLACK, Gregory J.; BURNS, Scott F.. **The effects of soil on the taste of wine**. Gsa Today, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 4-9, 2016.

RIBEIRO, Letícia da Silva et al. **Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, [S.L.], v. 51, n. 9, p. 1699-1702, 2016.

ROSA, Vandayse Abades et al. **Atributos Físicos e Estoque de Carbono em Sistemas Agroflorestais nos Cerrados do Oeste da Bahia**. Revista Brasileira de Geografia Física, [S.L.], v. 12, n. 7, p. 2660-2671, 2020.

ROSIER, Jean Pierre; CARBONNEAU, Alain. **Influência do sistema de condução e do tipo de solo sobre o crescimento vegetativo da videira.** Bragantia, [S.L.], v. 54, n. 1, p. 135-142, 1995.

SANTOS, Caroline Valverde dos et al. **Physical-Hydraulic Quality Indicators of soils with different years of management under Pinot Noir (Vitis vinifera L.).** Research, Society And Development, [S.L.], v. 10, n. 7, p. 15-24, 2021.

SANTOS, Danilo Rheinheimer dos et al. **DIAGNÓSTICO DA ACIDEZ E RECOMENDAÇÃO DA CALAGEM.** In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul (ed.). Manual de calagem e adubação: para os estados do rio grande do sul e de santa catarina. Rio Grande do Sul-Sc: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. p. 64-87.

SANTOS, Henrique Pessoa dos; SILVA, Leonardo Cury da; MELO, George Wellington Bastos de. **Manejo de vinhedos em situação de pós-geada.** 2020. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215637/1/Folheto-ManejoPosGeada-2020.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2022.

SANTOS, João A. et al. **A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture.** Applied Sciences, [S.L.], v. 10, n. 9, p. 3092, 2020.

SANTOS, Márcio da Silva; GEBLER, Luciano; SEBEM, Elódio. **Correlation between vegetation indexes generated at Vitis Vinifera L. and soil, plant and production parameters for emergency application in decision making.** Ciência Rural, [S.L.], v. 52, n. 2, p. 1-11, 2022..

SANTOS, Raphael David dos et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SARTOR, Laércio Ricardo et al. **Resistência mecânica do solo à penetração em sistema silvipastoril após onze anos de implantação.** Ciência Florestal, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 231, 6 abr. 2020.

SATO, Juliana Hiromi et al. **Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils.** Scientia Agricola, Piracicaba, v. 71, n. 4, p. 302-308, 2014.

SERPA, Kelvin Monson et al. **Atributos físicos e teor de matéria orgânica em área de Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo.** Research, Society And Development, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 1-15, 29 2020.

SILVA, Felipe Souza da et al. **Atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo em Rondônia.** Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 64710-64723, 2022.

SILVA, Leonardo Cury da. **Balanço de Carboidratos da Videira**. In: RUFATO, Leo et al. A Cultura da Videira: vitivinicultura de altitude. 20. ed. Florianópolis: Udesc, 2021. p. 48-59.

SOBRAL, Lafayette Franco et al. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. Aracaju-SE: Embrapa, 2015.

SUN, Siyue et al. **Effects of Landscape Positions and Landscape Types on Soil Properties and Chlorophyll Content of Citrus in a Sloping Orchard in the Three Gorges Reservoir Area, China**. Sustainability, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 4288,

SWRC, version 3.00. Piracicaba, SP, May 18, 2001

TECCHIO, Marco Antonio et al. **Atributos químicos do solo em vinhedos de 'Niagara Rosada' nas regiões de Jundiaí, São Miguel Arcanjo e Jales / Chemical soil attributes of vineyards 'Niagara Rosada' in the regions Jundiaí, São Miguel Arcanjo and Jales**. Revista Ambiência, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 345-359, 2012.

TEDESCO, M.J et al. **Análises de solos, plantas e outros materiais 2.ed.** Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p

TEIXEIRA, Paulo César et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília-DF: Embrapa, 2017.

TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; BHERING, Silvio Barge. **RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO PELOS MÉTODOS DA MESA DE TENSÃO E DA CÂMARA DE RICHARDS**. In: TEIXEIRA, Paulo César et al. Manual de Métodos de Análise de Solo. Brasília-DF: Embrapa, 2017. p. 33-39.

TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; VIANA, João Herbert Moreira; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu. **DENSIDADE DE PARTÍCULAS**. In: TEIXEIRA, Paulo César et al. Manual de Métodos de Análise de Solo. Brasília-DF: Embrapa, 2017. p. 76-81.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

TORRES, José Luiz Rodrigues et al. **ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSOLO VERMELHO CULTIVADO COM PLANTAS DE COBERTURA, EM SEMEADURA DIRETA**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 428-437, 2015.

TRIANGULO de texturas en Excel. Produção de Bernardo Portillo. [S.I.]: Youtube, 2022. (16 min.), son., color. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Hp_gYxGbMrU. Acesso em: 30 dez. 2022.

TUBA, Géza et al. **Effect of Soil Conditioning on Soil Penetration Resistance and Traction Power Demand of Ploughing.** Agriculture (Pol'Nohospodárstvo), [S.L.], v. 67, n. 3, p. 113-123, 2021.

VAUDOUR, E. et al. **An overview of the recent approaches to terroir functional modelling, footprinting and zoning.** Soil, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 287-312, 2015.

VAN GENUCHTEN, M. T. **A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VAN LEEUWEN, Cornelis; RESSÉGUIER, Laure de. **Major Soil-Related Factors in Terroir Expression and Vineyard Siting.** Elements, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 159-165, 2018.

VAN LEEUWEN, Cornelis; ROBY, Jean-Philippe; RESSEGUIER, Laure de. **UNDERSTANDING AND MANAGING WINE PRODUCTION FROM DIFFERENT TERROIRS.** 2016.

Walkley, A. and I. A. Black. 1934. **An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method.** Soil Sci. 37:29-37. 1934

WANG, Jun et al. **Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess plateau in China.** Journal Of Arid Environments, [S.L.], v. 48, n. 4, p. 537-550, 2001.

ZENARO, Fabio Alex; TOMAZONI, Julio Caetano. **SUSCETIBILIDADE AO MOVIMENTO DE MASSA NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE CHAPECÓ (SC).** Geosciences = Geociências, [S.L.], v. 39, n. 04, p. 1009-1024, 2020.

ANEXO A – CÓDIGO R UTILIZADO PARA AQP

```

# load required packages, you may have to install these if missing:
# install.packages('aqp', dep = TRUE)
#           remotes::install_github("ncss-tech/aqp",           dependencies=FALSE,
# upgrade=FALSE, build=FALSE)
library(aqp)
library(Hmisc)
library(lattice)
library(MASS)

# load data set
data(Dados_por_perfis)
str(Dados_por_perfis)

#Abrindo os dados
depths(Dados_por_perfis) <- id ~ top + bottom
# register horizon designation column
hzdesgnname(Dados_por_perfis) <- 'name'
# check it out:
class(Dados_por_perfis)

# assignment of new data to existing or new attributes
Dados_por_perfis$elevation <- rnorm(n=length(Dados_por_perfis), mean=1000,
sd=150) # site-level, based on length of assigned data
Dados_por_perfis$thickness      <-      Dados_por_perfis$bottom      -
Dados_por_perfis$top # horizon-level

# extraction of specific attributes by name
Dados_por_perfis$clay # vector of clay content (horizon data)

Dados_por_perfis$elevation # vector of simulated elevation (site data)

# assign a single single value into horizon-level attributes

```

```

Dados_por_perfis$constant <- rep(1, times=nrow(Dados_por_perfis))

# promote horizon-level data to site-level data (when it makes sense to do so)
# note that this _moves_ the named column from horizon to site
site(Dados_por_perfis) <- ~ constant

# extract horizon data to data.frame
h <- horizons(Dados_por_perfis)

# add a new column and save back to original object
h$random.numbers <- rnorm(n=nrow(h), mean=0, sd=1)

# _replace_ original horizon data with modified version
# ! row-order should not be altered !
horizons(Dados_por_perfis) <- h

# extract site data to data.frame
s <- site(Dados_por_perfis)

# add a fake group to the site data
s$group <- factor(rep(c('A', 'B'), length.out=nrow(s)))

# join new site data with previous data: old data are _not_ replaced
site(Dados_por_perfis) <- s

# check:
Dados_por_perfis

# manually create some diagnostic horizon data
# there is no restrictions on data format, as long as each row has an ID that exists
# within the collection
# be sure to use the ID column name that was used to initialize the
# SoilProfileCollection object

```

```
# check via: idname(dados_perfis)
dh      <-      data.frame(id='colusa',      kind='argillic',      top=8,      bottom=42,
stringsAsFactors=FALSE)

# overwrite any existing diagnostic horizon data
diagnostic_hz(Dados_por_perfis) <- dh

# append to diagnostic horizon data
dh <- diagnostic_hz(Dados_por_perfis)
dh.new      <-      data.frame(id='napa',      kind='argillic',      top=6,      bottom=20,
stringsAsFactors=FALSE)

# overwrite existing diagnostic horizon data with appended data
diagnostic_hz(Dados_por_perfis) <- rbind(dh, dh.new)

# get the depth of each profile
rf.top <- profileApply(Dados_por_perfis, max)
rf.bottom <- rf.top + 20

# the profile IDs can be extracted from the names attribute
pIDs <- names(rf.top)

# carefully make data.frame
# note: profile IDs must be stored in a column named for idname(dadosperfis) ->
'id'
rf <- data.frame(
  id = pIDs,
  top = rf.top,
  bottom = rf.bottom,
  kind='fake',
  stringsAsFactors=FALSE
)
```

```
# overwrite any existing diagnostic horizon data
restrictions(Dados_por_perfis) <- rf

# check
restrictions(Dados_por_perfis)

subset(Dados_por_perfis, group == 'A')
subset(Dados_por_perfis, elevation < 1000)
subset(Dados_por_perfis, grepl('shasta', id, ignore.case = TRUE))

Dados_por_perfis[, 2]

Dados_por_perfis[, , .FIRST]
Dados_por_perfis[, , .LAST]

# subset data into chunks
s1 <- Dados_por_perfis[1:2, ]
s2 <- Dados_por_perfis[4, ]
s3 <- Dados_por_perfis[c(6, 8, 9), ]

# combine subsets
s <- combine(list(s1, s2, s3))

# make grouping variable into a factor for groupedProfilePlot
x$g <- factor(x$g)

# check results
str(x)

# graphical check
# convert character horizon IDs into numeric
x$.horizon_ids_numeric <- as.numeric(hzID(x))
```

```

par(mar = c(0, 0, 3, 1))
plotSPC(x, color='horizon_ids_numeric', col.label = 'Horizon ID')
groupedProfilePlot(x, 'g', color='horizon_ids_numeric', col.label = 'Horizon ID',
group.name.offset = -15)

# continuing from above
# split subsets of x into a list of SoilProfileCollection objects using site-level
# attribute 'g'
res <- split(x, 'g')
str(res, 1)9

d <- duplicate(Dados_por_perfis[1, ], times = 8)
par(mar = c(0,2,0,1))
plotSPC(d, color = 'ex_Ca_to_Mg')

#plot clay content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='clay', col.palette=c("#FFFFFF",
"#801414"), col.label='Clay Content (%)')

#plot sand content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)

```

```

explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='sand',
col.palette=c("#FFFFFF", "#748200"), col.label='Sand Content (%)')

#plot silt content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='silt', col.palette=c("#FFFFFF",
"#0000FF"), col.label='Silt Content (%)')

#plot Al content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='Al', col.palette=c("#FFFFFF",
"#FF0201"), col.label='Al Content (cmolc kg-1)')

#plot Ca content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)

```

```

explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='Ca', col.palette=c("#FFFFFF",
"#00BF63"), col.label='Ca Content (cmolc kg-1)'

#plot Mg content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='Mg', col.palette=c("#FFFFFF",
"#FF007A"), col.label='Mg Content (cmolc kg-1)'

#plot Co content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='COT',
col.palette=c("#FFFFFF", "#000000"), col.label='COT Content (%)')

#plot pH_AGUA content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)

```

```

explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='pH_agua',
col.palette=c("#FFF001", "#4BBE01"), col.label='pH Content (%)')

#plot pH_KCl content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='pH_KCl',
col.palette=c("#FFF001", "#4BBE01"), col.label='pH KCl Content (%)')

#plot GF content
par(mar = c(4,3,2,2))
pos <- c(1, 1.2, 3, 4, 5, 5.2, 7, 8, 9, 10)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = pos)
par(mar = c(4,3,2,2))
new.pos <- fixOverlap(pos, thresh = 0.7)
explainPlotSPC(Dados_por_perfis, name = 'name', relative.pos = new.pos)
par(mar=c(0,0,3,1)) # tighter figure margins
plotSPC(Dados_por_perfis, name='name', color='G_Flocul',
col.palette=c("#FFFFFF", "#4BBBBB"), col.label='Floculation (%)')

```

ANEXO B - CÓDIGO R UTILIZADO PARA PCA

```
library(readxl)
library(factoextra)

GRANULOMETRIA <-
read_excel("C:/Users/User/Documents/A.UDESC-CAV/Projeto de Mestrado -
UDESC-UFSC-CURITIBANOS/A. Dados_dos_Perfis/GRANULOMETRIA.xlsx")
pca_corr <- prcomp(GRANULOMETRIA[4:16], center = TRUE, scale = TRUE)
fviz_pca_biplot(pca_corr,    label="var",    habillage=GRANULOMETRIA$Perfil,
addEllipses=TRUE, ellipse.level=0.95)
fviz_contrib(pca_corr, choice = "var", axes = 1)
fviz_eig(pca_corr, addlabels = TRUE)
fviz_pca_biplot(pca_corr, geom.ind = "point", fill.ind = GRANULOMETRIA$...1,
col.ind = "black", pointshape = 21, pointsize = 2, palette = "jco", addEllipses =
TRUE, alpha.var = "contrib", col.var = "contrib", gradient.cols = "OrRd")
```

ANEXO C – CÓDIGO PARA GRÁFICO DE BARRAS DA ANÁLISE DE PENETRAÇÃO

```
library(readxl)
library(ggplot2)
library(dplyr)

caminho_arquivo <- "C:/Users/User/Documents/A.UDESC-CAV/Projeto
de Mestrado -
UDESC-UFSC-CURITIBANOS/A.Dados_por_planta/penetrometro.xlsx"

# Carregar os dados do Excel
dados <- read_excel(caminho_arquivo)

# Verificar a estrutura dos dados
str(dados)

# Gerar paleta de cores com base no arco-íris
cores <- rainbow(17)

# Gráfico de Barras
barplot(tapply(dados$mPa, dados$Plot, mean),
        main = "Média da Pressão Aplicada por Ponto de Coleta",
        xlab = "Ponto de Coleta",
        ylab = "Média da Pressão Aplicada",
        col = cores)
```

ANEXO D – PERFIS DE SOLO

Perfil 1

Data: Janeiro de 2023.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: NITOSSOLO BRUNO Distroférrico típico

LOCALIZAÇÃO: Vinícola Berto Aguiar. Curitibanos (SC), 27°12'19"S e 50°37'14"W".

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio, gramíneas.

ALTITUDE – 940 m

LITOLOGIA – Basalto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Serra Geral

CRONOLOGIA – Cretáceo/ Época inferior

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto da alteração de basalto

PEDREGOSIDADE – Ligeiramente pedregoso

ROCHOSIDADE – Não rochoso (<2%)

RELEVO LOCAL – Suave-ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista (Araucária) com Butiaçal

USO ATUAL – Vitivinicultura desde 2019.

CLIMA – Cfb, da classificação de Köeppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Alexandre Ten Caten, Borges Marfram

Melo, Carlos Vieira, Gustavo Eduardo Pereira, Laian Silva Medeiros

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap** 0 a 10 cm; Bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido); Bruno (7,5YR 4/4, seco); Argilosa; blocos sub angulares pequena e forte; friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana.
- A₁** 10 a 28 cm; Bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmido); Bruno (7,5YR 4/4, seco); Argilosa; blocos sub angulares pequena e forte; friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- AB** 28 a 42 cm; Bruno-escuro (2,5YR 2.5/3, úmido); Bruno (7,5YR 4/4, seco); Muito Argilosa; blocos sub angulares pequena e moderada; friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- BA** 42 a 66 cm; Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); Bruno (7,5YR 4/4, seco); Muito Argilosa; blocos sub angulares pequena e moderada; friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bt₁** 66 a 108 cm; Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); Bruno-forte (7,5YR 5/6, seco); Muito Argilosa; blocos sub angulares pequena e moderada; friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana; Cerosidade moderada.
- Bt₂** 108+ cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmido); Bruno-forte (7,5YR 5/6, seco); Muito Argilosa; blocos angulares pequena e moderada; friável, dura, não plástica e pegajosa; transição difusa e plana; Cerosidade forte e comum.

RAÍZES: - Gramíneas, Comuns em Ap e A₁. Gramíneas, Raras AB, BA, Bt₁. Sem raízes em Bt₂, porém com presença de mosqueado de redução e fragmentos de intemperismo/decomposição

Tabela 5 - Propriedades físicas e químicas do NITOSSOLO BRUNO

| Horizontes | | Frações da Amostra Total | | Composição Granulométrica da Terra Fina | | | Argila Disp. em água | Grau de Floc. | Rel. Silte/ Argila | |
|--|----------|--------------------------|------------------|---|--------------------|--------------------------------|----------------------|--|--|--|
| | | | | Areia | Silte | Argila | | | | |
| Simb | Prof. cm | Cal h | Casc | T.Fina | g.kg ⁻¹ | | | % | | |
| Ap | 0 – 10 | 0 | 0 | 1000 | 249 | 323 | 428 | 284 | 33 | 0,75 |
| A1 | 10 – 28 | 0 | 0 | 1000 | 174 | 284 | 541 | 341 | 37 | 0,52 |
| AB | 28 – 42 | 0 | 0 | 1000 | 161 | 233 | 605 | 180 | 70 | 0,38 |
| BA | 42 – 66 | 0 | 0 | 1000 | 138 | 199 | 663 | 66 | 90 | 0,30 |
| Bt1 | 66 – 108 | 0 | 0 | 1000 | 115 | 167 | 717 | 0 | 100 | 0,23 |
| Bt2 | 108+ | 0 | 0 | 1000 | 126 | 182 | 691 | 0 | 100 | 0,26 |
| pH (1:2,5) | | | | | | | | | | |
| Complexo Sortivo (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | | | | | | |
| Água | KCl | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | SB | Al ³⁺ | H+Al | T | V (%) |
| 5.3 | 5.2 | 9.0 | 2.6 | 0.70 | 0.02 | 12. 3 | 0.03 | 4.73 | 17.1 | 72.4 (%) |
| 5.0 | 4.8 | 5.4 | 1.4 | 0.22 | 0.01 | 7.0 | 0.03 | 4.29 | 11.4 | 62.3 0 |
| 4.6 | 4.3 | 3.9 | 1.3 | 0.09 | 0.02 | 5.3 | 0.53 | 5.06 | 10.4 | 51.2 5 |
| 4.2 | 4.0 | 2.6 | 0.8 | 0.04 | 0.01 | 3.4 | 1.50 | 5.17 | 8.6 | 40.0 17 |
| 4.3 | 4.1 | 1.2 | 0.2 | 0.03 | 0.01 | 1.4 | 1.73 | 3.74 | 5.2 | 28.3 33 |
| 4.6 | 4.2 | 0.9 | 0.2 | 0.15 | 0.02 | 1.3 | 0.83 | 3.41 | 4.8 | 28.3 18 |
| C-Org | | Ataque Sulfúrico | | | | | | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki) | Si ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃ (Kr) | Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃ |
| | | SiO ₂ | | Al ₂ O ₃ | | Fe ₂ O ₃ | | | | |
| | | g.kg ⁻¹ | | | | | | | | |
| 37,1 | 373,4 | | | 335,1 | | 226,5 | 1.9 | 1.5 | 1,5 | |
| 22,7 | 380,1 | | | 349,3 | | 225,0 | 1.8 | 1.5 | 1,6 | |
| 20,2 | 382,2 | | | 353,3 | | 221,6 | 1.8 | 1.5 | 1,6 | |
| 18,7 | 385,3 | | | 354,4 | | 218,1 | 1.8 | 1.5 | 1,6 | |
| 10,7 | 387,0 | | | 356,5 | | 215,7 | 1.8 | 1.5 | 1,7 | |
| 8,12 | 396,7 | | | 357,9 | | 205,4 | 1.9 | 1.5 | 1,7 | |

Perfil 2

Data: Janeiro de 2023.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSOLO VERMELHO Distroférrico típico

LOCALIZAÇÃO: Vinícola Berto Aguiar. Curitibanos (SC), 27°12'18"S e 50°37'14"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio, gramíneas.

ALTITUDE – 926 m

LITOLOGIA – Basalto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Serra Geral

CRONOLOGIA – Cretáceo/ Época inferior

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto da alteração de basalto

PEDREGOSIDADE – Ligeiramente pedregoso

ROCHOSIDADE – Não rochoso (<2%)

RELEVO LOCAL – Suave-ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista (Araucária) com Butiaçal

USO ATUAL – Vitivinicultura desde 2019.

CLIMA – Cfb, da classificação de Köeppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Alexandre ten Caten, Borges Marfram Melo, Carlos Vieira, Gustavo Eduardo Pereira, Laian Silva Medeiros

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 a 10 cm; Bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmido); Bruno (7,5YR 4/4, seco); Argilosa; blocos sub angulares média e moderada; friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

A 10 a 33 cm; Vermelho-escuro (5YR 3/3, úmido); Bruno (7,5YR 4/4, seco); Argilosa; blocos sub angulares média e moderada; friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

BA 33 a 54 cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/3, úmido); Bruno (7,5YR 4/4, seco); Muito Argilosa; blocos sub angulares pequena e moderada; friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

Bw₁ 54 a 78 cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/3, úmido); Bruno-escuro (7,5YR 3/4, seco); Muito Argilosa; blocos sub angulares pequena e moderada; friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Bw₂ 78+ cm; Vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); Bruno-escuro (7,5YR 3/4, seco); Muito Argilosa; blocos sub angulares média e fraca; friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

RAÍZES: - Gramíneas, Comuns em Ap e A. Gramíneas, Raras AB, Bw₁ e Bw₂,

Tabela 6 - Propriedades físicas e químicas do LATOSSOLO VERMELHO

| Horizontes | | Frações da Amostra Total | | | Composição Granulométrica da Terra Fina | | | Argila Disp. em água | Grau de Floc. | Rel. Silte/ Argila |
|--|---------|--------------------------|------------------|----------------|---|----------|------------------|--------------------------------|--|--|
| | | Prof. | Cal h | Casc | T.Fina | Areia | Silte | Argila | | |
| cm | | | | | | | | | gkg ⁻¹ | % |
| Ap1 | 0 – 10 | 0 | 0 | 1000 | 196 | 317 | 487 | 246 | 50 | 0,65 |
| Ap2 | 10 – 33 | 0 | 0 | 1000 | 162 | 259 | 578 | 314 | 46 | 0,44 |
| AB | 33 – 54 | 0 | 0 | 1000 | 126 | 211 | 663 | 225 | 66 | 0,31 |
| Bw1 | 54 – 78 | 0 | 0 | 1000 | 114 | 159 | 728 | 85 | 88 | 0,21 |
| Bw2 | 78+ | 0 | 0 | 1000 | 114 | 175 | 711 | 31 | 96 | 0,25 |
| pH (1:2,5) | | | | | | | | | | |
| Complexo Sortivo (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | | | | | | |
| Água | KCl | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | SB | Al ³⁺ | H+Al | T | V (%) |
| 5.2 | 4,9 | 9.0 | 2.8 | 0.37 | 0.02 | 12. 2 | 0.0 | 4.4 | 16.6 | 73.4 (%) |
| 4.4 | 4.1 | 3.8 | 1.6 | 0.05 | 0.02 | 5.5 | 1.1 | 7.3 | 12.8 | 43.1 9 |
| 4.0 | 3.8 | 1.0 | 0.3 | 0.01 | 0.01 | 1.3 | 4.4 | 7.9 | 9.3 | 15.0 47 |
| 4.0 | 3.8 | 0.9 | 0.2 | 0.01 | 0.01 | 1.1 | 5.1 | 7.5 | 8.6 | 12.7 59 |
| 4.0 | 3.8 | 0.7 | 0.1 | 0.01 | 0.01 | 0.8 | 2.8 | 7.4 | 8.2 | 10.3 34 |
| Ataque Sulfúrico | | | | | | | | | | |
| C-Org | | SiO ₂ | | | Al ₂ O ₃ | | | Fe ₂ O ₃ | | |
| gkg ⁻¹ | | | | | | | | | SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (Ki) | Si ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ (Kr) |
| 31,6 | | 379,6 | | | 313,8 | | | 238,1 | 2.1 | 1.5 1,3 |
| 22,9 | | 375,7 | | | 347,7 | | | 229,4 | 1.8 | 1.4 1,5 |
| 18,3 | | 381,2 | | | 358,1 | | | 217,1 | 1.8 | 1.5 1,6 |
| 14,0 | | 385,5 | | | 360,6 | | | 211,7 | 1.8 | 1.5 1,7 |
| 12,6 | | 388,1 | | | 358,4 | | | 211,4 | 1.8 | 1.5 1,7 |

Perfil 3

Data: Janeiro de 2023.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSOLO BRUNO Distroférrico típico

LOCALIZAÇÃO: Vinícola Berto Aguiar. Curitibanos (SC), 27°12'17"S e 50°37'14"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio, gramíneas.

ALTITUDE – 918 m

LITOLOGIA – Basalto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Serra Geral

CRONOLOGIA – Cretáceo/ Época inferior

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto da alteração de basalto

PEDREGOSIDADE – Ligeiramente pedregoso

ROCHOSIDADE – Não rochoso (<2%)

RELEVO LOCAL – Suave-ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista (Araucária) com Butiaçal

USO ATUAL – Vitivinicultura desde 2019.

CLIMA – Cfb, da classificação de Köeppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Alexandre ten Caten, Borges Marfram Melo, Carlos Vieira, Gustavo Eduardo Pereira, Laian Silva Medeiros

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap₁ 0 a 10 cm; Bruno-avermelhado-escuro (5YR 2,5/2, úmido); Bruno-escuro (7,5YR 3/3, seco); Argilosa; blocos sub angulares granular média pequena e moderada; medianamente friável, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Ap₂ 10 a 25 cm; Bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido); Bruno-escuro (7,5YR 3/3, seco); Argilosa; blocos sub angulares granular média pequena e fraca; medianamente friável, não plástico e não pegajoso; transição gradual e plana; solo revolvido, camada alterada.

AB 25 a 40 cm; Bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido); Bruno-escuro (7,5YR 3/3, seco); Argilosa; blocos sub angulares pequena medianamente pequena e moderada; firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; presença de pouca cerosidade.

Bw₁ 40 a 75 cm; Bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmido); Bruno-escuro (7,5YR 3/4, seco); Muito Argilosa; blocos sub angulares pequena medianamente pequena e fraca; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; presença de pouca cerosidade.

Bw₂ 75+ cm; Bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmido); Bruno-escuro (7,5YR 3/4, seco); Muito Argilosa; blocos sub angulares pequena medianamente pequena e fraca; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; presença de pouca cerosidade.

RAÍZES: - Gramíneas, Comuns em Ap₁ e Ap₂. Gramíneas, Raras BA, Bw₁ e Bw₂

,

Tabela 7 - Propriedades físicas e químicas do LATOSOLO BRUNO

| Horizontes | Frações da Amostra Total | | | Composição Granulométrica da Terra Fina | | | Argila Disp. em água | Grau de Floc. | Rel. Silte/ Argila | |
|--|--------------------------|-------------------|------------------|---|--------------------------------|-------|--------------------------------|---------------|---|--|
| | Prof. Simb | Cal h | Casc | T.Fina | Areia | Silte | Argila | | | |
| cm | gkg ⁻¹ | | | | | | % | | | |
| Ap ₁ | 0 – 10 | 0 | 0 | 1000 | 217 | 344 | 439 | 236 | 46 | 0,78 |
| Ap ₂ | 10 – 25 | 0 | 0 | 1000 | 215 | 330 | 455 | 224 | 51 | 0,72 |
| BA | 25 – 40 | 0 | 0 | 1000 | 172 | 320 | 508 | 290 | 43 | 0,63 |
| Bw1 | 40 – 75 | 0 | 0 | 1000 | 142 | 241 | 617 | 220 | 64 | 0,39 |
| Bw2 | 75+ | 0 | 0 | 1000 | 111 | 158 | 731 | 17 | 98 | 0,22 |
| pH (1:2,5) | | | | | | | | | | |
| Complexo Sortivo (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | | | | | | |
| Água | KCl | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | SB | Al ³⁺ | H+Al | T | V m |
| 5.5 | 5.0 | 8.8 | 2.2 | 0.18 | 0.01 | 11. | | 4.1 | 15.3 | 73.4 (%) |
| | | | | | | 2 | 0,0 | | | 0 (%) |
| 5.1 | 4.5 | 7.3 | 2.2 | 0.15 | 0.01 | 9.6 | 0,0 | 6.6 | 16.2 | 59.3 |
| 5.2 | 4.8 | 6.4 | 2.6 | 0.13 | 0.01 | 9.1 | 0,0 | 5.4 | 14.6 | 63.0 |
| 3.9 | 3.9 | 1.2 | 0.3 | 0.02 | 0.01 | 1.5 | 2.23 | 8.5 | 10.0 | 15.3 |
| 4.0 | 3.8 | 0.8 | 0.1 | 0.01 | 0.00 | 0.9 | 2.67 | 7.9 | 8.8 | 22 |
| | | | | | | | | | | 10.4 |
| | | | | | | | | | | 30 |
| Ataque Sulfúrico | | | | | | | | | | |
| C-Org | | SiO ₂ | | | Al ₂ O ₃ | | Fe ₂ O ₃ | | SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (Ki) | Si ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ (Kr) |
| | | gkg ⁻¹ | | | | | | | Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ |
| 34,9 | | 373,88 | | | 299,99 | | 244,12 | 2.1 | 1.5 | 1,2 |
| 32,9 | | 387,82 | | | 342,25 | | 218,97 | 1.9 | 1.5 | 1,6 |
| 24,2 | | 382,34 | | | 344,19 | | 223,77 | 1.9 | 1.5 | 1,5 |
| 18,2 | | 380,75 | | | 353,67 | | 219,43 | 1.8 | 1.5 | 1,6 |
| 13,0 | | 392,3 | | | 355,07 | | 210,4 | 1.9 | 1.5 | 1,7 |