

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA E ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE
SOLOS COM USOS EM VITIVINICULTURA NA SERRA DO SUDESTE DO
RIO GRANDE DO SUL**

Caroline Valverde dos Santos
(Tese de doutorado)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA E ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE
SOLOS COM USOS EM VITIVINICULTURA NA SERRA DO SUDESTE DO
RIO GRANDE DO SUL**

CAROLINE VALVERDE DOS SANTOS
Engenheira Agrônoma - UFRB
Mestre em Ciência do Solo - UFRGS

Tese apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Doutora em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Fevereiro de 2017

CIP - Catalogação na Publicação

dos Santos, Caroline Valverde
CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA E ATRIBUTOS FÍSICO -
QUÍMICOS DE SOLOS COM USOS EM VITIVINICULTURA NA
SERRA DO SUDESTE DO RIO GRANDE DO SUL / Caroline
Valverde dos Santos. -- 2017.
146 f.
Orientador: Renato Levien.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,
2017.

1. Viticultura. 2. Levantamento de Solos. 3.
Manejo do Solo. 4. Física do Solo. 5. Química do Solo.
I. Levien, Renato, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

PAGINA DE HOMOLOGAÇÃO

*“Não há melhor arma do que o conhecimento,
e não há melhor fonte de conhecimento
do que a palavra escrita”.*

Malala Yousafzai

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho é fruto de dedicação, mas sem a colaboração de algumas pessoas seria impossível. Por isso agradeço a pessoas especiais que de uma forma ou de outra me ajudaram nessa trajetória:

Primeiramente, aos meus pais Nilton (*in memoriam*) e Geldisia, que sempre me incentivaram a continuar lutando, em meio às adversidades;

Aos meus irmãos, Eduardo e Ricardo, e às minhas sobrinhas Yeda e Ísis e Yara, o incentivo e a demonstração de amor de vocês também me fizeram acreditar que, sim, é possível;

Ao meu orientador, professor Renato Levien, pela paciência, dedicação, e também críticas construtivas que contribuíram, contribuem e contribuirão para o meu crescimento profissional, obrigada pela confiança depositada;

Ao professor Paulo Cesar do Nascimento, pela amizade, incentivo e por ter ajudado na minha formação profissional;

Ao Grupo de Pesquisa Processos Físicos do Solo e Relações Solo-Máquina, por toda ajuda nas atividades de campo e em laboratório;

À UFRGS, ao Departamento de Solos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade, e à estrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta Tese de Doutorado;

À Moët Hennessy do Brasil Vinhos e Destilados Ltda. (Chandon), na pessoa do gerente de campo Engenheiro Agrônomo Eugênio Barbieri e seus funcionários, pela oportunidade e apoio na realização dos estudos no Vinhedo de Encruzilhada do Sul, e pela infraestrutura oferecida durante toda a atividade;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro no período do doutorado;

Aos colegas, funcionários e professores do Departamento de Solos e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela colaboração e troca de conhecimento, bem como por toda a ajuda nas saídas de campo e trabalhos de laboratório;

Às amigas Edislene, Elis, Estéfane, Fernanda, Jessica, Joelma, Naihana, Priscila, Tatiele, Tatiana e Vanessa, e aos amigos Agi, Alcinei, Israel, Janderson e Luis, pela troca de conhecimentos e momentos extra pesquisa que fizeram meus dias felizes durante o período do doutorado;

E não menos importante, à Deus por sua proteção e encorajamento durante essa caminhada “**Até aqui me ajudou o Senhor** (1 Samuel 7:12)”.

Muito obrigada!

CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA E ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE SOLOS COM USOS EM VITIVINICULTURA NA SERRA DO SUDESTE DO RIO GRANDE DO SUL¹

Autora: Caroline Valverde dos Santos
Orientador: Renato Levien

RESUMO

O Estado do Rio Grande do Sul é responsável por 90% da produção nacional de uvas, sobretudo para a elaboração de vinhos finos. O município de Encruzilhada do Sul apresenta potencial edafoclimático ideal para a produção de uvas que abastecem grandes vinícolas da Serra Gaúcha. Entretanto o uso indiscriminado do solo pode resultar em uma degradação do solo. Este trabalho foi dividido em três estudos, que tiveram como objetivo Identificar as classes de solos ocorrentes no vinhedo, de acordo com a descrição morfológica e análise dos atributos químicos e físicos dos horizontes superficiais e subsuperficiais; Avaliar o efeito do manejo na qualidade química do solo de um vinhedo comercial, em áreas com 4, 9 e 16 anos de manejo após o plantio de videira da variedade *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir para a elaboração de espumantes; Avaliar o efeito do tráfego de máquinas agrícolas na qualidade física do solo de um vinhedo comercial com diferentes anos de condução após o plantio das mudas. Foram realizados análises de perfis de 8 trincheiras em campo e com análises laboratoriais. Foi realizado o estudo dos atributos químicos e físicos do solo utilizados como indicadores de qualidade do solo, para avaliar o efeito do manejo do vinhedo com 4, 9 e 16 anos de condução após o plantio das mudas. Para análise da qualidade química do solo foram coletadas amostras indeformadas do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm, em três repetições. Os atributos físicos do solo foram analisados nas mesmas áreas e profundidades, que foram coletadas no local de tráfego do rodado (R), entre rodados (ER) e linha de plantio (LP). 80% da propriedade é constituída por Argissolos diversificados, além de Cambissolos, estes ideais para a cultura da videira. Além desses solos, foi identificado na propriedade a presença de Gleissolo, que não são recomendados para o cultivo devido ao seu caráter hidromórfico. Pode-se observar uma redução na acidez do solo e incremento da fertilidade devido ao histórico de cultivo do vinhedo. Para a análise dos indicadores de qualidade física do solo, foram coletadas amostras do solo nas mesmas profundidades, em três locais na entrelinha: entre rodados, rodados e linha de plantio. A área com 16 anos de condução após o plantio apresentou maior efeito do uso de máquinas no vinhedo, sobretudo na posição de tráfego dos rodados do trator, afetando seriamente a qualidade física devido à compactação e baixa infiltração de água no solo.

Palavra-chave: Classificação do solo, química do solo, física do solo.

MORPHOLOGICAL CLASSIFICATION AND SOIL QUALITY OF A PROPERTY INTENDED FOR THE PRODUCTION OF SPARKLING

¹ Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre. (147 p.) fevereiro, 2017. Trabalho realizado com apoio do CNPq.

COMMERCIAL GRAPES IN THE SERRA DO SUDESTE IN THE RIO GRANDE DO SUL¹

Author: Caroline Valverde dos Santos

Adviser: Renato Levien

ABSTRACT

The State of Rio Grande do Sul is responsible for 90% of the national production of grapes, mainly for the elaboration of fine wines. The municipality of Encruzilhada do Sul presents ideal edafoclimatic potential for the production of grapes that supply large wineries in the Serra Gaúcha. However the indiscriminate use of the soil can result in a degradation of the soil. This work was divided into three studies, which aimed to identify the soil classes occurring in the vineyard, according to the morphological description and analysis of the chemical and physical attributes of the superficial and subsurface horizons; To evaluate the effect of the management on the chemical quality of the soil of a commercial vineyard in areas with 4, 9 and 16 years of management after planting *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir for the preparation of sparkling wines; To evaluate the effect of the traffic of agricultural machines on the physical quality of the soil of a commercial vineyard with different years of driving after planting the seedlings. Analyzes of profiles of 8 trenches were carried out in the field and with laboratory analyzes. The study of soil chemical and physical attributes used as soil quality indicators was carried out to evaluate the effect of vineyard management at 4, 9 and 16 years of age after planting the seedlings. For the analysis of soil chemical quality, undisturbed soil samples were collected at depths of 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 and 50-60 cm in three replicates. The physical attributes of the soil were analyzed in the same areas and depths, which were collected in the traffic site of the wheel tracks of the tractor (WT), between the wheel tracks (BWT), and in the area under the line projection of the canopy (CLP). 80% of the property consists of diversified Argissolos, in addition to Cambisols, these are ideal for vine growing. In addition to these soils, the presence of Gleissolo was identified in the property, which are not recommended for cultivation due to its hydromorphic character. A reduction in soil acidity and an increase in fertility can be observed due to the vineyard's cultivation history. For the analysis of soil physical quality indicators, soil samples were collected at the same depths, at three sites in the interline: between rounds, rounds and planting line. The area with 16 years of driving after planting showed a greater effect of the use of machines in the vineyard, especially in the traffic position of tractor wheels, seriously affecting the physical quality due to compaction and low infiltration of water in the soil.

Keyword: soil classification, soil chemistry, soil physics.

¹ Doctorate thesis in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre Brazil. (147 p.) February 2017. This study was supported by CNPq.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. Origem e difusão da videira	17
2.2. Importância econômica da viticultura no Brasil	19
2.3. Produção de uvas na Serra do Sudeste	21
2.4. Produção de espumantes	22
2.5. Solo e clima para viticultura	23
2.6. Manejo e qualidade do solo	25
2.7. Indicadores químicos da qualidade do solo	26
2.8. Indicadores físico-hídricos da qualidade do solo	27
CAPITULO I - CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DE SOLOS EM UM VINHEDO COMERCIAL NA SERRA DO SUDESTE DO RIO GRANDE DO SUL	30
1. INTRODUÇÃO	30
2. MATERIAL E MÉTODOS	32
2.1. Característica do local de estudo	33
3. RESULTADO E DISCUSSÃO	41
2.1. UM 1 - Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd1)	44
3.2. UM 2 - Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2).....	50
3.3. UM 3 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXd1).....	55
3.4. UM 4 - Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico (GXd)	60
3.5. UM 5 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico (CXd2)	64

3.6. UM 6 - Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico (PVd3)	67
3.7. UM 7 - Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd4)	72
3.8. UM 8 - Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd5)	76
4. CONCLUSÕES	80
CAPÍTULO II - ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS EM UM VINHEDO COMERCIAL NA SERRA DO SUDESTE DO RIO GRANDE DO SUL.....	
1. INTRODUÇÃO	81
2. MATERIAL E MÉTODOS	83
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4. CONCLUSÕES	99
CAPÍTULO III - ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS EM VITIVINICULTURA DA SERRA DO SUDESTE DO RIO GRANDE DO SUL. 100	
1. INTRODUÇÃO	100
2. MATERIAL E MÉTODOS	103
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	114
4. CONCLUSÕES	129
5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	131
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Unidade de mapeamentos dos solos da propriedade	42
Tabela 2. Morfologia do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd1)	45
Tabela 3. Atributos físicos dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd1)	47
Tabela 4. Atributos químicos dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd1)	49
Tabela 5. Morfologia Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2)	51
Tabela 6. Atributos físicos dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2)	53
Tabela 7. Atributos químicos dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2)	54
Tabela 8. Morfologia do Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico (CXd1) identificado na propriedade.....	57
Tabela 9. Atributos físicos dos perfis representativos do Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico (CXd1)	58
Tabela 10. Atributos químico dos perfis representativos do Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico (CXd1)	59
Tabela 11. Morfologia do Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico (GXd) identificado na propriedade	61
Tabela 12. Atributos físicos dos perfis representativos do Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico (GXd).....	62
Tabela 13. Atributos químico dos perfis representativos do Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico (GXd).....	63
Tabela 14. Morfologia do Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico (CXd2) identificado na propriedade.....	65
Tabela 15. Atributos físicos dos perfis representativos do Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico (CXd2).....	66
Tabela 16. Atributos químico dos perfis representativos do Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico (CXd2).....	67
Tabela 17. Morfologia do Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico (PVd3) identificado na propriedade.....	69
Tabela 18. Atributos físicos dos perfis representativos do solo Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico (PVd3).....	70
Tabela 19. Atributos químico dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico (PVd3)	71

Tabela 20. Morfologia do Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PVd4) identificado na propriedade.....	73
Tabela 21. Atributos físicos dos perfis representativos do solo Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PVd4).....	74
Tabela 22. Atributos químico dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PVd4)	75
Tabela 23. Morfologia do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd5) identificado na propriedade.....	77
Tabela 24. Atributos físicos dos perfis representativos do solo Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd5).....	78
Tabela 25. Atributos químico dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd5)	79
Tabela 26. Distribuição granulométrica, classificação textural e densidade de partículas das áreas com diferentes anos de cultivo após o plantio das videiras	85
Tabela 27. Teor matéria orgânica, distribuição granulométrica, classificação textural e densidade de partículas das áreas do vinhedo com diferentes anos de condução após o plantio das mudas.....	117
Tabela 28. Atributos físicos do solo em três posições de amostragem em áreas com três épocas de cultivo após o plantio das videiras	120
Tabela 29. Umidade crítica do solo ($U_{gcrít}$), densidade máxima ($D_{smáx}$) de compactação e densidade relativa (D_r) do solo nas áreas estudadas.....	123
Tabela 30. Taxa de infiltração (VI), infiltração de água acumulada (I) e velocidade básica de infiltração (VIB) de água no solo, em função do tempo das áreas estudadas	126

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa dos principais polos de produção de uva no Brasil (Adaptado de IBRAVIN, 2017).	20
Figura 2. Províncias Geomorfológicas, localização geográfica do Município de Encruzilhada do Sul e classes de solos do Rio Grande do Sul. (Adaptado de CEP SRM/UFRGS e EMATER/DIT-UFRGS/DEP. DE SOLOS).	24
Figura 3. Localização e formação geológica do município de Encruzilhada do Sul, adaptado de Wilder et al., (2007).	33
Figura 4. Levantamento expedito do solo realizado no vinhedo, visando identificar características do solo semelhantes nos locais amostrados.	35
Figura 5. Mapa da área do vinhedo e locais de amostragem do solo. (Losango preto = locais de levantamento expedito, por tradagem; círculo vermelho = locais de abertura de trincheira para levantamento de solo em campo e coleta de amostras com estrutura deformada e indeformada para análise laboratoriais).	36
Figura 6. Avaliação do perfil do solo, em campo e coleta de amostras com estrutura deformada e indeformada para análise dos atributos físicos e químicos do solo.	37
Figura 7. Mapa de solos do vinhedo da Moët Hennessy do Brasil Vinhos e Destilados Ltda., em Encruzilhada do Sul /RS.	43
Figura 8. Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico PVd1 e sua posição na paisagem.	44
Figura 9. Argissolo Vermelho Distrófico típico PVd2 e sua posição na paisagem, com detalhe para o granito semi-intemperizado no horizonte mais profundo do solo (C/Cr).	50
Figura 10. Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico CXd1 e sua posição na paisagem.	56
Figura 11. Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico GXd e sua posição na paisagem.	60
Figura 12. Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico - CXd2 e sua posição na paisagem.	64
Figura 13. Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico - PVd3 e sua posição na paisagem.	68
Figura 14. Argissolo Vermelho Distrófico abrupto PVd4 e sua posição na paisagem.	72
Figura 15. Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico PVd5 e sua posição na paisagem.	76

Figura 16. Localização do município de Encruzilhada do Sul e identificação das áreas avaliadas no vinhedo.	84
Figura 17. Esquema da posição de amostragem das amostras de solo com estrutura deformada.....	86
Figura 18. A: teores de cálcio trocável ($\text{Ca}^{+2}_{\text{troc}}$); B: teores de magnésio trocável ($\text{Mg}^{+2}_{\text{troc}}$); C: Acidez ativa (pH H_2O); D: acidez potencial (H+Al), das áreas em estudo. (Letras maiúsculas = anos após o plantio; letras minúsculas = profundidade; Tukey $p < 0.05$).	89
Figura 19. A: matéria orgânica (MO) e B: enxofre (S- SO_4) do solo das áreas em estudo C: Teores fósforo disponível ($\text{H}_2\text{PO}^{-4}_{\text{disp}}$); D: potássio disponível ($\text{K}^{+}_{\text{disp}}$). (Letras maiúsculas = anos após o plantio; letras minúsculas = profundidade; Tukey $p < 0.05$).	93
Figura 20. A: Teor de alumínio trocável ($\text{Al}^{+3}_{\text{disp}}$); B: saturação por alumínio (m); C: Saturação por bases (V) e D: capacidade de troca de cátions (CTC) do solo das áreas de estudo. (Letras maiúsculas = anos após o plantio; letras minúsculas = profundidade; Tukey $p < 0.05$).	96
Figura 21. A: Teores de cobre (Cu^{+2}); B: Zinco (Zn^{+2}); C: boro (B) e D: manganês (Mn) do solo das áreas em estudo. (Letras maiúsculas = anos após o plantio; letras minúsculas = profundidade; Tukey $p < 0.05$).	98
Figura 22. Posições de amostragem para coleta de amostras de solo com estrutura indeformada e análise de infiltração de água no solo.....	105
Figura 23. Determinação da granulometria do solo das áreas de estudo pelo método da pipeta.	107
Figura 24. Determinação da densidade de partículas do solo pelo método do balão volumétrico.....	108
Figura 25. Ensaio de compactação em função da umidade do solo das áreas estudadas.	110
Figura 26. Amostragem de solo com estrutura preservada para análise da estrutura do solo.	111
Figura 27. Determinação da infiltração de água no solo. A = local de tráfego do rodado do trator; B =entre rodados do trator; C = linha de plantio das videiras.	113
Figura 28. Taxa de infiltração e infiltração acumulada das áreas estudadas (LP - linha de plantio; ER - entre rodado; R - rodado).	124
Figura 29. Curvas características de retenção de água no solo das áreas estudadas. ER (entre rodados), R (rodado do trator) e LP (linha de plantio). .	128

1. INTRODUÇÃO

A viticultura é uma importante atividade agrícola no Estado do Rio Grande do Sul. Nos últimos anos, novos polos de produção têm sido explorados, sobretudo por grandes vinícolas para a produção de uvas finas destinadas à elaboração de vinhos e espumantes.

A introdução da videira no Brasil foi realizada em 1532, na capitania de São Vicente, atual Estado de São Paulo, onde agricultores com tradições vitícolas da Ilha da Madeira e dos Açores, trouxeram as primeiras sementes de *V. vinifera* L. A partir da introdução do cultivo da videira no Brasil, muitas regiões brasileiras em diferentes Estados chegaram a experimentar e a desenvolver o cultivo da uva e a produção de vinhos. No entanto, o cultivo da uva no Brasil, de forma mais sistemática, está relacionado à imigração italiana.

Tendo encontrado clima propício ao desenvolvimento da viticultura, os imigrantes italianos que começaram a chegar ao Rio Grande do Sul a partir de 1875, introduziram esse tipo de cultivo no Estado, desencadeando o processo de produção artesanal de vinho. Hoje, a história da viticultura nacional confunde-se com o processo de colonização da região nordeste do Rio Grande do Sul (Serra Gaúcha), que é o maior produtor de vinho do País.

O município de Encruzilhada do Sul apresenta condições edafoclimáticas satisfatórias para o bom desenvolvimento da cultura. Situada sobre um embasamento de rochas graníticas diversificadas, denominadas de Escudo Cristalino Sul-Rio-Grandense, o solo dessa região tem demonstrado aptidão para o sucesso da viticultura.

O sucesso dos vinhedos comerciais, principalmente para a produção de vinhos finos e espumantes dependente das condições de clima e solo da região produtora. A videira se adapta em ampla variedade de solos. No entanto, dá-se preferência a solos com textura franca e bem drenados. As características físicas do solo e, em particular, a capacidade que ele tem de fornecer uma relativa umidade à videira durante a fase de maturação dos seus frutos, constituem os fatores essenciais para a qualidade do vinho.

O manejo do solo em pomares agrícolas promove alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. A correção do solo promove aumento no pH e, conseqüentemente, melhora disponibilidade de nutrientes para as plantas. O manejo do solo e das plantas de cobertura das entrelinhas do pomar, bem como os tratamentos fitossanitários das videiras, com uso excessivo de maquinários, promove alterações nos atributos físicos do solo, com a redução do espaço poroso e aumento da densidade do solo, que tem efeitos no desenvolvimento radicular e na dinâmica da água e ar do solo e, conseqüentemente, influencia a microbiota do solo.

Os estudos relacionados aos efeitos do manejo do solo em pomares vitícolas são escassos, sobretudo no que diz respeito à avaliação dos atributos físicos do solo. Diante disso, esta Tese foi dividida em três capítulos, com os seguintes objetivos:

- Identificar as classes de solos ocorrentes no vinhedo com base no SiBCS (2013), de acordo com a descrição morfológica e análise dos atributos químicos e físicos dos horizontes superficiais e subsuperficiais;
- Avaliar o efeito do manejo na qualidade química do solo de um vinhedo comercial, em áreas com 4, 9 e 16 anos de manejo após o plantio de videira

da variedade *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir para a elaboração de espumantes;

- Avaliar o efeito do tráfego de máquinas agrícolas na qualidade física do solo de um vinhedo comercial com diferentes anos de condução após o plantio das mudas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Origem e difusão da videira

A videira é uma das principais culturas com destaque econômico no mundo. Achados arqueológicos na Groenlândia fizeram desse território o provável centro paleontológico de sua origem, devido à presença de sementes e pólen do gênero *Vitis* junto a fósseis de populações pré-históricas (Phillips, 2005; Giovannini, 2005).

Com a separação dos continentes, no período Terciário da Era Cenozóica, essas espécies ancestrais disseminaram-se e hoje são conhecidos três grandes centros genéticos da videira: o Euroasiático (*Vitis vinifera* L.), o Centro Asiático (*Vitis amurensis*) e o Centro Americano (*Vitis rupestris*; *Vitis riparia*; *Vitis berlandieri* e *Vitis labrusca*) que contribuem para o melhoramento genético e para a produção comercial da cultura (Giovannini, 2008; Radmann & Bianchi, 2008).

No Brasil, as primeiras mudas de videiras foram trazidas em 1532 por agricultores com tradição vitícola da Ilha da Madeira e dos Açores, que se

instalaram na capitania de São Vicente, atual Estado de São Paulo, trazendo sementes de *Vitis vinifera* L. (Schneider, 2006). De acordo com Barbieri & Stumpt (2008), com a chegada dos padres jesuítas, no período colonial, também foram implantados vinhedos na Região do Nordeste do Brasil, no Estado de Pernambuco em 1542, e na Bahia em 1549, com castas de *Vitis vinifera* L. usadas na elaboração de vinhos usados na celebração das missas.

No século XVIII, os colonizadores açorianos tentaram implantar castas de uvas para a produção de vinhos. Por motivos variados, a atividade não progrediu na Província de Santa Catarina (Cordeiro, 2006), tendo sucesso somente com a chegada de imigrantes italianos, em 1878, na região onde seria fundada a cidade de Urussanga, responsável pelo início da vitivinicultura catarinense (Lombardo, 2009).

No Rio Grande do Sul, maior produtor nacional de uvas, esse fruto chegou trazido pelo padre jesuíta Roque Gonzáles de Santa Cruz, que trouxe sementes de *Vitis vinifera* L. quando da fundação da redução de São Nicolau em 1626. De acordo com Ubaldo (1999), o primeiro produtor de vinho em solo gaúcho foi Manoel de Macedo Brum da Silveira, no município de Rio Pardo, tendo D. João VI baixado um decreto em 11 de março de 1813 que reconheceu seu pioneirismo, e, em 1820, registrado por Saint Hilaire (2002), a presença dos primeiros vinhedos na região de Porto Alegre.

Com a chegada dos imigrantes alemães, em 1824, se intensificou a produção de vinhos no Estado. Entretanto, com a infestação de doenças fungicas, os vinhedos de *Vitis vinifera* L. foram dizimados. Uma nova tentativa de implantação da cultura no país foi realizada em 1840, quando o gaúcho José Marques Lisboa enviou dos Estados Unidos da América mudas da variedade Isabel (*Vitis labrusca*) que foram plantadas na Ilha dos Marinheiros (Distrito de Rio Grande) e de lá a variedade se propagou por todo o Estado, passando a ser utilizada como matéria-prima da bebida pelos alemães.

Entretanto, o marco da produção de uvas no Estado do Rio Grande do Sul, e conseqüentemente no Brasil, está datado no ano de 1875, com a chegada dos primeiros colonos italianos que trouxeram mudas de *Vitis vinifera* L., que mais

uma vez não obtiveram sucesso na adaptação devido ao clima, sendo substituídas por pela cv. Isabel, para a produção artesanal de vinho.

De acordo com Rodrigues (1972), no município de Pelotas, o Liceu Rio-grandense de Agronomia e Veterinária incluiu, no ano de 1890, a cadeira de viticultura e enologia. No ano de 1913, o Instituto Agrônomo e Veterinário de Porto Alegre já estudava experimentalmente variedades de *Vitis vinifera* L., para intensificar as técnicas de cultivo da uva e elaboração de seus derivados, tais como vinhos, sucos e espumantes. Hoje, a história da viticultura nacional confunde-se com o processo de colonização da região Nordeste do Rio Grande do Sul (Serra Gaúcha), que é o maior produtor de vinho do País.

2.2. Importância econômica da viticultura no Brasil

A viticultura é uma das atividades agrícolas de maior importância econômica no Brasil, que na safra 2015-2016 produziu 1.499.353 t de uvas distribuídas em 79.094 ha de área plantada no País (IBGE, 2016). Os principais polos de produção são a região do Submédio Vale do São Francisco, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figura 1), com produção de frutos com destinos diversos, tais como consumo *in natura* e cristalizada, geléias, sucos, vinhos e derivados e cosméticos, realizados por agricultores familiares e grandes vinícolas empresariais (Tonietto et. al., 2006).

Na região do Submédio do Vale do São Francisco (Petrolina/PE e Juazeiro/BA), os 9.694 ha de área plantada são destinados à produção de uvas finas de mesa para o consumo *in natura*, sendo responsável por 95% da exportação de uvas de mesa. Na safra 2015-2016, este pólo produziu 314.768 t do frutos (IBGE, 2016). Outro pólo de destaque é o Estado de Santa Catarina, com cerca de 4,7 mil hectares de área plantada, que produz uvas para a extração de vinhos, sucos e derivados (Tonietto et. al., 2006), que obteve uma produção de 69.189 t de uva na safra 2015-2016 (IBGE, 2016).

Mas, cabe ao Estado do Rio Grande do Sul a maior produção nacional de uvas, sendo responsável por mais de 50% da produção do Brasil, sobretudo para a extração de vinhos e derivados (Tonietto et. al., 2006). O destaque do Estado

para a viticultura, além da vinda dos imigrantes italianos, está fundamentada no processo de modernização da indústria vitivinícola em meados de 1970 (Guerra et.al., 2009; Mello, 2012).

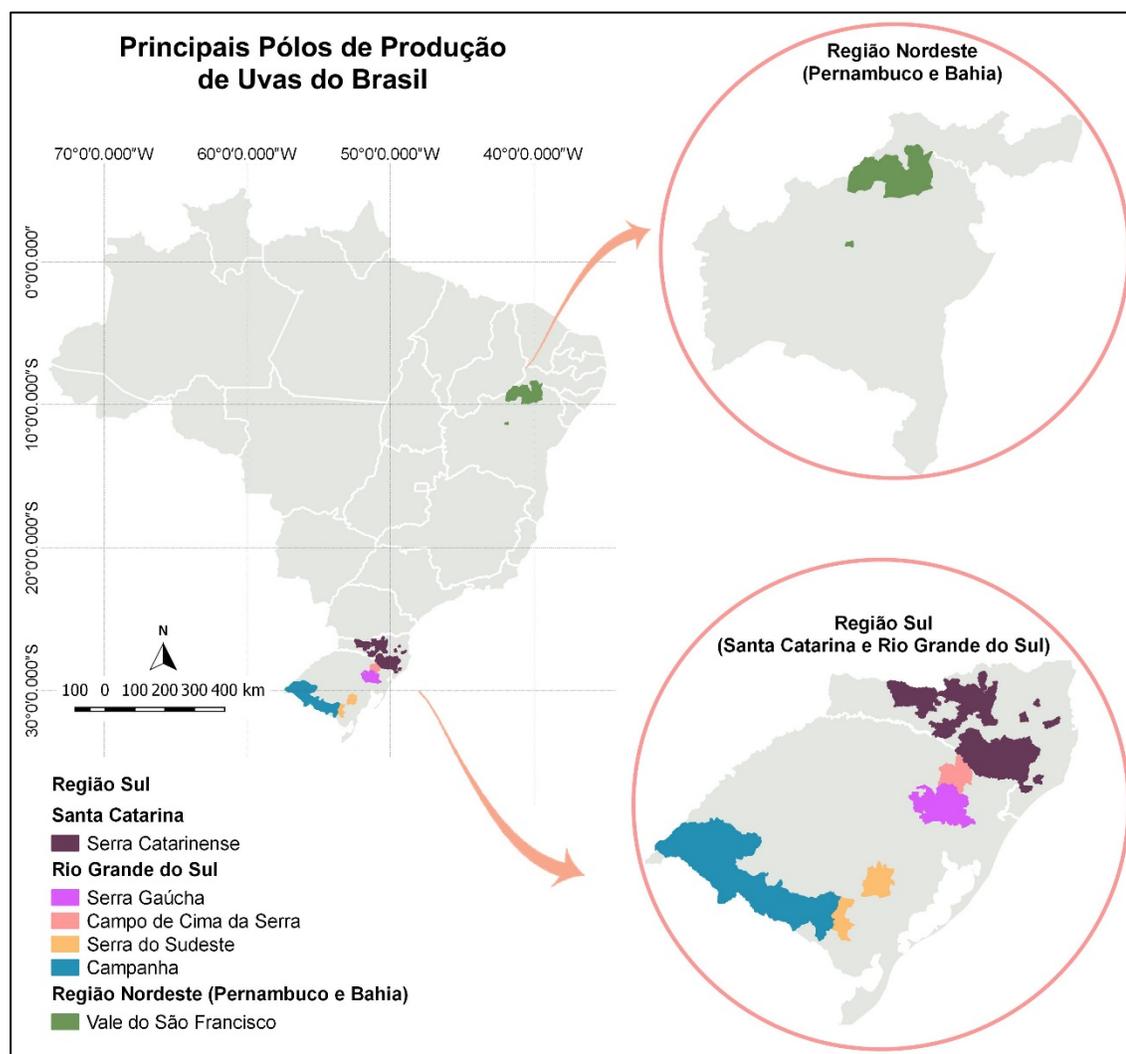


Figura 1. Mapa dos principais polos de produção de uva no Brasil (adaptado de IBRAVIN, 2017).

Na safra de 2015-2016, no Rio Grande do Sul foram processados 301,7 milhões de quilos da fruta, distribuídos em uma área de 50.743 ha, sendo que 271,5 milhões foram de variedades americanas e híbridas e 30,2 milhões, de uvas viníferas. Entretanto, nessa safra ocorreu uma queda em torno de 57% em relação à safra de 2014-2015 (IBRAVIN, 2017), que está relacionada a fatores climáticos

como geadas e excesso de chuvas, que comprometeram o desenvolvimento do fruto.

De acordo com Mello (2015), a vitivinicultura gaúcha é uma atividade importante para a sustentabilidade da pequena propriedade, tendo se tornado importante no desenvolvimento de algumas regiões do Estado, tais como Encosta Superior do Nordeste (conhecida como “Serra Gaúcha”, onde a viticultura está fortemente ligada ao turismo), Campanha (Bagé e Santana do Livramento) e Serra do Sudeste (Pinheiro Machado e Encruzilhada do Sul).

2.3. Produção de uvas na Serra do Sudeste

A vitivinicultura na Região da Serra do Sudeste também tem como marco referencial o estudo de zoneamento vitícola realizado pelo Instituto de Pesquisas Agronômicas da Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul (IPAGRO), na década de 1970, observando que a região apresenta *Terroir*, ou seja, características edafoclimáticas satisfatórias para a produção que juntamente com a genética da planta, são importantes para a tipicidade dos vinhos.

Esse polo de produção está situado em uma região com relevo fortemente ondulado, com altitude que varia entre 200 e 500 metros e solos de origem granítica e sedimentar, com presença de calcário e pobre em matéria orgânica, além de clima subtropical, com verões quentes e secos, com temperaturas diurnas ligeiramente mais quentes e noites ligeiramente mais frias do que a Serra Gaúcha, o que, atrelados à cultivar de videira utilizada, produz vinhos de qualidade.

O primeiro empreendimento foi concretizado com a implantação dos vinhedos da Cia. Vinícola Rio-grandense, na década de 1980, no município de Pinheiro Machado. A partir do ano 2000, empresas vinícolas instaladas na Região da Serra Gaúcha começaram a fazer investimentos na implantação de vinhedos no município de Encruzilhada do Sul (Protas et al., 2011). No ano de 2016 a Região da Serra do Sudeste produziu 4,76 milhões de quilos de uvas. As uvas híbridas e americanas somaram 1,84 milhões de quilos e as viníferas 2,92 milhões de quilos, comprovando a especialização da região para uvas destinadas à produção de vinhos finos (Copello, 2015; IBRAVIN, 2017).

O município de Encruzilhada do Sul está inserido na Serra do Sudeste do Rio Grande do Sul, uma das quatro regiões de maior expressividade na produção de uvas do Estado, exclusivamente voltada para cultivares viníferas (*Vitis vinifera* L.), dentre as quais destacam-se as uvas tintas Cabernet Sauvignon, Merlot, Tannat, Cabernet Franc, Pinot Noir, Touriga Nacional e Tempranillo; entre as uvas brancas destacam-se Chardonnay, Sauvignon Blanc, Pinotgriogio e Ugniblan.

2.4. Produção de espumantes

A primeira informação histórica sobre a preparação de vinhos espumantes remete ao século XVII na França, sendo que no final do século o abade Dom Perignon (1638-1715) tentou racionalizar a espumantização na garrafa (Buxaderas; López-Tamames, 2012). Porém, o surgimento dos vinhos espumantes deve-se primordialmente a avanços tecnológicos não relacionados com a produção do vinho, mas com a produção de vidros mais fortes e resistentes e, conseqüentemente, garrafas que suportavam a alta pressão decorrente de uma segunda fermentação. O início da utilização de rolhas de cortiça para o fechamento das garrafas propiciou que o gás carbônico gerado não se desprendesse.

Esses avanços, aliados a um atípico longo inverno na Europa, resultaram no desenvolvimento do vinho espumante em 1676, quando uma carga de vinho tranquilo, (ou seja, vinhos que não possuem gás de dióxido de carbono) da região de Champagne na França foi enviada em barris para Inglaterra, onde foram envasados em garrafas de vidro resistentes e fechados com rolhas de cortiça.

Durante a primavera o vinho sofreu uma segunda fermentação e tornou-se espumante. Em 1662, Christopher Merret relatou à Royal Society que a adição de açúcar ao vinho promovia a efervescência do mesmo (Stevenson, 2005; Jackson, 2008). Contudo, a determinação da concentração ideal de açúcar a ser adicionado levou quase um século.

O papel de Dom Perignon, que ficou bastante conhecido como o idealizador do vinho espumante, foi o de desenvolver os cuveesou, que são misturas de diferentes vinhos para obtenção de melhores resultados, o controle da

fermentação e também a forma de eliminar os sedimentos das leveduras após a segunda fermentação (Jackson, 2008). No Brasil, a elaboração de espumantes teve início em Garibaldi (RS), Serra Gaúcha, no início do século XX.

Dentre as cultivares exploradas para a elaboração de espumantes, a uva tinta Pinot Noir (*Vitis vinifera* L.) apresenta grande destaque. Essa variedade foi introduzida no Brasil há mais de sessenta anos (Guerra et al., 2009). No entanto, a variedade é sensível à podridão dos cachos e de difícil cultivo no Rio Grande do Sul devido à grande quantidade de chuvas durante o seu período de maturação. Possui película tinta e de sabor neutro, utilizada na elaboração de espumantes brancos e rosés. Essa variedade possui grande potencial de acúmulo de açúcar, em safras ideais. Produz vinho deficiente em cor, tendo melhor uso na vinificação em branco e na elaboração de espumantes (Giovaninni, 2008).

2.5. Solo e clima para viticultura

Santos et. al. (2015), solo pode ser definido como corpo natural independente, constituído por materiais minerais e orgânicos, organizado em camadas e, ou, horizontes resultantes da ação de fatores de formação, com destaque para a ação biológica e climática sobre um determinado material de origem numa determinada condição de relevo, através do tempo.

O sucesso dos vinhedos comerciais, principalmente para a produção de vinhos, espumantes e derivados, dependente das condições de clima e solo da região produtora. No Brasil, os tipos de clima ocorrentes nas regiões vinícolas produtoras de vinhos finos com uma colheita anual são de tipo temperado e subtropical (Tonietto & Flores, 2004).

As relações solo-clima-paisagem são ferramentas importantes para o levantamento de solos, visto que a associação entre os atributos topográficos (a inclinação e a declividade do terreno, a orientação e a curvatura da superfície terrestre) e as classes de solos é potencialmente útil para melhorar a predição de sua ocorrência na paisagem (Campos et al., 2006).

A região da Serra do Sudeste, onde está inserido o município de Encruzilhada do Sul (Figura 2), está situada em um relevo suave, sobre um

embasamento de rochas graníticas diversificadas e gnaisses, denominadas de Escudo Cristalino Sul-Rio-Grandense (Streck et al., 2008).

Dentre os solos predominantes na região estão os Neossolos, Planossolos, Luvisolos e Argissolos, que são naturalmente ácidos, pobres em nutrientes e com médios teores de matéria orgânica, que são utilizados para a pecuária, florestamento e fruticultura.

A videira se adapta em ampla variedade de solos. No entanto, dá-se preferência a solos com textura franca e bem drenados. As características físicas do solo e, em particular, a capacidade que ele tem de fornecer uma relativa umidade à videira durante a fase de maturação dos seus frutos, constituem os fatores essenciais para a qualidade do vinho.

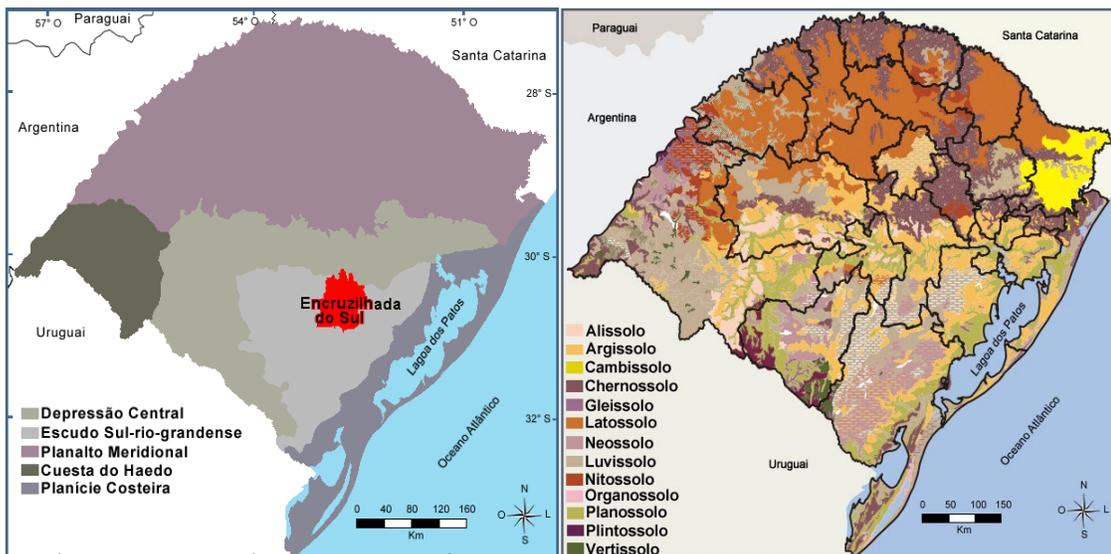


Figura 2. Províncias geomorfológicas do RS, localização geográfica do Município de Encruzilhada do Sul e classes de solos do Rio Grande do Sul. (adaptado de CEPSSRM/UFRGS e Streck et al., 2008).

Tal como outras plantas, as videiras necessitam principalmente de três elementos (nitrogênio, potássio e fósforo), em quantidades moderadas e quantidades residuais de magnésio, manganês (ou manganésio), ferro, zinco, cobre e boro, com pH variando de 5,0 a 6,0 e com teor de matéria orgânica com pelo menos 20 g dm⁻³.

Além disso a região apresenta clima subtropical e caracteriza-se por verões relativamente quentes e secos. Dias ensolarados e noites frias, principalmente no

período de maturação das uvas, é uma das aptidões dessa região que contribui para um maior índice de polifenóis, importante para a coloração, estrutura e potencial de envelhecimento dos vinhos que, juntamente com a cultivar utilizada, são importantes na expressão das potencialidades da uva, conferindo qualidade na composição do vinho: açúcar, acidez, polifenóis, etc. (Ribichaud & Noble, 1990).

2.6. Manejo e qualidade do solo

Devido ao crescimento populacional e à crise de alimentos no mundo, o manejo intensivo do solo, bem como o uso de pesticidas e fertilizantes, tornou-se práticas comuns para o aumento da produção agrícola (Araújo et al., 2007).

Dentre as práticas culturais visando ao aumento em produtividade e à qualidade da uva, merece destaque a aplicação balanceada de nutrientes, baseadas em análises químicas de solo e de folhas. De acordo com Fráguas et al. (2002) e Terra et al. (2003), os vinhedos brasileiros poderiam alcançar elevadas produções com frutos de melhor qualidade caso fossem adubados adequadamente. No entanto, os fertilizantes sintéticos, quando são usados em larga escala e de forma indiscriminada na viticultura convencional, promovem grande impacto ambiental pela lixiviação, resultando na degradação dos solos e na contaminação das águas subterrâneas.

Essa situação é agravada devido ao uso excessivo de maquinários durante o processo de preparo convencional do solo para a implantação dos vinhedos. De acordo com Souza (2012), a mecanização agrícola contribuiu, juntamente com outras práticas agrícolas, para um aumento significativo na produtividade das culturas e redução nos custos de produção durante o último século. Entretanto, a depender da intensidade de tráfego e da umidade, pode modificar os atributos físicos do solo, como a densidade do solo, resistência à penetração, porosidade, estabilidade de agregados, estrutura e o grau de flocculação das argilas (Silva et al., 2006; Echenique et al., 2007; Portugal et al., 2008).

Inúmeros trabalhos têm sido realizados (Silva et al., 2006; Echenique et al., 2007; Portugal et al., 2008) visando avaliar o efeito do manejo em atributos do

solo utilizados como indicadores de sua qualidade, com o objetivo de adaptar sistemas ou propor usos do solo mais adequados, observando as alterações dos atributos do solo após a utilização agrícola, visando os uso sustentável do solo (Corrêa et al., 2009).

A utilização de indicadores de qualidade do solo tem sido muito difundida em países de clima temperado, com maior ênfase na listagem de indicadores e sua influência em dada propriedade do solo (Schoenholtz et al., 2000) do que propriamente na sua utilização, em termos práticos, na mensuração da qualidade do solo (Snakin et al., 1996; Andrews et al., 2004).

Usualmente, a qualidade do solo é considerada sobre três aspectos: físico, químico e biológico, sendo importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo e para identificar manejos sustentáveis do mesmo. No entanto, a qualidade física do solo merece destaque especial em novos estudos, uma vez que são parâmetros que apresentam maior dificuldade de recuperação, tendo como consequência efeitos diretos nos processos químicos e biológicos no solo. Porém, esse aspecto ainda se apresenta pouco explorado nos estudos de qualidade do solo (Dexter, 2004).

2.7. Indicadores químicos da qualidade do solo

A qualidade do solo pode ser definida como sua capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal (Doran et al., 1996). Do ponto de vista químico, a qualidade química do solo (QQS) está relacionada com a disponibilidade de nutrientes em concentrações adequadas para uma dada cultura. Quando manejada empiricamente, a química do solo pode comprometer a qualidade da água, o poder tampão, a disponibilidade de nutrientes e de água afetando as relações solo-planta.

Segundo Corrêa et al. (2009), as avaliações de usos agrícolas de solos sobre os indicadores químicos constituem um trabalho constante na avaliação de sistemas produtivos, com o objetivo de sua adaptação ou propor de usos do solo mais sustentáveis.

De acordo com Araújo et. al. (2012), os indicadores químicos são, normalmente, agrupados em variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo, a acidez do solo, o conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos (Al^{3+} , por exemplo) e determinadas relações como a saturação por bases (V%) e de alumínio (m%). Outro indicador importante é a CTC do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis às plantas, sendo também importante para a retenção de água e estruturação do solo (Chaves et al., 2004).

Para a cultura da videira destinada a elaboração de espumantes a qualidade do solo é influenciada pela acidez do solo, que deve apresentar pH 6,0, atingido após a prática da calagem. De acordo com Terra (2003), com a elevação do pH ocorre a neutralização dos efeitos tóxicos do Al e Mn e melhor aproveitamento dos nutrientes pela planta. Entretanto, esses nutrientes devem ser disponibilizados moderadamente para evitar o excesso de vigor das plantas.

2.8. Indicadores físico-hídricos da qualidade do solo

O conceito de qualidade física do solo (QFS) engloba o conhecimento de propriedades e processos relativos à habilidade do solo em manter efetivamente sua capacidade de produção de forma sustentável (MEA, 2005), cujo estudo é realizado por meio de indicadores físicos da qualidade do solo responsáveis pela avaliação da sua estrutura. A depender da posição de amostragem nas entrelinhas de plantas perenes, a qualidade do solo pode apresentar variação entre o local de tráfego do trator, em comparação a área não trafegada (Fidalski et al., 2007).

Para avaliar a qualidade física do solo devem ser selecionados indicadores sensíveis às mudanças e distúrbios causados pelo manejo (Chaer & Tótola, 2007). Dentre os indicadores físicos da qualidade do solo mais estudados estão aqueles diretamente relacionados com a estrutura do solo, tais como a porosidade e a densidade do solo. O processo de compactação do solo pode alterar a estrutura do solo, aumentar a sua densidade, diminuir a porosidade e reduzir a

permeabilidade (ar e água), o que pode prejudicar o desenvolvimento da cultura (Batey & Mckenzie, 2006).

De acordo com Lima et al. (2007), a densidade em um solo com textura arenosa deve ser entre 1,2 a 1,8 Mg m⁻³ enquanto que em solos argilosos deve ser entre 1,0 a 1,6 Mg m⁻³. O mesmo autor ainda considera que a porosidade do solo é referida como ideal quando se apresentar com 0,50 m³ m⁻³ do seu volume total, no qual a microporosidade variaria entre 0,25 e 0,33 m³ m⁻³, e a macroporosidade ficaria entre 0,17 e 0,25 m³ m⁻³.

Klein (2006) ainda acrescenta a densidade relativa como um indicador da qualidade do solo, sendo mensurado pela relação entre a densidade em que se encontra o solo e a densidade máxima do solo obtida pelo ensaio de Proctor e é utilizada para indicar o grau de compactação devido ao uso e manejo do solo. Valores de densidade relativa para culturas perenes são escassos; entretanto, o mesmo autor considera o valor de 0,715 como sendo a densidade relativa ótima para o desenvolvimento de plantas anuais e a limitante maior que 0,88.

Com a compactação, ocorre uma compressão do solo que é acentuada com o aumento umidade do solo (Flowers & Lal, 1998). Em consequência disso, forma-se um denso rearranjo dos agregados do solo e a formação de poros de menor diâmetro (Horn et al., 1995), que alteram a redistribuição e a retenção de água no perfil do solo (Sharma & Uehara, 1968; Tarawally et al., 2004). Stürmer et al. (2009) salientam que a infiltração de água no solo é dependente de fatores relacionados ao solo, da superfície, manejo, preparo e das características da própria precipitação.

Bernardo et al. (2008) classificam a velocidade básica de infiltração (VIB) de água no solo obtida pelo método dos anéis como VIB > 30 mm/h - muito alta; VIB entre 15 > VIB < 30 mm/h - alta, VIB entre 5 > VIB < 15 mm/h - média e VIB < 5mm/h - baixa. Segundo Levien et al. (2000), a taxa de infiltração de água no solo determinada pelo método dos cilindros concêntricos é superestimada em cerca de 5 a 10 vezes em relação à que ocorre sob chuva, em decorrência da carga hidráulica propiciada pela lâmina de água sobre o solo e da não formação

de selamento superficial que ocorre durante a chuva, em especial em solo descoberto.

Outro parâmetro utilizado para medir a qualidade física do solo é a capacidade deste em reter água em seus poros. Esse indicador está relacionado com a variação do conteúdo volumétrico de água em relação ao potencial matricial do solo. Modelos matemáticos tem sido utilizados para se obter estimativas da capacidade de campo baseadas no ponto de inflexão da curva de retenção de água no solo (Mello et al., 2002; Mello et al., 2005).

CAPITULO I - CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DE SOLOS EM UM VINHEDO COMERCIAL NA SERRA DO SUDESTE DO RIO GRANDE DO SUL

1. Introdução

A viticultura é uma atividade agrícola de grande importância no Brasil. O Estado do Rio Grande do Sul detém a maior parte da produção de uvas do país, envolvendo 579 estabelecimentos vinificadores e 14.438 mil unidades produtoras, sendo que a maioria destas unidades são familiares, distribuídos em uma área de aproximadamente 50.743 mil hectares de vinhedos (Blume et al., 2010; IBRAVIN 2016). Nos últimos anos, houve uma ampliação da área de cultivo, principalmente com variedades de *Vitis vinifera* L., destinadas à elaboração de vinhos finos, com destaque para os espumantes (Poerner et.al., 2010; Mello, 2014), em que o Estado é responsável por 90% do volume comercializado do país (Protas et al, 2010).

Os quatro principais pólos de produção do Estado (Serra Gaúcha, Campos de Cima da Serra, Campanha Gaúcha e Serra do Sudeste) apresentam *Terroir* ideais para o caráter, expressão e personalidade dos vinhos tintos, brancos e

espumantes, em função de fatores, tais como o clima, situação geográfica, solo, bem como as cepas e as práticas vitivinícolas ali realizadas (Tonietto, 2007; Pitte, 2012).

A influência direta do solo na qualidade do vinho segue sendo hoje em dia muito discutida. No entanto ocorre um grande esforço no sentido de listar os parâmetros do solo que apresentam efetivamente maior influência. Vários trabalhos demonstram que o Rio Grande do Sul possui uma variedade de classes que apresentam fatores pedogenéticos satisfatórios para produção de uvas, destinadas para o consumo *in natura*, bem como para a elaboração de vinhos finos de qualidade (Spigolon, 2002; Valladares, 2005; Blume et al., 2010; Poerner et.al., 2010; Miele et. al., 2014; Flores et. al., 2012).

A Serra Gaúcha é a microrregião vitivinícola mais tradicional do Estado e o maior polo de produção do país. Está situada entre 600 a 800 metros acima do nível do mar, e apresenta feição geomorfológica montanhosa e fortemente acidentada, sendo a composição rochosa formada por basaltos, apresentando solos pouco profundos e com afloramento de rochas, com predomínio das classes de Cambissolos e Neossolos Litólico (Blume et. al., 2010; Silva, et. al., 2015) o que dificulta a mecanização nos vinhedos.

O Campos de Cima da Serra está situada entre 900 a 1.100 m que, associada a demais fatores naturais, como topografia e solos, exercem um efeito marcante na diferenciação dos vinhos finos de altitude (Würz et al., 2017). De acordo com Streck et al. (2008), os solos da região são oriundos de basalto, com predomínio de solos rasos a profundos, destacando-se os Cambissolos Húmicos e Hísticos, associados a Neossolos Litólicos, os Latossolos Brunos e, em menor proporção, os Gleissolos.

A Campanha Gaúcha, segundo maior pólo vitícola do Rio Grande do Sul (Copello, 2015), está situada entre 100 a 200 metros do nível do mar e apresenta topografia pouco ondulada que permite mecanização dos vinhedos (Guerra et al., 2009). De acordo com Tonietto & Flores (2004), a viticultura dessa microrregião está implantada, de forma geral, sobre Argissolo e Neossolo Quartzarênico

oriundos de derrames basálticos, afloramentos areníticos e grandes aluviões nas planícies fluviais.

A Serra do Sudeste está localizada entre 400 a 500 metros de altitude em relação ao nível do mar. De acordo com Protas et al. (2010), o marco para o desenvolvimento da viticultura nessa microrregião ocorreu com o zoneamento vitícola elaborado na década de 70 pelo Instituto de Pesquisa Agronômica do Rio Grande do Sul (IPAGRO). Essa microrregião apresenta relevo com ondulações suaves ou moderadas chamadas coxilhas, que apesar de facilita a mecanização nos vinhedos apresenta características geomorfológicas e pedológicas que implicam em limitações ao uso agrícola.

Formado por solos de origem granítica e sedimentar, os vinhedos dessa região estão implantados sobre solos pouco desenvolvidos que apresentam afloramentos de rochas, com textura média e grande parte constituída por areia grossa e cascalho, sendo pobre em elementos orgânicos e ricos em calcário. As principais classes de solos encontradas na região são principalmente sobre Neossolo Litólico, Argissolos, Cambissolos, Planossolos, Luvisolos e Gleissolos Streck et al. (2008).

Aliada a essas características edafológicas, a microrregião da Serra do Sudeste apresenta clima com inverno rigoroso e verão com dias quentes, noites frescas e poucas chuvas o que despertou interesse de grandes vinícolas da Serra Gaúcha especializadas na elaboração de espumantes (Copello, 2015; Silva et al., 2016).

A hipótese desse trabalho está fundamentada na suposição de que o vinhedo da Chandon apresenta Unidades de Mapeamento (UM) que estão em conformidade com aquelas encontradas na microrregião da Serra do Sudeste do Rio Grande do Sul. Para testar essa hipótese este trabalho teve por objetivo a identificação das classes de solos ocorrentes no vinhedo com base no SiBCS (2013), de acordo com a descrição morfológica e análise dos atributos químicos e físicos dos horizontes superficiais e subsuperficiais. **Material e Métodos**

2.1. Característica do local de estudo

O estudo foi realizado em um vinhedo comercial, com 288 ha, situado na Fazenda Chandon, propriedade da Moët Hennessy do Brasil Vinhos e Destilados Ltda., localizada no município de Encruzilhada do Sul a 30°43' 12.74" de latitude Sul e 52°37' 54.23" de longitude Oeste de Greenwich a 361 m de altitude, com precipitação e temperatura média anual de 1.541 mm e 17,1°C, respectivamente, e relevo predominantemente formado por colinas suaves (Cunha et al., 2005).

De acordo com Streck et al. (2008), o município está inserido na Unidade de Mapeamento Pinheiro Machado, sobre um embasamento de rochas graníticas diversificadas e gnaiss, denominadas Escudo Sul-Rio Grandense (Figura 3).

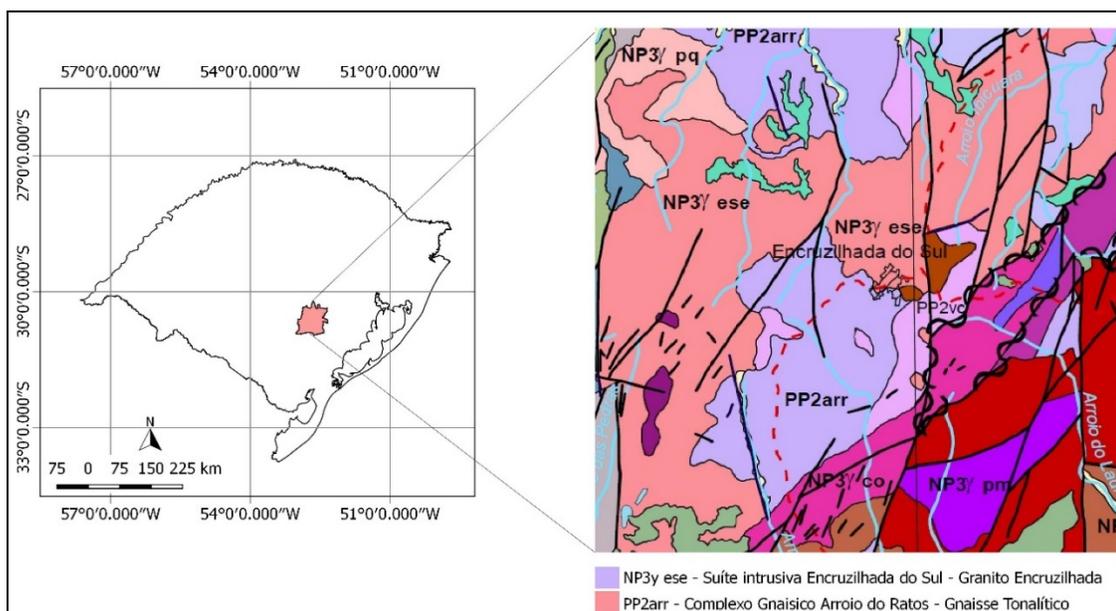


Figura 3. Localização e formação geológica do município de Encruzilhada do Sul, adaptado de Wilder et al., (2007).

Na região há predomínio de Neossolos, pouco desenvolvidos, com presença de afloramento rochoso, textura média com grande parte constituída por areia grossa e cascalho. Ocorre ainda a presença de Planossolos, Luvisolos e Argissolos, estes com maior aptidão para a pecuária, silvicultura e fruticultura, desde que ocorra correção da acidez e da deficiência natural de nutrientes do solo (Cunha et al., 2005).

Antes da implantação do vinhedo a área era cultivada com lavoura anual e mantinha áreas com campo nativo. No ano 2000 foram plantadas as primeiras mudas de *Vitis vinifera*, da cv. Pinot Noir, Chardonnay e Riesling itálico enxertadas sobre 1103 Paulsen, 101.14 e SO4, em uma área de 56 ha, que hoje estão em plena produção, dispostas em um espaçamento de 2,5 m entre linhas de 1,3 m entre plantas, no sistema de condução em espaldeira.

A correção da acidez do solo foi realizada para atingir valor de pH 6,0 (recomendável para as videiras) em função da disponibilidade de nutrientes (CQFS - RS/SC, 2004). Para isso utilizou-se uma mistura de gesso agrícola, calcário filler e cal hidratado (Fidagran peletizado S5 - Ca 18%, Mg 7% e S 5%).

O aumento e/ou manutenção da fertilidade do solo foi realizada com incremento de macro e micronutrientes. A adubação nitrogenada ocorreu observando o desenvolvimento vegetativo das plantas, com aplicação média de 61 kg ha⁻¹ de N por ano, distribuídos aos 10, 40 e 70 dias após a brotação. Já as adubações fosfatada e potássica foram realizadas 10 dias antes da poda de inverno e 10 após a brotação dos ramos, sendo aplicados 63 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 63 kg ha⁻¹ de K₂O por ano.

Os macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) e os micronutrientes (Mn, Cu, Zn e B) foram aplicados ao solo juntamente com os macronutrientes primários (NPK). O Ca e B também foram aplicados via foliar no estágio de pré-floração e o Zn, Mn e Cu (constituintes de fungicidas para tratamento fitossanitário) também foram aplicados de forma indireta, a depender da precipitação pluviométrica da região.

2.2. Determinação dos perfis de estudo

No campo foram realizados levantamentos expeditos, por meio de tradagem do solo em 16 locais na propriedade. Com as amostragens, foi possível determinar características morfológicas do solo, tais como a cor, textura e consistência seca e úmida do solo (Figura 4), de acordo com metodologia proposta por Santos et al. (2015).



Figura 4. Levantamento expedito do solo realizado no vinhedo, visando identificar características do solo semelhantes nos locais amostrados.

Após essa primeira prospecção, para a identificação das características morfológicas semelhantes nos 16 locais amostrados, foram escolhidos 8 destes locais para abertura de trincheiras, visando a descrições morfológicas dos horizontes pedogenéticos dos solos da propriedade (Figura 5).

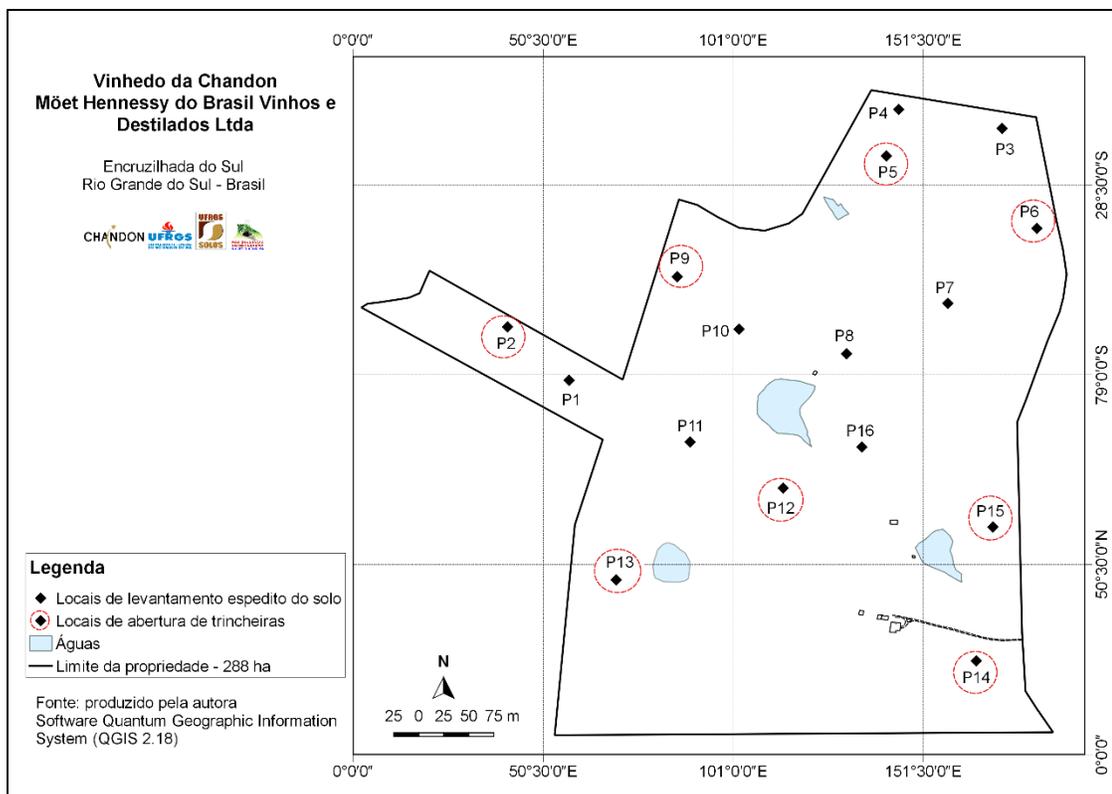


Figura 5. Mapa da área do vinhedo e locais de amostragem do solo. (Losango preto = locais de levantamento expedito, por tradagem; círculo vermelho = locais de abertura de trincheira para levantamento de solo em campo e coleta de amostras com estrutura deformada e indeformada para análise laboratoriais).

A avaliação dos perfis de solo foi realizada de acordo com metodologia proposta por Santos et al. (2015), delimitando-se os horizontes do solo e sua transição (quanto ao grau e a forma), por meio da análise da cor (matiz, valor e croma) conforme a Carta de Cores de Munsell; da textura (de acordo com o Sistema Americano); da estrutura (laminar, prismática, bloco ou granular); e da consistência (solo seco, úmido e molhado). Também foram coletadas amostras com estrutura deformada e indeformada para análises dos atributos físicos e químicos do solo, em laboratório (Figura 6).



Figura 6. Avaliação do perfil do solo, em campo e coleta de amostras com estrutura deformada e indeformada para análise dos atributos físicos e químicos do solo.

2.3. Avaliação dos atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo foram analisados de acordo com metodologias propostas por EMBRAPA (2011). Para a análise da fração sólida mineral do solo foram coletadas amostras com estrutura deformada, em cada horizonte pedogenético, identificado a campo. Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e colocadas para secar ao ar para a realização da análise granulométrica do solo. A fração grossa do solo foi determinada com a quantificação do cascalho (%), para isso foi utilizado 200 g de TSA passada em peneiras com malhas de 2 mm a 20 mm. As frações finas do solo (areia, silte e argila) foram determinadas pelo método da pipeta, com agitação mecânica de 50 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em solução dispersante NaOH 1mol L⁻¹, por 16 horas, em um agitador horizontal tipo shaker a 150 ciclos por minuto (Unterline, 2011).

O teor de areia total (AT, em g kg^{-1}) foi quantificado por peneiramento da suspensão em peneira de malha de 0,053 mm, sendo posteriormente diferenciada nas classes areia grossa (AG) ($2,00 > \Theta > 0,25$ mm) e areia fina (AF) ($0,25 > \Theta > 0,05$ mm). O sobrenadante foi transferido para proveta de 1 l, completado o volume com água destilada e após 4 horas realizadas a pipetagem da fração argila total do solo (ARGT, em g kg^{-1}) que foi separada em argila fina (ARGF) ($\Theta < 0,2 \mu\text{m}$) e argila grossa (ARGG) ($2,00 > \Theta > 0,2 \mu\text{m}$), por centrifugação a 2.500 rpm durante 30 min, para a quantificação da argila fina em relação ao material total (Jackson, 1956). O teor de silte (g kg^{-1}) foi determinado por diferença entre o teor de argila e areia e a TFSA. O teor de argila dispersa em água (ADA%) foi realizado com a agitação de 20 g de TFSA que foram agitadas por 16 horas, com o mesmo procedimento utilizado para a análise das frações finas do solo, porém sem a utilização de dispersante químico.

Os resultados obtidos foram utilizados para avaliar parâmetros pedogenéticos do solo descritos por Schaetzl (1998), tais como: grau de intemperismo do solo (relação silte/argila); processo de iluviação da argila (relação argila fina/argila total) e mudança de material de origem do solo (grau de floculação da argila ($\text{GF} = [\text{argila total} - \text{argila dispersa em água} / \text{argila total}] * 100$); relação areia fina/areia total; e valor de uniformidade ($\text{VU} = [(\text{Silte} + \text{AF}) / (\text{AT} - \text{AF})]_{\text{horizonte superficial}} / [(\text{Silte} + \text{AF}) / (\text{AT} - \text{AF})]_{\text{horizonte subjacente}} - 1, 0$).

A estrutura do solo foi avaliada em amostras indeformadas do solo. A determinação da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) foram realizadas de acordo com metodologias propostas por EMBRAPA (2011) em amostras coletadas em anéis volumétricos de $102,10 \text{ cm}^3$, que foram submetidas a toaleta visando a retirada de excesso de raízes e solo das extremidades, de modo a atingir o volume do cilindro. Posteriormente as amostras foram saturadas por ascensão capilar, por 24 horas. Após esse período foram pesadas e colocadas em mesa de tensão, com coluna de sucção de 6 kPa, até cessar a drenagem de água contida nas amostras (aproximadamente 48 horas), obtendo-se o volume de macroporos ($\Theta > 100 \mu\text{m}$), de acordo com a equação:

$$Ma = Ms_{\text{sat}} - Ms_{6\text{kPa}} / VT \quad \text{Equação 1}$$

Em que: $Ma \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)} =$ macroporos do solo;
 $Ms_{\text{sat}} \text{ (g)} =$ massa do solo saturado;
 $Ms_{6\text{kPa}} \text{ (g)} =$ massa do solo após sucção em coluna de 6kPa, em mesa de tensão;
 $VT \text{ (cm}^3\text{)} =$ volume total da amostra.

Em seguida as amostras foram novamente pesadas e colocadas em estufa a 105°C até peso constante (aproximadamente 48 horas) para a obtenção do volume microporos do solo ($\Theta < 50 \mu\text{m}$), de acordo com a equação:

$$Mi = Ms_{6\text{kPa}} - Ms_{105^\circ\text{C}} / VT \quad \text{Equação 2}$$

Em que: $Mi \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)} =$ microporos do solo;
 $Ms_{6\text{kPa}} \text{ (g)} =$ massa do solo após sucção em coluna de 6kPa, em mesa de tensão;
 $Ms_{105^\circ\text{C}} \text{ (g)} =$ massa do solo seco em estufa a 105°C;
 $VT \text{ (cm}^3\text{)} =$ volume total da amostra.

O volume total de poros (P_t), foi determinada pela soma dos macro e microporos do solos:

$$P_t = Ma + Mi \quad \text{Equação 3}$$

Em que: $P_t \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)} =$ porosidade total do solo;
 $Ma \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)} =$ macroporosidade do solo;
 $Mi \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)} =$ microporosidade do solo.

A densidade do solo (D_s) foi determinada de acordo com a equação:

$$D_s = Ms_{105^\circ\text{C}} / VT \quad \text{Equação 4}$$

Em que: $D_s \text{ (Mg m}^{-3}\text{)} =$ densidade do solo;
 $Ms_{105^\circ\text{C}} \text{ (g)} =$ massa do solo seco em estufa a 105°C;
 $VT \text{ (cm}^3\text{)} =$ volume total da amostra.

2.4. Avaliação dos atributos químicos do solo

A análise química do solo foi realizada de acordo com metodologias propostas por Tedesco (1995). O pH em água e em KCl 1,0 mol L⁻¹ foi determinado por potenciometria, com imersão de eletrodo na suspensão solo-líquido na

proporção 1:1. A acidez potencial (H+Al, em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) foi obtida com extração por acetato de cálcio ($\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) e determinada por titulação. O alumínio trocável ($\text{Al}^{3+}_{\text{troc}}$, em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) foi extraído por KCl 1,0 mol L^{-1} e obtido por titulação com NaOH 0,025 mol L^{-1} .

O fósforo (H_2PO_4^- , em mg dm^{-3}) e potássio (K^+ , em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) disponíveis foram obtidos por meio da extração com Mehlich-1; os teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) trocáveis (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) foram determinados por meio da extração com cloreto de potássio (KCl a 0,1 mol L^{-1}). O carbono orgânico total (C, em %) foi determinado pela oxidação do carbono da matéria orgânica, com redução do dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) em meio ácido e com aquecimento.

Com esses resultados foi determinada alguns parâmetros do solo (Embrapa, 1997), de acordo com as seguintes equações:

$$\text{CTC}_{\text{pH}7,0} = \text{SB} + (\text{H} + \text{Al}) \quad \text{Equação 5}$$

Em que: $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ = capacidade de troca de cátions a pH 7,0, (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$);

SB = soma de bases trocáveis do solo (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) deslocados por íons de amônia a pH tamponado em 7,0 (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$);

H+Al = acidez potencial do solo ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$).

$$\text{ATA} = \text{CTC}_{\text{pH}7,0} * 100 / \text{ARGT}. \quad \text{Equação 6}$$

Em que: ATA = atividade da fração argila (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$);

$\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ = capacidade de troca de cátions a pH 7,0, (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$);

ARGT. = teor de argila total (em g kg^{-1}).

$$m = \text{Al}^{3+} * 100 / \text{SB} + \text{Al}^{3+} \quad \text{Equação 7}$$

Em que: m = saturação por alumínio (em %);

Al^{3+} = alumínio trocáveis (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$);

SB = soma de bases trocáveis do solo (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) deslocados por íons de amônia a pH tamponado em 7,0 (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$).

$$\text{PST} = \text{Na}^+ * 100 / \text{CTC}_{\text{pH}7,0} \quad \text{Equação 8}$$

Em que: PST = porcentagem de sódio trocável (em %);

Na^+ = sódio trocável (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$);

$\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ = capacidade de troca de cátions a pH 7,0, (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$).

$$V = \text{SB} * 100 / \text{CTC}_{\text{pH}7,0}$$

Equação 9

Em que: V = saturação por bases (em %);

SB = soma de bases trocáveis do solo (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) deslocados por íons de amônia a pH tamponado em 7,0 (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$);

$\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ = capacidade de troca de cátions a pH 7,0, (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$).

A classificação dos solos foram realizadas de acordo com o SiBCS (EMBRAPA, 2013), tendo como base para critérios de classificação os atributos e horizontes diagnósticos. Os níveis categóricos utilizados para a nomenclatura dos solos foram: 1º nível categórico (ordem); 2º nível categórico (subordem); 3º nível categórico (grande grupo) e 4º nível categórico (subgrupo).

O mapa de classificação de solos da propriedade foi confeccionado com a utilização do *Software Google Earth Pro 7.3.0.3832* para a obtenção de polígonos vetoriais no formato *Shapefile* das unidades de mapeamento identificadas na propriedade. Em seguida, esses arquivos foram utilizados para a confecção do mapa temático no *Software Quantum Geographic Information System (QGIS 2.18)*, com uso das cores padrões para a diferenciação das classes de solo, de acordo com o SiBCS para os 1º e 2º níveis categóricos (EMBRAPA, 2013).

2. Resultado e Discussão

A Tabela 1 apresenta as unidades de mapeamento dos solos identificados na propriedade, em que se pode perceber que 80% da área é constituída por Argissolos (Pvd) diversificados (EMBRAPA 2013), seguidos por Cambissolos (CXd) e Gleissolo (GXd), em 15% e 2% da área da propriedade, respectivamente.

Tabela 1. Unidade de mapeamentos dos solos da propriedade

Perfil	UM ¹	Classificação Taxonômica	Área	
			ha	%
1	PVd1	Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico	20,19	7,01
2	PVd2	Argissolo Vermelho Distrófico típico	85,70	29,76
3	CXd1	Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico	13,04	4,53
4	GXd	Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico	7,28	2,53
5	CXd2	Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico	31,30	10,87
6	PVd3	Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico	36,16	12,56
7	PVd4	Argissolo Vermelho Distrófico abruptico	55,52	19,28
8	PVd5	Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico	33,30	11,56
		Águas	5,50	1,91
		TOTAL	288	100

¹UM: Umidade de mapeamento; ²Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

A unidade de mapeamento 1 apresenta associação Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd1)+Argissolo Amarelo Distrófico úmbrico (PAd) e a unidade de mapeamento 2 associação Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2)+Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVAd), sendo que o PVd1 e o PVd2 ocorrem de forma dominante em relação ao PAd e PVAd2, respectivamente (Figura 7). As unidades taxonômicas componentes dessas associações apresentam semelhanças morfogênicas e, portanto, pouco diferenciadas, permitindo práticas de uso e manejo similares (IBGE, 2015).

De modo geral, os solos encontrados são naturalmente ácidos, com baixos teores de nutrientes e de matéria orgânica. De acordo com Flores (2011), as videiras destinadas à elaboração de vinhos finos se adaptam bem a esse tipo de solo, desde que a acidez do solo seja corrigida para atingir pH 6,5. Os solos encontrados na propriedades foram classificados, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

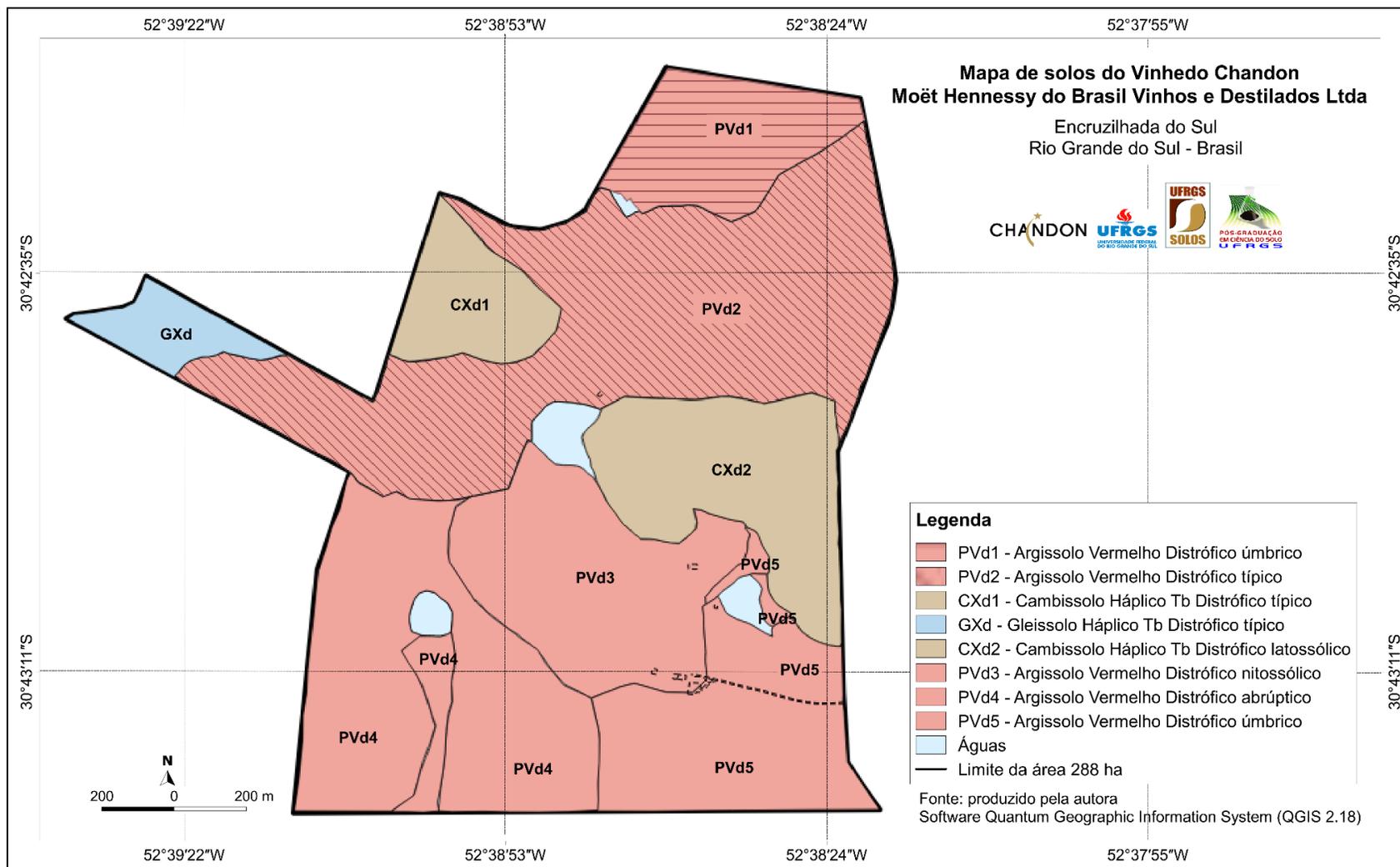


Figura 7. Mapa de solos do vinhedo da Moët Hennessy do Brasil Vinhos e Destilados Ltda.(Encruzilhada do Sul, RS)

UM 1 - Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd1)

Esta unidade de mapeamento (UM) está inserida em uma área de campo nativo (Figura 8). O local apresenta relevo suave ondulado a ondulado, localizado no terço médio da encosta, com 8 a 9% de declive à 30°42' 21.62" de latitude Sul e 52°37' 55,05" de longitude Oeste de Greenwich e a 332 m de altitude.

O perfil de solo representativo desta UM, apresenta uma sequência de horizontes A, Bt, BC e Cr, sendo o horizontes A subdividido em A1-A2 e o Bt em Bt1-Bt2, por apresentarem variações na cor e textura do solo. No local não há presença de Pedregosidade e rochiosidade, nem erosão aparente, por apresentar drenagem boa a moderada.

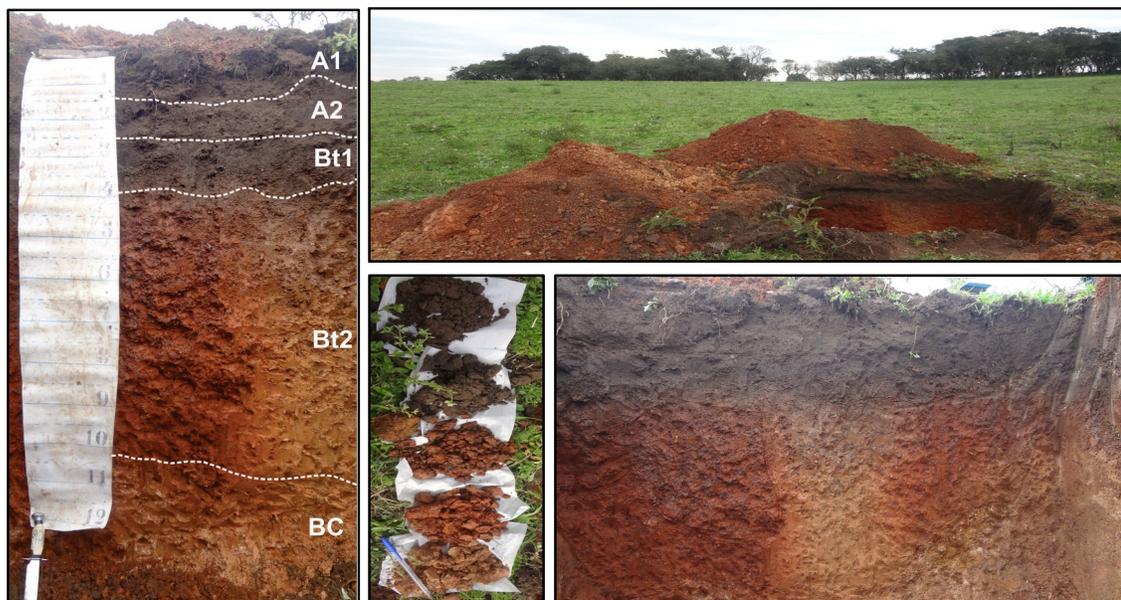


Figura 7. Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico PVd1 e sua posição na paisagem.

Ocorre a predominância da cor vermelha, que indica a ocorrência do óxido de ferro hematita (Fe_2O_3). Pode-se observar, também a presença de cor amarela, que indica a preferência para a formação localizada de goethita (FeOOH), que é um óxido de ferro hidratado formado em ambiente mais úmido (Kämpf & Curi, 2012). De acordo com Correa et al. (2008), além de influenciar na cor, a presença de óxidos de Fe, principalmente hematita e goethita, estão intimamente relacionados com os fenômenos de estruturação e agregação dos solos, podendo

conferir-lhes características desejáveis, tais como maior permeabilidade à água e maior resistência à erosão.

Os horizontes superficiais apresentam estrutura do tipo granular e blocos sub angulares, de consistência úmida friável (Tabela 2) e horizonte diagnóstico superficial A proeminente, por apresentar cor escura, com valor e croma ≤ 3 . Além disso, apresenta teor de carbono orgânico entre 6 e menor que 80 g kg⁻¹, espessura ≥ 25 cm, estrutura suficientemente desenvolvida e saturação por bases $< 65\%$, conferindo a este solo a classificação de úmbrico no quarto nível categórico do SiBCS (EMBRAPA, 2013).

Tabela 2. Morfologia do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd1)

¹ Hor	Profundidade	Transição	Cor	Textura	Estrutura	Consistência
PVd1						
A1	0 - 17/21 cm; transição clara e plana/ondulada; 10YR 3/2 (úmida); franco arenosa; moderada, pequena, granular; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.					
A2	17/21 - 35/41 cm; transição gradual e plana/ondulada; 7,5YR 3/2 (úmida); franco arenosa; moderada, média, blocos angulares, granular; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.					
Bt1	35/41 - 90 cm; transição gradual e plana; 2,5YR 4/6 (úmida), mosqueado 7,5YR 4/3; argila; cerosidade comum e forte; moderada/forte, média, blocos subangulares; firme; plástica e ligeiramente pegajosa.					
Bt2	90 - 110 cm; transição clara e plana; 2,5YR 4/8 (úmida), mosqueado 10YR 4/4; franco argilosa; cerosidade comum e moderada; modera/forte, média, blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; firme; plástica e ligeiramente pegajosa.					
BC	110 - 125 cm; variegado 2,5YR 6/8, 10YR 7/8, 10YR 3/4 (úmida); franco/franco argilosa; moderada, média, blocos subangulares; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa					
Cr	125 - 145+ cm (coletado por tradagem); variegado 7,5YR 4/6, 7,5YR 8/4, 7,5YR 6/8 (úmida); cascalhenta; blocos subangulares, fraca, maciça; granito semi-intemperizado.					

¹Hor: Horizontes do perfil do solo.

O solo em estudo é originário de granito, uma rocha resistente ao intemperismo e por isso foi observado a presença de cascalho no perfil do solo. O valor de uniformidade (VU) menor que 0,60, indica a ausência de

descontinuidade litológica (Schaetzl, 1998) entre os horizontes do solo, o que condiciona uma textura mais grosseira ao solo.

Foi observada uma deposição de argila nos planos de fraqueza dos agregados estruturais das camadas mais profundas, pelo fenômeno de eluviação/iluviação (Kämpf & Curi, 2012), suficiente para definir o caráter argilúvico. Esse fenômeno corroboram com resultados encontrados em outros estudos (Phillips, 2007; Medeiros et al., 2013) para a mesma classe de solo, em que o processo pedogenético de lessivagem foi atribuído ao menor grau de flocculação das partículas de argila dos horizontes superficiais, A1 e A2, quando comparado aos horizontes Bt1 e Bt2 (Tabela 3). Esse evento também contribuiu para a formação de um gradiente textural característico desse tipo de solo (EMBRAPA, 2013), proporcionando inclusive a ocorrência de cerosidade comum/forte e moderada nos horizontes, Bt1 e Bt2, respectivamente.

Foram encontrados teores de carbono orgânico do solo (CO) entre 0,80 a 9,60 g kg⁻¹, com decréscimo em profundidade. Esses baixos valores na área de campo nativo pode ser atribuída ao fato do solo apresentar uma textura franca em todos os horizontes, e com isso, a proteção física da matéria orgânica pelas partículas do solo é baixa. Silva et al. (2005) encontraram resultado semelhante em uma área de campo nativo para a mesma classe de solo. Bayer et al. (2000) complementam que pelo fato de áreas sob campo nativo ser composta por plantas de cobertura rasteira, a temperatura também contribui para elevadas taxas de oxidação biológica do CO do solo, que no caso desse estudo está em uma região com média anual de 17.1°C.

A estrutura do solo nessa área foi influenciada pela falta de atividade agrícola da área. O maior teor de matéria orgânica e a presença de raízes em superfície contribuiu para maiores valores de porosidade total. Consequentemente, a densidade do solo apresentou um aumento em profundidade, com valores variando de 1,51 a 1,65 Mg m⁻³, abaixo dos valores críticos propostos por Reichert et al. (2003) para solos com textura franco-arenosa, que estão entre 1,70 a 1,80 Mg m⁻³. Resultados semelhantes foram encontrados em trabalhos realizados em campo nativo para as mesmas classes

de solo como em Santa Maria (Lanzanova et. al., 2010) e Planalto Sul do Estado de Santa Catarina (Luciano et. al., 2012).

Tabela 3. Atributos físicos dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd1)

¹ Hor.	² Prof. cm	Cascalho %	³ AT -----g kg ⁻¹ -----	⁴ AG	⁵ AF	Silte	Argila	⁶ GF %
PVd1								
A1	0-17/21	0	590	420	170	190	220	45
A2	17/21-35/41	6	560	390	170	240	200	30
Bt1	35/41-90	0	480	290	190	160	360	89
Bt2	90-110	1	410	270	140	270	320	94
BC	110-125	0	460	360	100	250	290	93
Cr	125-145+	6	590	440	150	200	230	94
¹ Hor.	² Prof. cm	Silte/Argila	⁷ VU	⁸ CO g kg ⁻¹	⁹ Ds Mg m ⁻³	¹⁰ Ma ----- cm ³	¹¹ Mi cm ³	¹² Pt ----- cm ³ -----
PVd1								
A1	0-17/21	0,86	-0,18	9,60	1,51	0,020	0,456	0,476
A2	17/21-35/41	1,20	-0,13	7,20	1,52	0,020	0,440	0,460
Bt1	35/41-90	0,44	-0,20	6,90	1,65	0,019	0,430	0,449
Bt2	90-110	0,84	0,57	4,00	-	-	-	-
BC	110-125	0,86	0,21	2,10	-	-	-	-
Cr	125-145+	1,28	-	0,80	-	-	-	-

¹Hor: Horizonte do perfil do solo; ²Prof: profundidade; ³AT: areia total; ⁴AG: Areia Grossa; ⁵AF: Areia Fina; ⁶GF: Grau de Floculação; ⁷VU: Valor de Uniformidade; ⁸CO: Carbono Orgânico; ⁹Ds: Densidade do Solo; ¹⁰Ma: Macroporosidade do solo; ¹¹Mi: Microporosidade do solo; ¹²Pt: Porosidade Total do Solo.

Pode-se observar, na Tabela 4, valores de pH_{H2O} e pH_{KCl} entre 3,8 a 5,0 o que demonstra que esse solo é naturalmente muito ácido (CQFS RS/SC, 2004). De modo geral, os valores de pH_{H2O} foram os maiores que pH_{KCl} e isso é atribuído ao efeito da solução de KCl, que, em contato com a amostra de solo, induz a troca de cátions devido à maior concentração dos íons K⁺, liberando íons H⁺ e Al³⁺ para a solução, com consequente aumento da acidez (Ebeling et al., 2008).

Consequentemente, os teores de cálcio (Ca²⁺), fósforo (P⁵⁺) e potássio (K⁺) encontrados variaram de baixos a muito baixos (CQFS RS/SC, 2004). Além disso, os teores de magnésio (Mg²⁺) e sódio (Na⁺) baixos, portanto livre de caráter sódico ou solódico (EMBRAPA 2013). Pode-se observar, nos primeiros 100 cm de profundidade, que o solo apresenta alta saturação por alumínio (m%), com valor

médio de 31,75%, porém não foi suficiente para definir o caráter alumínico ou alico no horizonte B.

A saturação por bases (V), nessa mesma profundidade foi considerada baixa (CQFS RS/SC, 2004), com valor médio de 45,25%, o que indica caráter distrófico para o horizonte B, característico em solos com baixa fertilidade natural desse solo (EMBRAPA, 2013), sendo comprovado pela baixa atividade da fração argila ($< 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila) no horizonte B, e confirmando um intemperismo moderado a avançado, o que resulta em médios a baixos valores de CTC (EMBRAPA, 2013). Os valores de porcentagem de sódio trocável (PST) demonstram que o solo é não sódico, $\text{PST} < 7\%$, com aumento em profundidade, semelhante aos resultados encontrados por Amorim et al. (2010), em solo irrigado no Nordeste Brasileiro, atribuindo a esse processo a lixiviação dos sais em superfície para as camadas mais profundas do solo.

Esses resultados podem ser atribuídos à fácil decomposição de materiais orgânicos, característico dos solos da região. Petrere et al. (2001), estudando a alteração provocada pela calagem superficial do solo em campo nativo, observaram o aumento dos valores de pH, cálcio e magnésio trocáveis e CTC efetiva e diminuição do teor de alumínio trocável, em relação aos tratamentos testemunhas (sem calcário), sendo esses efeitos proporcionais às doses aplicadas.

Tabela 4. Atributos químicos dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd1)

¹ Hor.	² Prof. cm	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	³ SB	Al ³⁺
				----- cmol _c kg ⁻¹ -----					
PVd1									
A1	0-17/21	5,0	4,1	1,3	0,8	0,01	0,13	2,2	0,6
A2	17/21-35/41	4,7	3,8	0,8	0,4	0,02	0,07	1,3	1,5
Bt1	35/41-90	4,8	3,9	2,1	1,6	0,03	0,09	3,8	1,9
Bt2	90-110	5,0	4,1	2,8	1,8	0,05	0,11	4,8	1,1
BC	110-125	5,0	4,0	2,5	1,3	0,05	0,10	4,0	1,4
Cr	125-145+	4,7	3,8	1,5	0,8	0,02	0,07	2,4	3,4
¹ Hor.	² Prof. cm	H+Al	⁴ CTC	⁵ ATA	P ⁵⁺	⁶ PST	⁷ m	⁸ N	⁹ V
		----- cmolc kg ⁻¹ -----			mg dm ⁻³	----- % -----			
PVd1									
A1	0-17/21	2,5	4,7	21,00	6,7	0,213	21,00	0,2	47,00
A2	17/21-35/41	3,8	5,1	26,00	3,7	0,392	54,00	0,4	25,00
Bt1	35/41-90	4,3	8,1	23,00	1,9	0,370	33,00	0,4	47,00
Bt2	90-110	2,9	7,7	24,00	1,3	0,649	19,00	0,6	62,00
BC	110-125	2,8	6,8	23,00	0,9	0,735	26,00	0,7	59,00
Cr	125-145+	3,6	6,0	26,00	0,4	0,333	59,00	0,3	40,00

¹SB: soma das bases; ²CTC: capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0 cmolc kg⁻¹; baixa: ≤ 5,0 cmolc kg⁻¹); ³ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27 cmolc kg⁻¹, baixa: < 27 cmolc kg⁻¹); ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável (não sódico < 7%; ligeiramente sódico 7% - 10%; Mediamente sódicos 11% - 20%; Fortemente sódicos 21% - 30%; Excessivamente sódicos > 30%); ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50).

A utilização desta classe de solo para o cultivo de espécies vegetais apresenta alta restrição de fertilidade química, devido à alta acidez natural do solo e baixa saturação por bases. A reposição de nutrientes necessita de doses altas a moderadas, especialmente de adubos fosfatados, devido a sua baixa mobilidade. Os nutrientes Ca, Mg e K necessitam de reposição, porém de forma moderada em virtude dos teores médios encontrados. Deve-se manter o solo coberto com vegetação e recomenda-se o menor revolvimento possível, pois a presença de gradiente textural a pequena profundidade aumenta a possibilidade de erosão e perda de nutrientes em áreas de relevo ondulado.

3.2. UM 2 - Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2)

Esta unidade de mapeamento (UM) está inserida em uma área com vinhedo implantado a 17 anos de plantio (Figura 9). A área está inserida em um relevo suave ondulado a ondulado, localizado no terço superior de encosta, com 6 a 7% de declive, à 30°42'29,93" de latitude Sul e 52°37'38,80" de longitude Oeste de Greenwich e a 335 m de altitude. No local não há presença de Pedregosidade e rochividade, nem erosão aparente, por apresentar drenagem boa a moderada.



Figura 8. Argissolo Vermelho Distrófico típico PVd2 e sua posição na paisagem, com detalhe para o granito semi-intemperizado no horizonte mais profundo do solo (C/Cr).

O perfil do solo apresenta uma sequência de horizontes divididas em A, AB, Bt e C/Cr, em que horizontes A e Bt são divididos em subhorizontes, A1-A2 e Bt1-Bt2, respectivamente, por apresentarem diferenças sutis quanto à cor e textura (Tabela 5). A cor vermelha neste solo (matiz 2,5YR) indica a relevante presença do óxido de ferro hematita (Fe_2O_3), verificando-se a presença de mosqueados no horizonte Bt2. Esta classe de solo varia de profundo a pouco profundo, podendo ser encontrado rocha semi-intemperizada (horizonte Cr) a 88 cm de profundidade, corroborando com informações apresentadas por Streck et

al. (2008) e Schmitt (2015) para solos oriundos de granitos na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

O horizonte Ap indica a formação de estrutura laminar, com alongamento horizontal dos agregados estruturais e finos verticalmente, característica de solos que apresentam compactação superficial pelo trânsito de máquinas para o manejo do pomar. A pressão causada pelo rodado dos tratores e implementos agrícolas no solo é relatada como a principal causa de alteração de atributos físicos do solo, sendo dependente do teor de umidade do solo e da intensidade do tráfego o mesmo é submetido (Lima et al., 2004a; Lima et al., 2004b; Elaoud & Chehaibi, 2011; Braida et al., 2011). A estrutura é do tipo granular e em blocos subangulares nos subhorizontes superficiais A1 e A2, de consistência úmida friável a muito friável (Tabela 5). Em subsuperfície, a estrutura apresenta predomínio de blocos subangulares, com grau moderado e classe grande.

Tabela 5. Morfologia Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2)

¹ Hor	Profundidade	Transição	Cor	Textura	Estrutura	Consistência
PVd2						
Ap	0 - 10 cm;	transição plana;	5YR 3/2 (úmida);	areia franca;	laminar, moderada,	
					média, granular, moderada/forte,	média, blocos subangulares; firme; não plástica e não pegajosa.
A1	10 - 15/18 cm;	transição ondulada;	5YR 3/2 (úmida);	franco arenosa;	moderada, média, blocos subangulares,	granular; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
A2	15/18 - 25/29 cm;	transição ondulada;	5YR 3/2 (úmida);	areia franca;	moderada, grande, blocos subangulares,	fraca, média, granular; muito friável; não plástica e não pegajosa.
AB	25/29 - 52/56 cm;	transição plana/ondulada;	5YR 2,5/2 (úmida);	franco arenosa;	moderada, grande, blocos subangulares;	muito friável/friável; ligeiramente plástica e não pegajosa.
Bt1	52/56 - 75/86 cm;	transição irregular/ondulada;	2,5YR 4/6;	franco argilosa a argila;	moderada, grande, blocos subangulares,	friável, plástica e pegajosa.
Bt2	75/86 - 120+ cm;	transição irregular;	2,5YR 4/8, mosqueado 7,5YR 8/2 (úmida);		argila com cascalho; moderada, grande, blocos subangulares;	friável; ligeiramente plástica e pegajosa.
C/Cr	88/90 - 120+ cm;	horizonte descontínuo;	variegado 5YR 6/8, 5YR 4/6, 10YR 8/4;	franco argilosa/argila com cascalho;	maciça que se desfaz em blocos subangulares,	friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

¹Hor: Horizontes do perfil do solo.

O horizonte superficial foi classificado como A chernozêmico. Essa situação, é de origem antrópica, uma vez que a área em estudo utiliza compostos com altos teores de cálcio e magnésio para a correção da acidez do solo, que além proporciona aumento no pH, promoveu aumento na saturação por bases (V%) atingindo valores superiores a 65%, que configura alta fertilidade (eutrófico). Resultados semelhantes foram encontrados por Valladares (2005) em classes de solos da Embrapa Uva e Vinho, na Serra Gaúcha, que em subsuperfície apresentaram horizontes distróficos em subsuperfície apresentam horizontes superficiais eutróficos e até mesmo horizonte A chernozêmico.

A aplicação de calcário é a técnica mais adequada e econômica para corrigir a acidez dos solos, aumentando seu pH, reduzindo a toxidez de elementos químicos como o Al^{3+} e aumentando diretamente os teores no solo dos nutrientes Ca e Mg (Anjos et al., 2011; Prezotti et al., 2013; Machado et al., 2014). Aliado a isso, foi observada estrutura suficientemente desenvolvida, cor escura (valor ≤ 3) e conteúdo de carbono orgânico $\geq 6 \text{ g kg}^{-1}$ (EMBRAPA, 2013).

A textura varia de franco-arenosa no horizonte A para franco-argilo-arenosa com cascalho no Bt. A relação do teor de argila dos horizontes B/A é igual a 1,88, suficiente para a caracterização de horizonte diagnóstico subsuperficial B textural (EMBRAPA, 2013), encontrado a 52/56 cm de profundidade. A consistência molhada é plástica e pegajosa no subhorizonte Bt1 devido ao aumento de argila em relação ao horizonte A. O alto teor de cascalho é resultante da presença de quartzo em grande quantidade O valor de uniformidade do solo é menor que 0,60 em todos os horizontes, afastando a possibilidade de descontinuidade do material de origem (Tabela 6).

Tabela 6. Atributos físicos dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2)

Hor.	Prof. cm	Cascalho %	AT ¹ -----g kg ⁻¹ -----	AG ²	AF ³	Silte	Argila	GF ⁴ %
PVd2								
Ap	0-10	0	640	460	180	220	140	7
A1	10-15/18	0	590	430	160	230	180	11
A2	15/18-25/29	0	630	430	200	210	160	25
AB	25/29-52/56	2	590	440	150	230	180	33
Bt1	52/56-75/86	12	450	350	100	230	320	97
Bt2	75/86-120+	10	460	350	110	240	300	97
C/Cr	88/90-120+	0	550	420	130	230	220	95
Hor.	Prof. cm	Silte/Argila	VU ⁵	CO g kg ⁻¹	Ds g cm ⁻³	Ma	Mi ----- cm ³ cm ⁻³ -----	Pt
PVd2								
Ap	0-10	1,57	-0,04	18,00	1,58	0,081	0,469	0,550
A1	10-15/18	1,28	-0,04	15,00	1,51	0,068	0,394	0,462
A2	15/18-25/29	1,31	0,10	12,00	1,45	0,066	0,437	0,503
AB	25/29-52/56	1,28	-0,09	9,80	-	-	-	-
Bt1	52/56-75/86	0,72	-0,06	5,50	-	-	-	-
Bt2	75/86-120+	0,80	0,16	3,60	-	-	-	-
C/Cr	88/90-120+	1,05	-	1,70	-	-	-	-

¹Hor: Horizonte do perfil do solo; ²Prof: profundidade; ³AT: areia total; ⁴AG: Areia Grossa; ⁵AF: Areia Fina; ⁶GF: Grau de Floculação; ⁷VU: Valor de Uniformidade; ⁸CO: Carbono Orgânico; ⁹Ds: Densidade do Solo; ¹⁰Ma: Macroporosidade do solo; ¹¹Mi: Microporosidade do solo; ¹²Pt: Porosidade Total do Solo.

O solo tem pH em água alto mais próximo da superfície (Tabela 7), com pH > 6,0 até 56 cm. O pH em KCl é menor que o valor de pH em água, indicando o predomínio de cargas negativas em todos os horizontes do solo. Destaca-se o alumínio trocável (Al³⁺) igual a zero nos horizontes com pH > 6,0. Esta condição está relacionada à precipitação do Al³⁺ em formas não trocáveis a partir do pH em água igual ou maior que 5,5 (Mello e Perez, 2009).

Na Tabela 7 podemos observar que o solo apresenta CTC média em todo o perfil (CQFS RS/SC, 2004), portanto, apresentando melhor potencial para reter os nutrientes no solo quando feita uma adubação e calagem, em comparação com solos de baixa CTC. A saturação por bases é alta nos horizontes Ap, A1, A2 e AB, influenciada pelos médios e altos teores de Ca²⁺ e altos de Mg²⁺, oriundos das sucessivas calagem para a correção da acidez do solo. A saturação por bases menor que 50% na maior parte do horizonte Bt indica o caráter distrófico, o que

caracteriza uma baixa fertilidade natural, comum em solos moderadamente a altamente intemperizados. Esta classe de solo apresenta baixa atividade da fração argila ($< 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila) no horizonte B, confirmando um intemperismo moderado a avançado que favorece a formação de argilominerais 1:1 e óxidos de ferro, e menor quantidade de argilominerais 2:1 (EMBRAPA, 2013; Streck et al., 2008; Resende et al., 2005). O teor de fósforo disponível (P^{5+}) variou de médio a alto, até o horizonte Bt1 e baixo nos demais horizontes do solo, indicando o incremento desse elemento pela adubação fosfatada, na área que é naturalmente deficiente desse elemento. Os teores de potássio trocável (K^+) são baixos em Ap, A2, Bt2 e C/Cr, médio em A1 e Bt1 e alto em AB. O teor de sódio trocável (Na^+) é baixo em todo o solo, e portanto, livre de caráter sódico ou solódico.

Tabela 7. Atributos químicos de Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2)

Hor.	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	¹ SB	Al ³⁺
				----- cmol _c kg ⁻¹ -----					
PVd2									
Ap	0-10	6,6	5,5	3,8	1,8	0,02	0,09	5,6	0,0
A1	10-15/18	6,5	5,6	4,6	2,1	0,03	0,13	6,9	0,0
A2	15/18-25/29	6,9	5,8	2,8	1,2	0,01	0,09	4,1	0,0
AB	25/29-52/56	6,0	5,1	3,1	1,5	0,02	0,18	4,8	0,0
Bt1	52/56-75/86	4,7	3,9	2,0	1,3	0,02	0,11	3,4	1,6
Bt2	75/86-120+	4,4	3,7	1,3	0,8	0,02	0,08	2,2	2,8
C/Cr	88/90-120+	4,6	3,9	0,8	0,5	0,02	0,07	1,4	1,8
Hor.	Prof. cm	H+Al	² CTC	³ ATA	P^{5+}	N	⁵ m	⁶ PST	⁷ V
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----		mg dm ⁻³		----- % -----			
PVd2									
Ap	0-10	0,9	6,6	47,00	3,7	0,14	0,00	0,303	86,00
A1	10-15/18	1,0	7,9	44,00	20,3	0,14	0,00	0,380	87,00
A2	15/18-25/29	0,8	4,9	31,00	9,4	0,12	0,00	0,204	84,00
AB	25/29-52/56	1,3	6,1	34,00	31,5	0,10	0,00	0,328	79,00
Bt1	52/56-75/86	3,4	6,8	21,00	6,8	0,06	32,00	0,294	50,00
Bt2	75/86-120+	4,2	6,4	21,00	1,0	0,05	56,00	0,313	34,00
C/Cr	88/90-120+	3,8	5,2	24,00	0,8	0,03	56,00	0,385	27,00

¹SB: soma das bases; ²CTC: capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0 cmol_c kg⁻¹; baixa: $\leq 5,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); ³ATA: atividade da fração argila (alta: $\geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, baixa: $< 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável (não sódico $< 7\%$; ligeiramente sódico 7% - 10%; Moderadamente sódicos 11% - 20%; Fortemente sódicos 21% - 30%; Excessivamente sódicos $> 30\%$); ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50 ; distrófico: < 50).

A utilização desta classe de solo para a atividade de plantio de espécies vegetais apresenta moderada a baixa restrição de fertilidade química. Nos horizontes mais próximos da superfície, o alto pH em água e os maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} indicam que foi feita a correção do solo por calagem, sendo uma condição benéfica por tornar indisponível o Al^{3+} fitotóxico. Porém, não se recomenda nova aplicação de calcário na área, pois em $\text{pH} \geq 6,5$ micronutrientes como ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) sofrem redução na disponibilidade para as plantas. De acordo com Bissani et al. (2006), o boro (B) pode ser adsorvido em grandes quantidades à superfície de óxidos de alumínio e de ferro com o aumento do pH, diminuindo muito sua disponibilidade para as plantas por formar complexos de esfera-interna com estes minerais. A indisponibilidade de boro pode causar redução no tamanho das folhas e diminuição dos entrenós dos ramos da videira. Para essa cultura o pH em água ideal é 6,0, não havendo efeito prejudicial do Al^{3+} e não reduzindo a disponibilidade dos micronutrientes para a planta (CQFS-RS/SC, 2004).

3.3. UM 3 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXd1)

Este perfil está inserido em uma área com vinhedo implantado a cinco anos em uma área com relevo suave ondulado a ondulado, localizado no terço superior a médio da encosta, com 9% de declive, à $30^{\circ}42'34,27''$ de latitude Sul e $52^{\circ}38'15,95''$ de longitude Oeste de Greenwich e a 326 m de altitude. No local não há presença de Pedregosidade e rochosidade, apresenta erosão laminar ligeira, apesar está inserido em um terreno bem drenado.

Essa classe de solo apresenta uma sequência de horizontes Ap, A, AB, Bi, BC e Cr e está localizada no terço superior e médio da encosta de uma área de relevo ondulado. A boa drenagem predomina nesse solo, e as cores mosqueadas e variegadas nos horizontes Bi, BC e Cr mostram a destacada ocorrência de minerais primários intemperizáveis (Figura 10). Na imagem do perfil de solo, as cores mais avermelhadas indicam óxidos de ferro como hematita e goethita, enquanto as cores claras indicam a presença de minerais primários não intemperizados e de caulinita (cor 7,5YR 6/2 no horizonte Cr).

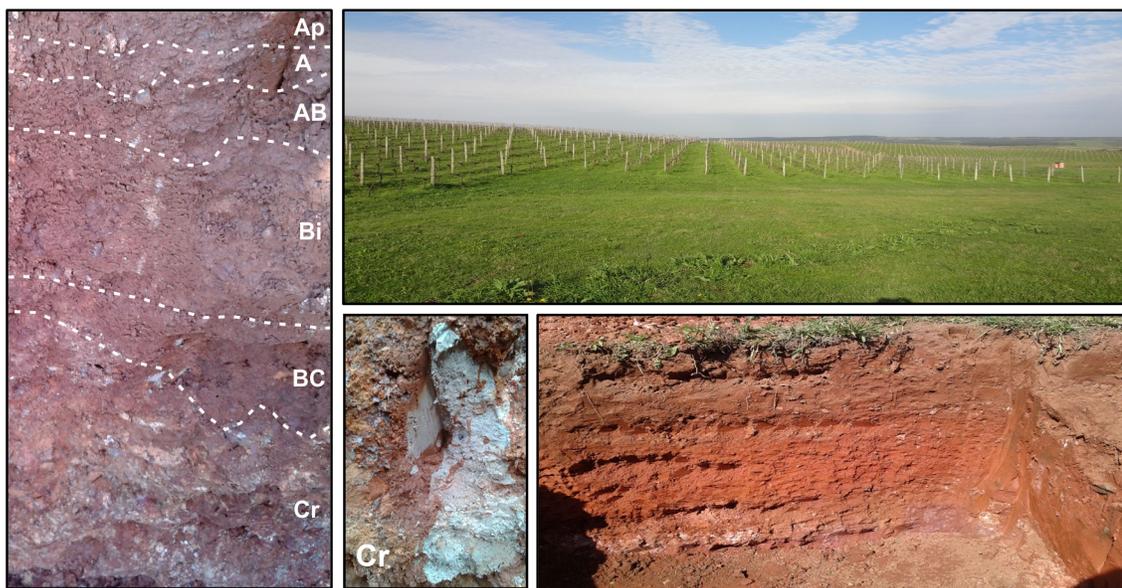


Figura 9. Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico CXd1 e sua posição na paisagem.

O solo é pouco profundo (< 1 m), havendo contato com a rocha semi-intemperizada (horizonte Cr) a 92/97 cm (Tabela 8). A menor profundidade do solo é influenciada pelo relevo mais declivoso, permitindo maior escoamento superficial e menor infiltração de água para a ocorrência do intemperismo do solo em profundidade (Kämpf e Curi, 2012).

Tabela 8. Morfologia do Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXd1) identificado na propriedade

¹ Hor	Profundidade	Transição	Cor	Textura	Estrutura	Consistência
CXd1						
Ap	0 - 8/10 cm; transição clara; 5YR 4/4 (úmida); franco arenosa; firme, laminar;					
A	8/10-23/30 cm; transição clara; 5YR 4/4 (úmida); franco argilo arenosa cascalhenta e com calhau; friável.					
AB	23/30 - 50/57 cm; transição clara; 5YR 4/6 (úmida); franco argilosa arenosa e muito cascalhenta; friável.					
Bi	50/57 - 70/75 cm; transição clara; 2,5YR 4/6, mosqueado médio e pouco 2,5YR 5/8, 10YR 8/8 (úmida); franco argilosa a argila; moderada a forte, blocos subangulares, granular, bolsões com estrutura de rocha; firme; ligeiramente plástica e pegajosa.					
BC	70/75 - 92/97 cm; transição clara; 2,5YR 4/6 e mosqueado 7,5YR 6/8, 7,5YR 8/3 (úmida); franco argilosa a argila; moderada, grande, blocos subangulares; firme; ligeiramente plástica e pegajosa;					
Cr	92/97 - 135+ cm; variegado 2,5YR 5/8, 2,5YR 8/1, 7,5YR 6/2 (úmida); franca; maciça que desfaz em blocos subangulares; muito friável; não plástica e não pegajosa.					

¹Hor: Horizontes do perfil do solo.

O horizonte diagnóstico superficial é A húmico, por ter espessura ≥ 25 cm, cor de valor e croma ≤ 4 , saturação por bases $< 65\%$, conteúdo de carbono orgânico de 6 a menos que 80 g kg^{-1} (EMBRAPA, 2013). No horizonte Ap há predomínio de estrutura laminar, que pode estar relacionada à compactação do solo em superfície, enquanto que, em subsuperfície, a ocorrência de estrutura em blocos subangulares está relacionada aos ciclos de umedecimento e secagem do solo.

A textura (Tabela 9) varia de franco-argilo-arenosa a argilo-arenosa, sendo que não há aumento acentuado no teor de argila do horizonte A para o horizonte B (relação textural B/A igual a 1,16). Os teores de cascalho são altos nesta classe de solo, de textura com cascalho a cascalhenta que diminui a sua plasticidade. O horizonte diagnóstico subsuperficial é classificado como B incipiente (EMBRAPA, 2013), por não apresentar um aumento acentuado de argila, não ter característica de hidromorfismo ou outra condição pedológica que caracterize demais horizontes subsuperficiais diagnósticos. O valor de uniformidade do solo é menor que 0,60

em todos os horizontes, afastando a possibilidade de descontinuidade do material de origem.

Tabela 9. Atributos físicos dos perfis representativos do Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXd1)

Hor.	Prof. cm	Cascalho %	AT ¹	AG ²	AF ³	Silte	Argila	GF ⁴ %
CXd1								
Ap	0-8/10	6	590	430	160	150	260	23
A	8/10-23/30	18	520	410	110	130	350	49
AB	23/30-50/57	29	440	370	70	110	450	64
Bi	50/57-70/75	10	480	420	60	110	410	98
BC	70/75-92/97	7	520	460	60	110	370	89
Cr	92/97-135+	25	530	340	190	210	260	96

Hor.	Prof. cm	Silte/Argila	VU ⁵	CO g kg ⁻¹	Ds g cm ⁻³	Ma	Mi	Pt
CXd1								
Ap	0-8/10	0,58	0,22	14,00	-	-	-	-
A	8/10-23/30	0,37	0,20	11,00	-	-	-	-
AB	23/30-50/57	0,24	0,23	7,30	-	-	-	-
Bi	50/57-70/75	0,27	0,08	3,40	-	-	-	-
BC	70/75-92/97	0,30	-0,69	2,20	-	-	-	-
Cr	92/97-135+	0,81	-	0,30	-	-	-	-

¹Hor: Horizonte do perfil do solo; ²Prof: profundidade; ³AT: areia total; ⁴AG: Areia Grossa; ⁵AF: Areia Fina; ⁶GF: Grau de Floculação; ⁷VU: Valor de Uniformidade; ⁸MOS: Matéria Orgânica do Solo; ⁹Ds: Densidade do Solo; ¹⁰Ma: Macroporosidade do solo; ¹¹Mi: Microporosidade do solo; ¹²Pt: Porosidade Total do Solo.

Como se pode observar na Tabela 10, o solo foi classificado como muito ácido (CQFS RS/SC, 2004), com valores de pH em água menor que 5,0 em todos os horizontes menor. Como era de se esperar, o pH em KCl apresentou valores menores que o pH em água, indicando o predomínio de cargas negativas em todos os horizontes do solo. Por ser o solo muito ácido, os teores de alumínio trocável são altos, porém não suficientes para enquadramento de caráter alumínico do solo (EMBRAPA, 2013). Essa classe de solo apresenta uma baixíssima saturação por bases no horizonte Bi, indicando seu distrofismo e muito pouca quantidade de cátions disponíveis para a absorção pelas plantas.

A CTC do solo variou de média a baixa, que pode ser atribuída aos baixos teores de carbono orgânico, e ao predomínio de argilas de atividade baixa (apenas

12 cmol_c kg⁻¹ de argila), sobretudo no horizonte Bi, o que demonstra a baixa capacidade de retenção de cátions básicos na superfície dos coloides, que são comprovados pelos baixos teores de Ca²⁺, Mg²⁺, P⁵⁺ e K⁺, que apresentou valor considerado alto apenas no horizonte AP, e Na⁺ que foi baixo em todo o solo e portanto, livre de caráter sódico ou solódico.

Tabela 10. Atributos químico dos perfis representativos do Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXd1)

Hor.	Prof. cm	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	¹ S	Al ³⁺
				----- cmol _c kg ⁻¹ -----					
CXd1									
Ap	0-8/10	4,9	4,0	1,1	0,6	0,02	0,17	1,9	1,3
A	8/10-23/30	4,6	3,9	0,5	0,3	0,02	0,09	0,9	2,4
AB	23/30-50/57	4,4	3,9	0,3	0,2	0,02	0,07	0,6	3,4
Bi	50/57-70/75	4,6	3,9	0,2	0,1	0,02	0,05	0,4	3,3
BC	70/75-92/97	4,6	3,9	0,2	0,1	0,01	0,06	0,4	3,4
Cr	92/97-135+	4,5	3,9	0,2	0,1	0,02	0,06	0,4	3,0

Hor.	Prof. cm	H+Al	² CTC	³ ATA	P ⁵⁺	N	⁵ m	⁶ PST	⁷ V
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----		mg dm ⁻³		----- % -----			
CXd1									
Ap	0-8/10	3,7	5,6	22,00	4,9	0,10	41,00	0,4	34,00
A	8/10-23/30	4,9	5,8	17,00	3,2	0,08	73,00	0,3	16,00
AB	23/30-50/57	5,2	5,8	13,00	1,0	0,06	85,00	0,3	10,00
Bi	50/57-70/75	4,6	5,0	12,00	0,7	0,03	89,00	0,4	8,00
BC	70/75-92/97	4,6	5,0	14,00	0,5	0,02	89,00	0,2	8,00
Cr	92/97-135+	4,8	5,2	20,00	0,5	0,02	88,00	0,4	8,00

¹S: soma das bases; ²CTC: capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0; baixa: ≤ 5,0); ³ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27, baixa: < 27); ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável; ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50).

A utilização deste solo para o cultivo de espécies vegetais apresenta alta restrição, devido à sua baixa fertilidade química natural. Devido à acidez muito alta do solo, ocorrem altos teores de Al³⁺. Recomenda-se a calagem do solo para atingir pH em água igual a 6,0 e diminuir a alta saturação por Al³⁺ nos sítios de troca do solo (valor m em torno de 80%). A CTC do solo, por ser próxima de nível baixo, também interfere na sua baixa fertilidade química. Recomenda-se a adição

continuada de fitomassa residual na superfície do solo para o aumento da CTC e maior retenção de nutrientes com carga positiva.

A adição de matéria orgânica também pode requerer maiores teores de calcário aplicado no solo, em virtude do aumento da acidez potencial. A aplicação de calcário pode ser feita conforme recomendações do Manual de adubação e de calagem para os estados do RS e de SC (CQFS-RS/SC, 2004).

3.4. UM 4 - Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico (GXd)

Este perfil está inserido em uma área de campo nativo com relevo plano, localizado em uma planície de inundação, com 0 a 2% de declive, à 30°42'40,65" de latitude Sul e 52°38'36,05" de longitude Oeste de Greenwich e a 302 m de altitude. No local não há presença de pedregosidade e rochiosidade, não apresentar erosão aparente, apesar está inserido em um terreno mal drenado.

O solo é profundo (> 1 m), com sequência de horizontes A e Cg, sendo o Cg dividido em sub-horizonte em Cg1, Cg2 e Cg3 (este último identificado por tradagem), pela diferença sutil na cor cinza em profundidade. As cores cinzas predominam nos horizontes Cg do solo e indicam má condição de drenagem, por encontrar-se em uma área de baixada do relevo (Figura 11).

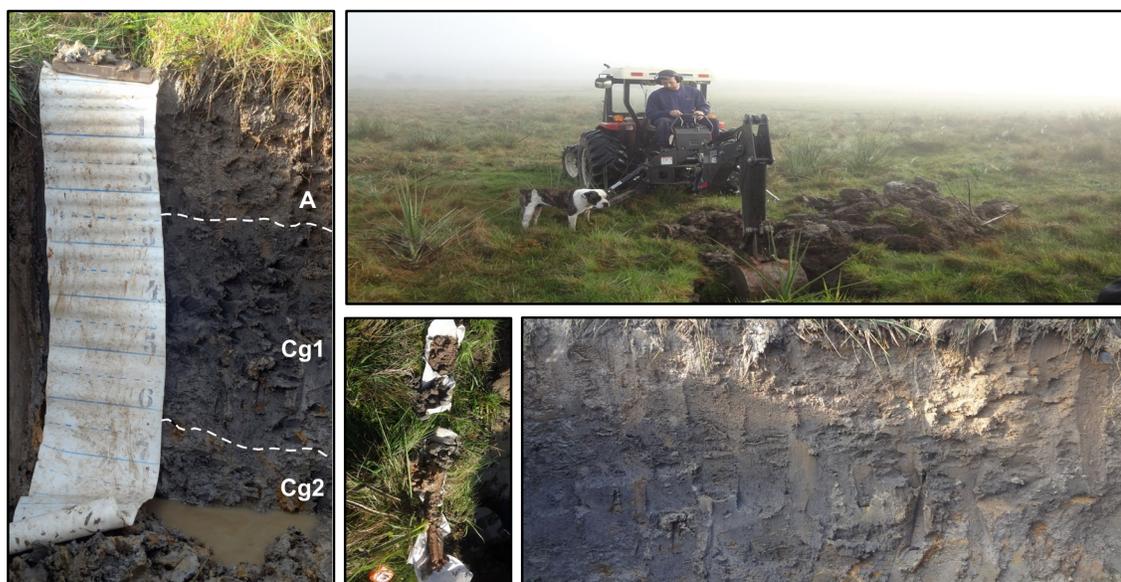


Figura 10. Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico GXd e sua posição na paisagem.

No horizonte superficial a estrutura é do tipo blocos subangulares e granular, de grau moderado, sendo necessário aplicar força moderada para esboroá-lo, e de classe com tamanho médio dos agregados estruturais (Tabela 11). O horizonte diagnóstico superficial é A moderado, por não apresentar características especiais de outros horizontes diagnósticos superficiais (EMBRAPA, 2013).

Tabela 11. Morfologia do Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico (GXd) identificado na propriedade

¹ Hor	Profundidade	Transição	Cor	Textura	Estrutura	Consistência
GXd						
A	0 - 23/25 cm;	transição clara e plana;	7,5YR 4/3 (úmida);	franco arenosa;	moderada, média, blocos subangulares, granular;	plástica e ligeiramente pegajosa.
Cg1	23/25 - 62 cm;	transição gradual e plana;	7,5YR 4/1 (cor úmida principal), mosqueado 7,5YR 5/8, médio, pouco a comum (úmida);	franco argilo arenosa;	moderada, grande, blocos subangulares, maciço;	plástica e ligeiramente pegajosa.
Cg2	62 - 90 cm;	10YR 5/1 (úmida);	franco argilo arenosa;	maciço;	plástica e ligeiramente pegajosa.	
Cg3	90 - 130+ cm (coletado por tradagem);	10YR 5/2 (cor úmida principal), mosqueado 10YR 6/8 e 2,5YR 5/8 (úmida).				

¹Hor: Horizontes do perfil do solo.

A estrutura maciça aparece à profundidade de 25/32 cm no horizonte Cg, sendo relacionada ao pouco estágio de alteração do solo nesta seção do perfil. Como permanece a maior parte do tempo alagado, o solo tem menor intemperismo oxidativo, expansão e contração por umedecimento e secagem, que são responsáveis pela formação de agregados estruturais. A condição de baixo intemperismo do solo é reforçada pela relação silte/argila superior a 1,00 nos horizontes A, Cg1 e Cg2, mostrando que boa parte dos minerais primários do solo não foi intemperizada para minerais secundários que formam predominantemente a fração argila.

O aumento de argila em profundidade não é acentuado, com relação de argila horizonte C / horizonte A igual a 1,35 (Tabela 12). O horizonte diagnóstico

subsuperficial é C glei, caracterizado por feições redoximórficas (presença de mosqueados no horizonte Cg3) e cromas iguais ou menores que 2 (EMBRAPA, 2013). A gleização é um processo pedogenético que ocorre em solos alternadamente ou permanentemente alagados. Neste processo, após o consumo do oxigênio no solo alagado, microorganismos anaeróbios passam a utilizar compostos oxidados do solo como aceptores de elétrons na decomposição oxidativa da matéria orgânica.

Tabela 12. Atributos físicos dos perfis representativos do Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico (GXd)

Hor.	Prof. cm	Cascalho %	AT ¹	AG ²	AF ³	Silte	Argila	GF ⁴ %
GXd								
A	0-23/25	0	620	460	160	200	180	11
Cg1	23/25-62	0	540	430	110	280	180	11
Cg2	62-90	0	540	430	110	260	200	30
Cg3	90-130+	6	380	290	90	270	350	71

Hor.	Prof. cm	Silte/Argila	VU ⁵	MO g kg ⁻¹	Ds g cm ⁻³	Ma	Mi	Pt
GXd								
A	0-23/25	1,11	-0,14	15,00	1,30	0,170	0,340	0,510
Cg1	23/25-62	1,56	0,06	9,00	1,48	0,100	0,340	0,440
Cg2	62-90	1,30	-0,31	3,80	1,50	0,120	0,350	0,470
Cg3	90-130+	0,77	-	3,00	-	-	-	-

¹Hor: Horizonte do perfil do solo; ²Prof: profundidade; ³AT: areia total; ⁴AG: Areia Grossa; ⁵AF: Areia Fina; ⁶GF: Grau de Floculação; ⁷VU: Valor de Uniformidade; ⁸MOS: Matéria Orgânica do Solo; ⁹Ds: Densidade do Solo; ¹⁰Ma: Macroporosidade do solo; ¹¹Mi: Microporosidade do solo; ¹²Pt: Porosidade Total do Solo.

Como resultado final o solo fica com cor cinza, pois neste processo os óxidos de ferro, que conferem cores vermelhas e amarelas ao solo, passam da forma sólida oxidada (Fe³⁺) para a reduzida (Fe²⁺), ficando o ferro solubilizado na solução do solo (Ponnamperuma, 1972). A cor cinza é resultado da mobilidade do ferro no horizonte reduzido e presença de minerais quartzo e caulinita que não são dissolvidos neste processo. O valor de uniformidade, calculado a partir da diferença dos teores de silte, areia fina e areia total entre horizontes é menor que 0,60, indicando que os horizontes do solo foram formados a partir de um mesmo material de origem.

Pode-se observar na Tabela 13 que o solo é ácido a muito ácido, com pH em água menor que 5,5. O pH em KCl é menor que o valor de pH em água, indicando o predomínio de cargas negativas em todos os horizontes do solo. Em virtude da acidez no solo, embora haja alumínio trocável (Al^{3+}), os teores e a saturação por alumínio no horizonte C não é alta o suficiente para enquadrar o solo com caráter alumínico ou alítico (EMBRAPA, 2013).

Tabela 13. Atributos químico dos perfis representativos do Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico (GXd)

Hor.	Prof. cm	pH H_2O	pH KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	^1S	Al^{3+}
GXd									
A	0-23/25	4,5	3,8	0,6	0,4	0,02	0,06	1,1	1,2
Cg1	23/25-62	4,5	3,6	0,8	0,7	0,03	0,09	1,6	1,1
Cg2	62-90	4,8	3,7	0,8	0,6	0,02	0,09	1,5	1,2
Cg3	90-130+	5,1	3,8	0,9	0,7	0,03	0,14	1,8	1,2
Hor.	Prof. cm	H+Al	^2CTC	^3ATA	P^{5+}	N	^5m	^6PST	^7V
GXd									
A	0-23/25	3,4	4,5	25,00	2,4	0,10	52,00	0,4	24,00
Cg1	23/25-62	3,8	5,4	30,00	2,0	0,08	41,00	0,6	30,00
Cg2	62-90	2,4	3,9	20,00	1,5	0,05	44,00	0,5	38,00
Cg3	90-130+	2,4	4,2	12,00	1,0	0,04	40,00	0,7	43,00

^1S : soma das bases; ^2CTC : capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0; baixa: $\leq 5,0$); ^3ATA : atividade da fração argila (alta: ≥ 27 , baixa: < 27); ^5m : saturação por alumínio; ^6PST : porcentagem de sódio trocável; ^7V : saturação por bases (eutrófico: ≥ 50 ; distrófico: < 50).

O solo tem CTC predominantemente baixa e, portanto, baixa fertilidade química natural para a retenção de cátions básicos. A saturação por bases é menor que 50%, indicando o caráter distrófico e baixa quantidade de nutrientes de carga positiva que podem ser absorvidos pelas plantas.

Os nutrientes com maior deficiência são o cálcio e o fósforo, sendo o teor baixo e muito baixo, respectivamente. O teor de magnésio é baixo a médio. O teor de potássio é baixo a alto. O teor de sódio é baixo em todo o solo e portanto, livre de caráter sódico ou solódico. O solo tem baixa atividade da fração argila (< 27

cmol_c kg⁻¹ de argila) no horizonte C, colaborando para a baixa CTC e menor fertilidade química natural. O teor de matéria orgânica é médio no horizonte A, sendo baixo nos demais horizontes do solo.

A utilização deste solo para o cultivo de espécies vegetais apresenta alta restrição de fertilidade química, devido à alta acidez do solo, baixas CTC e saturação por bases, necessitando altas doses de nutrientes (principalmente Ca e P). A correção do pH e a possibilidade de calagem devem estar de acordo com a necessidade da vegetação. A cor cinza encontrada próxima a superfície do solo (horizonte Cg1 a 25/32 cm) indica a elevação do lençol freático próximo à superfície, sendo indicado seu uso para a preservação permanente.

3.5. UM 5 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico (CXd2)

Este perfil está inserido em uma área de com vinhedo implantado a 16 anos, em um relevo plano, com relevo suave ondulado, com áreas irregulares de ondulações no terreno, com 3% de declive, à 30°43'02,25" de latitude Sul e 52°37'43,56" de longitude Oeste de Greenwich e a 344 m de altitude. No local não há presença de Pedregosidade e rochiosidade, sem erosão aparente, por estar em uma área boa a moderadamente drenada. Essa classe de solo ocupa área de relevo suave ondulado, sendo profundo e com sequência de horizontes A, BA e Bi, com horizonte A é subdividido em A1 e A2 e o Bi em Bi1 e Bi2 (Figura 12).

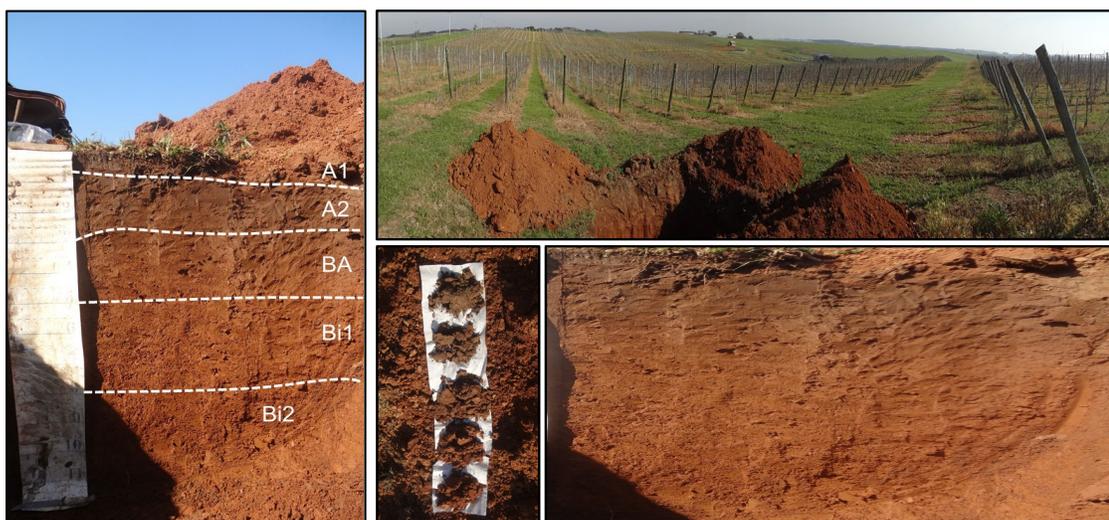


Figura 11. Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico - CXd2 e sua posição na paisagem.

Predominam as cores vermelho-amareladas que indicam drenagem boa a moderada. O horizonte diagnóstico superficial é A moderado, por não apresentar características especiais de outros horizontes diagnósticos superficiais (EMBRAPA, 2013). A estrutura em blocos aumenta em profundidade, com consistência úmida friável nos horizontes superficiais A1 e A2 e firme nos horizontes Bi1 e Bi2 (Tabela 14).

Tabela 14. Morfologia do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico (CXd2) identificado na propriedade

¹ Hor	Profundidade	Transição	Cor	Textura	Estrutura	Consistência
CXd2						
A1	0 - 6 cm;	transição gradual;	7,5YR 3/3 (úmida);	franco arenosa/franco argilo arenosa;	moderada, média, granular,	moderada/forte, média, blocos subangulares; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
A2	6 - 26/30 cm;	transição clara;	7,5YR 3/4 (úmida);	franco argilo arenosa;	moderada/forte, média, blocos subangulares e blocos angulares;	friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
BA	26/30 - 50 cm;	transição clara;	5YR 4/4 (úmida);	franco argilosa/argila;	moderada, média, blocos subangulares;	friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
Bi1	50 - 83 cm;	5YR 4/6 (úmida);	argila cascalhenta;	cerosidade fraca e pouca;	moderada, média, blocos subangulares;	friável/firme; ligeiramente plástica e pegajosa.
Bi2	83 - 115+ cm;	4YR 4/6 (úmida);	argila cascalhenta;	moderada, média, blocos subangulares;	friável/firme; ligeiramente plástica e pegajosa.	

¹Hor: Horizontes do perfil do solo.

A cerosidade é pouca e fraca em Bi1 e a relação textural do teor de argila B/A é igual a 1,58, caracterizando caráter argilúvico, porém não acentuado o suficiente para caracterizar o horizonte B textural (EMBRAPA, 2013), mas sim como horizonte diagnóstico subsuperficial, classificado como B incipiente. Este Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico difere do Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico por ser mais desenvolvido, tendo solum espesso (soma dos horizontes A e B maior que 1 m) e maior espessura do horizonte Bi (Tabela 15).

Tabela 15. Atributos físicos dos perfis representativos do Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico (CXd2)

Hor.	Prof. cm	Cascalho %	AT ¹	AG ²	AF ³	Silte	Argila	GF ⁴ %
CXd2								
A1	0-6	0	540	390	150	240	220	18
A2	6-26/30	0	390	260	130	270	340	24
BA	26/30-50	0	370	260	110	240	390	79
Bi1	50-83	0	330	230	100	220	450	87
Bi2	83-115+	10	310	220	90	200	490	92

Hor.	Prof. cm	Silte/Argila	VU ⁵	CO g kg ⁻¹	Ds g cm ⁻³	Ma cm ³	Mi cm ³	Pt
CXd2								
A1	0-6	1,09	-0,35	19,00	1,51	0,081	0,469	0,549
A2	6-26/30	0,79	0,14	9,30	1,58	0,068	0,394	0,462
BA	26/30-50	0,62	-0,03	7,10	1,45	0,066	0,437	0,503
Bi1	50-83	0,49	0,05	5,80	-	-	-	-
Bi2	83-115+	0,41	-	3,00	-	-	-	-

¹Hor: Horizonte do perfil do solo; ²Prof: profundidade; ³AT: areia total; ⁴AG: Areia Grossa; ⁵AF: Areia Fina; ⁶GF: Grau de Floculação; ⁷VU: Valor de Uniformidade; ⁸MOS: Matéria Orgânica do Solo; ⁹Ds: Densidade do Solo; ¹⁰Ma: Macroporosidade do solo; ¹¹Mi: Microporosidade do solo; ¹²Pt: Porosidade Total do Solo.

Tais características podem ser relacionadas com a menor declividade onde o solo se localiza na paisagem e, conseqüentemente, maiores infiltração da água e intemperismo químico do solo. No quarto nível categórico do SiBCS é classificado como latossólico, por ter horizonte B incipiente com características similares às do B latossólico (espessura maior ou igual que 50 cm, relação silte/argila inferior a 0,7, atividade de argila menor que 17 cmol_c kg⁻¹ de argila, cerosidade no máximo pouca e fraca). O valor de uniformidade do solo é menor que 0,60 em todos os horizontes, indicando que o solo foi formado a partir do mesmo material de origem.

O solo tem pH em água alto em A1 e muito baixo nos demais horizontes (Tabela 16). O pH em KCl é menor que o valor de pH em água, indicando o predomínio de cargas negativas em todos os horizontes do solo. A CTC baixa em parte do perfil, a saturação por bases baixa no horizonte Bi e a baixa atividade da fração argila identificam classe de solo como de baixa fertilidade química natural.

Tabela 16. Atributos químico dos perfis representativos do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico (CXd2)

Hor.	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	¹ S	Al ³⁺
				----- cmol _c kg ⁻¹ -----					
CXd2									
A1	0-6	6,6	5,8	4,8	2,1	0,03	0,48	7,4	0,0
A2	6-26/30	4,8	3,9	1,6	0,9	0,02	0,13	2,7	1,1
BA	26/30-50	4,6	3,9	0,8	0,5	0,03	0,11	1,4	1,5
Bi1	50-83	4,7	3,8	0,7	0,4	0,02	0,11	1,2	1,7
Bi2	83-115+	4,8	3,8	0,9	0,6	0,01	0,17	1,7	1,6
Hor.	Prof. cm	H+Al	² CTC	³ ATA	P ⁵⁺	N	⁵ m	⁶ PST	⁷ V
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----		mg dm ⁻³		----- % -----			
CXd2									
A1	0-6	1,0	8,4	38,00	27,6	0,16	0,00	0,4	88,00
A2	6-26/30	3,6	6,3	19,00	6,8	0,08	29,00	0,3	43,00
BA	26/30-50	3,5	4,9	13,00	1,8	0,06	52,00	0,6	29,00
Bi1	50-83	3,7	4,9	11,00	0,7	0,05	59,00	0,4	24,00
Bi2	83-115+	3,8	5,5	11,00	0,9	0,04	48,00	0,2	31,00

¹S: soma das bases; ²CTC: capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0; baixa: ≤ 5,0); ³ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27, baixa: < 27); ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável; ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50).

Os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e P⁵⁺ são altos no horizonte superficial A1. Nos horizontes subjacentes, os teores tendem a ser baixos em profundidade, indicando que a adubação aplicada ainda não fez efeito nas camadas mais profundas. O teor de Na⁺ é baixo em todo o perfil solo e, portanto, livre de caráter sódico ou solódico.

A utilização desta classe de solo para o cultivo de espécies vegetais apresenta maiores restrições pela baixa fertilidade química natural nos horizontes subsuperficiais, devido à acidez muito alta do solo, teores baixos de matéria orgânica e baixa atividade de argila, comprometendo a retenção de cátions no solo.

3.6. UM 6 - Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico (PVd3)

Este perfil está inserido em uma área de campo nativo com relevo suave ondulado a ondulado, localizado no terço médio da encosta, com 5 a 6% de declive, à 30°42'58,15" de latitude Sul e 52°38'06,23" de longitude Oeste de Greenwich e a 335 m de altitude. No local não há presença de Pedregosidade e

rochoso, sem erosão aparente, por estar inserido em uma área com terreno bem drenado.

O perfil representativo desta classe de solo apresenta sequência de horizontes A, Bt e C, em que os horizontes A e B são divididos em A1, A2 e Bt1, Bt2 devido a variações observadas na textura, cor e estrutura do solo. Este perfil está situado em uma área de relevo suave ondulado, com cor vermelha (matizes 2,5YR e 10R) indicativa de boa drenagem do solo (Figura 13).



Figura 12. Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico - PVd3 e sua posição na paisagem.

Esta classe de solo, tem como material de origem gnaíse, composto por quartzo, feldspato potássico e biotita, originando solo predominantemente com textura franco-argilo arenosa a argila (Tabela 17), não havendo aumento acentuado de argila entre o horizonte A e B suficiente para definir o horizonte B textural (relação textural B/A igual a 1,34). O horizonte diagnóstico superficial é A moderado, por não apresentar características especiais de outros horizontes diagnósticos superficiais (EMBRAPA, 2013).

Tabela 17. Morfologia do Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico (PVd3) identificado na propriedade.

¹ Hor	Profundidade	Transição	Cor	Textura	Estrutura	Consistência
PVd3						
	0 - 9/13 cm;		5YR 4/4 (úmida);	franco argilosa;	moderada/forte, média, angular,	moderada, pequena, granular; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
A2	9/13 - 31/39 cm;		2,5YR 3/4 (úmida);	franco arenosa a franco argilosa;	existência de linha de cascalho entre o primeiro e segundo horizonte; moderada/forte, grande, blocos subangulares; friável; plástica e ligeiramente pegajosa.	
Bt1	31/39 - 50/54 cm;		2,5YR 3/6 (úmida);	argila; moderada/forte, pequena/média, blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica e pegajosa.		
Bt2	50/54 - 77/86 cm;		10R 4/8 (úmida);	argila; cerosidade comum e moderada; moderada/forte, média/grande, blocos subangulares; firme; plástica e pegajosa.		
BC	77/86 - 103 cm;		10R 5/6 (úmida);	franco argilosa; moderada/forte, média/pequena, blocos subangulares; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.		
C	103 - 120+ cm;		10R 4/4 (úmida);	franca; maciça que se desfaz em blocos subangulares; friável/muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.		

¹Hor: Horizontes do perfil do solo.

Apesar de não ter aumento acentuado de argila de A para B em profundidade, o horizonte diagnóstico subsuperficial é classificado como B textural, por ter estrutura em blocos de grau moderado e cerosidade comum e moderada no horizonte Bt2, que indica iluviação expressiva de argilas (EMBRAPA, 2013). O valor de uniformidade entre horizontes é menor que 0,60, indicando que os horizontes foram formados a partir de um mesmo material de origem (Tabela 18).

Tabela 18. Atributos físicos dos perfis representativos do solo Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico (PVd3)

Hor.	Prof. cm	Cascalho %	AT ¹	AG ²	AF ³	Silte	Argila	GF ⁴
						-----g kg ⁻¹ -----		
PVd3								
A1	0-9/13	0	540	330	210	200	260	15
A2	9/13-31/39	0	500	290	210	150	350	20
Bt1	31/39-50/54	8	350	210	140	220	430	63
Bt2	50/54-77/86	0	300	160	140	310	390	97
BC	77/86-103	13	300	190	110	290	410	90
C	103-120+	0	440	250	190	320	240	88
Hor.	Prof. cm	Silte/Argila	VU ⁵	CO g kg ⁻¹	Ds g cm ⁻³	Ma -----	Mi cm ³ cm ⁻³	Pt -----
PVd3								
A1	0-9/13	0,77	-0,35	17,00	1,35	0,074	0,439	0,513
A2	9/13-31/39	0,43	-0,27	13,00	1,60	0,053	0,369	0,422
Bt1	31/39-50/54	0,51	-0,39	8,20	1,65	0,049	0,381	0,430
Bt2	50/54-77/86	0,79	0,33	4,10	-	-	-	-
BC	77/86-103	0,71	0,03	2,80	-	-	-	-
C	103-120+	1,33	-	0,80	-	-	-	-

¹Hor: Horizonte do perfil do solo; ²Prof: profundidade; ³AT: areia total; ⁴AG: Areia Grossa; ⁵AF: Areia Fina; ⁶GF: Grau de Flocculação; ⁷VU: Valor de Uniformidade; ⁸MOS: Matéria Orgânica do Solo; ⁹Ds: Densidade do Solo; ¹⁰Ma: Macroporosidade do solo; ¹¹Mi: Microporosidade do solo; ¹²Pt: Porosidade Total do Solo.

Os dados da Tabela 19 indicam que a classe de solo tem pH médio no horizonte A1, sendo muito ácido nos demais horizontes. O pH em KCl é menor que o valor de pH em água, indicando o predomínio de cargas negativas em todos os horizontes do solo. O teor de Al³⁺ é alto no horizonte Bt, chegando a 90% dos sítios de troca, porém não suficiente para caráter alumínico. A CTC é média nos horizontes A e Bt, e baixa em BC e C. Em geral, há baixa disponibilidade de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, à exceção do horizonte A1. O teor de Na⁺ é baixo em todos os solos e, portanto, livre de caráter sódico ou solódico.

Tabela 19. Atributos químico dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico (PVd3)

Hor.	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	¹ S	Al ³⁺
				----- cmol _c kg ⁻¹ -----					
PVd3									
A1	0-9/13	5,5	4,5	2,8	1,5	0,02	0,19	4,5	0,0
A2	9/13-31/39	4,8	3,9	1,2	0,7	0,02	0,12	2,0	1,9
Bt1	31/39-50/54	4,5	3,8	0,4	0,2	0,01	0,07	0,7	3,5
Bt2	50/54-77/86	4,6	3,8	0,2	0,1	0,01	0,05	0,4	3,5
BC	77/86-103	4,6	3,9	0,2	0,1	0,01	0,04	0,4	3,7
C	103-120+	4,7	4,0	0,1	0,1	0,01	0,03	0,2	3,5
Hor.	Prof. cm	H+Al	² CTC	³ ATA	P ⁵⁺	N	⁵ m	⁶ PST	⁷ V
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----			mg dm ⁻³		----- % -----		
PVd3									
A1	0-9/13	3,3	7,8	30,00	5,5	0,14	0,00	0,3	58,00
A2	9/13-31/39	4,9	6,9	20,00	3,7	0,11	49,00	0,3	29,00
Bt1	31/39-50/54	5,4	6,1	14,00	1,5	0,07	83,00	0,2	11,00
Bt2	50/54-77/86	4,8	5,2	13,00	0,5	0,06	90,00	0,2	8,00
BC	77/86-103	4,6	5,0	12,00	0,4	0,05	90,00	0,2	8,00
C	103-120+	4,7	4,9	20,00	0,2	0,02	95,00	0,2	4,00

¹S: soma das bases; ²CTC: capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0; baixa: ≤ 5,0); ³ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27, baixa: < 27); ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável; ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50).

A baixa atividade de argila, o baixo valor Ki (dados não apresentados) e a baixíssima saturação por bases no horizonte Bt indicam o alto intemperismo desse solo e sua baixa fertilidade química natural. A utilização desta classe de solo para o cultivo de espécies vegetais apresenta alta restrição, seja pela baixa fertilidade química, devido à muito alta acidez do solo, alto teor de Al³⁺ e baixíssima saturação por bases. Como recomendação, indica-se a calagem do solo para pH em água igual a 6,0, havendo, então, a precipitação do Al³⁺ para formas hidroxiladas não trocáveis e diminuindo a atividade do alumínio em solução do solo (Mello & Perez, 2009).

O calcário dolomítico é uma boa alternativa por fornecer Ca e Mg. Além disso, a adubação com potássio e fósforo também é uma boa prática para

melhoria da fertilidade química visando ao uso agrícola. O não revolvimento e cobertura permanente do solo é essencial, porque esse solo encontra-se numa transição para relevo com maior declividade, que aumenta o risco de erosão.

3.7. UM 7 - Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PVd4)

Este perfil está inserido em uma área de com culturas anuais, em uma relevo plano, com relevo suave ondulado a ondulado, com 6 a 7% de declive, à 30°43'15,46" de latitude Sul e 52°37'44,26" de longitude Oeste de Greenwich e a 354 m de altitude. No local não há presença de Pedregosidade e rochosidade, sem erosão aparente, apesar de apresentar acumulo de água no fundo da trincheira, provavelmente em decorrência da dificuldade de infiltração de água no solo.

O perfil desta classe de solo apresenta uma sequência de horizontes A, BA e Bt, este último subdividido em Bt1 e Bt2. O aumento abrupto no teor de argila em pequena distância neste solo pode dificultar a infiltração de água no solo (Figura 14).

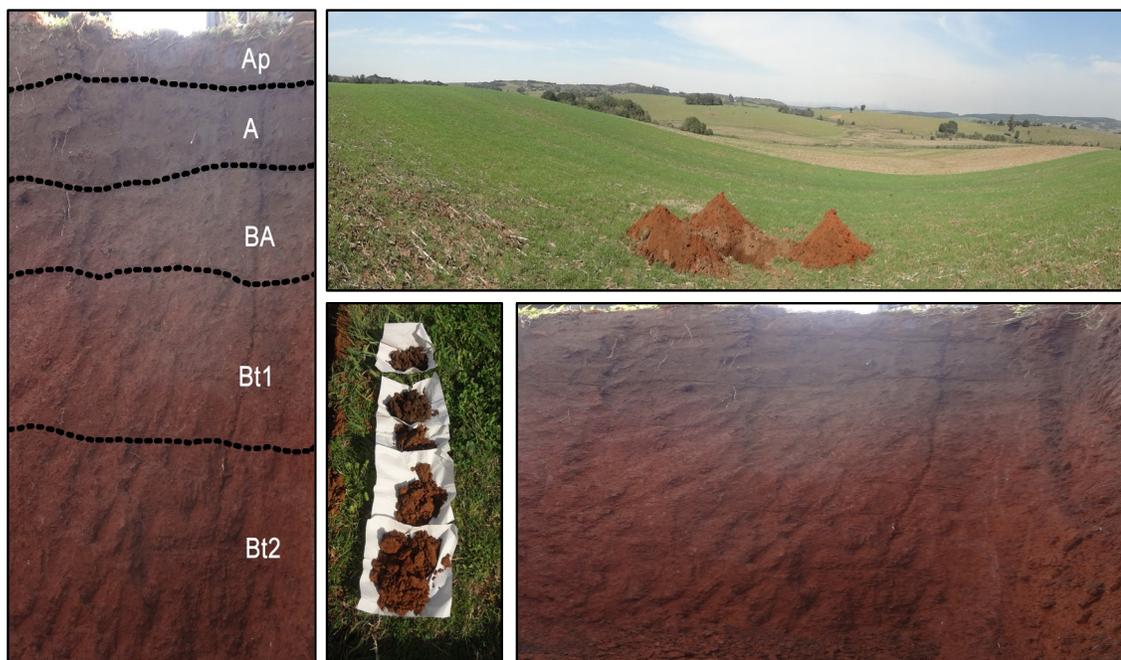


Figura 13. Argissolo Vermelho Distrófico abruptico PVd4 e sua posição na paisagem.

A principal característica desta classe de solo, oriundo de granito ou gnaisse, é a mudança textural abrupta, com aumento acentuado de argila em pequena distância ($\leq 7,5$ cm) na zona de transição entre o horizonte BA e Bt1 (Tabela 20). O aumento de argila do horizonte BA para o Bt1 é maior que 200 g kg^{-1} de solo, enquadrando este solo como abruptico no quarto nível categórico do SiBCS. Além disso, a relação de argila do horizonte B/horizonte A é suficiente para definir o horizonte diagnóstico B textural (EMBRAPA, 2013).

Tabela 20. Morfologia do Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PVd4) identificado na propriedade

¹ Hor	Profundidade	Transição	Cor	Textura	Estrutura	Consistência
PVd4						
Ap	0 - 8/12 cm; transição gradual; 10YR 3/3 (úmida); franco arenosa; moderada/forte, média, blocos subangulares, moderada, pequena, granular; firme/friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.					
A	12 - 28 cm; transição clara; 10YR 3/3 (úmida); franco arenosa; moderada, média, blocos subangulares, fraca/moderada, pequena, granular; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.					
BA	28 - 42 cm; transição clara; 7,5YR 3/3 (úmida); franco argilo arenosa; moderada, média, blocos subangulares; friável; plástica e ligeiramente pegajosa.					
Bt1	42 - 70 cm; transição gradual; 5YR 3,5/4 (úmida); franco argilosa; moderada, média, blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa;					
Bt2	70 - 120+ cm; 5YR 3/4 (úmida); franco argilosa; moderada, média, blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.					

¹Hor: Horizontes do perfil do solo.

O horizonte diagnóstico superficial é A chernozêmico, por apresentar saturação por bases maior que 65%, que pode ser atribuído ao acúmulo de calagem do solo utilizado no vinhedo. Além disso, apresenta croma ≤ 3 , estrutura suficientemente desenvolvida, conteúdo de carbono orgânico $\geq 6 \text{ g kg}^{-1}$ e menor que 80 g kg^{-1} (EMBRAPA, 2013). O valor de uniformidade do solo é menor que 0,60 em todos os horizontes, afastando a possibilidade de descontinuidade do material de origem (Tabela 21).

Tabela 21. Atributos físicos dos perfis representativos do solo Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd4)

Hor.	Prof. cm	Cascalho %	AT ¹	AG ²	AF ³	Silte	Argila	GF ⁴ %
PVd4								
Ap	0-8/12	0	510	350	160	290	200	20
A	0-8/12-28	0	470	320	150	270	260	15
BA	28-42	0	390	290	100	200	410	10
Bt1	42-70	0	260	190	70	120	620	87
Bt2	70-120+	0	230	150	80	210	560	86

Hor.	Prof. cm	Silte/Argila	VU ⁵	CO g kg ⁻¹	Ds g cm ⁻³	Ma cm ³	Mi cm ³	Pt
PVd4								
Ap	0-8/12	1,45	-0,02	20,00	1,48	0,118	0,320	0,438
A	0-8/12-28	1,04	0,27	12,00	1,45	0,123	0,315	0,438
BA	28-42	0,49	0,03	8,80	1,41	1,131	0,315	1,446
Bt1	42-70	0,19	-0,48	7,70	-	-	-	-
Bt2	70-120+	0,38	-	5,00	-	-	-	-

¹Hor: Horizonte do perfil do solo; ²Prof: profundidade; ³AT: areia total; ⁴AG: Areia Grossa; ⁵AF: Areia Fina; ⁶GF: Grau de Flocculação; ⁷VU: Valor de Uniformidade; ⁸MOS: Matéria Orgânica do Solo; ⁹Ds: Densidade do Solo; ¹⁰Ma: Macroporosidade do solo; ¹¹Mi: Microporosidade do solo; ¹²Pt: Porosidade Total do Solo.

O solo tem pH em água alto nos horizontes Ap e A, médio em BA, indicando a interferência da calagem realizada na correção da acidez do solo e extinção do efeito fitotóxico do Al³⁺ onde o perfil foi amostrado (Tabela 22). O pH em KCl é menor que o valor de pH em água, indicando o predomínio de cargas negativas em todos os horizontes do solo. A CTC do solo é média em todo o perfil do solo e o teor de matéria orgânica é médio no horizonte Ap, sendo baixo nos demais horizontes. A saturação por bases é menor que 50% no horizonte Bt, indicando o caráter distrófico no terceiro nível categórico.

A alta saturação por bases nos horizontes Ap, A e BA é resultado da calagem com cálcio e magnésio e adubação potássica, havendo altos teores destes elementos. O teor de P⁵⁺ alto em superfície indica a adubação com este elemento, havendo teores baixo e muito baixo nos demais horizontes. Como o fósforo apresenta baixa mobilidade, sua disponibilidade é reduzida nas camadas mais profundas, porque o insumo é aplicado em superfície na cultura da videira.

O teor de Na^+ é baixo em todo o solo e, portanto, livre de caráter sódico ou solódico.

Tabela 22. Atributos químico dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd4)

Hor.	Prof. cm	pH H_2O	pH KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	^1S	Al^{3+}
				----- $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----					
PVd4									
Ap	0-8/12	6,6	5,9	5,3	2,0	0,03	0,60	7,9	0,0
A	0-8/12-28	6,4	5,9	5,7	2,0	0,02	0,35	8,1	0,0
BA	28-42	5,9	5,0	3,3	2,1	0,02	0,17	5,6	0,0
Bt1	42-70	4,8	3,8	1,5	1,2	0,02	0,22	2,9	2,8
Bt2	70-120+	4,8	3,8	0,8	0,8	0,02	0,16	1,8	2,6
Hor.	Prof. cm	$\text{H}+\text{Al}$ ----- $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----	^2CTC	^3ATA	P^{5+} mg dm^{-3}	N	^5m	^6PST	^7V
PVd4									
Ap	0-8/12	0,9	8,8	44,00	25,8	0,16	0,00	0,3	90,00
A	0-8/12-28	1,1	9,2	35,00	7,9	0,09	0,00	0,2	88,00
BA	28-42	3,1	8,7	21,00	2,3	0,08	0,00	0,2	64,00
Bt1	42-70	5,1	8,0	13,00	1,1	0,08	49,00	0,3	36,00
Bt2	70-120+	4,6	6,4	11,00	1,3	0,07	59,00	0,3	28,00

^1S : soma das bases; ^2CTC : capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0; baixa: $\leq 5,0$); ^3ATA : atividade da fração argila (alta: ≥ 27 , baixa: < 27); ^5m : saturação por alumínio; ^6PST : porcentagem de sódio trocável; ^7V : saturação por bases (eutrófico: ≥ 50 ; distrófico: < 50).

A utilização desta classe de solo para o cultivo de espécies vegetais apresenta baixa restrição de fertilidade química na superfície (cerca de 40 cm de profundidade), pois não há deficiência de nutrientes cálcio, magnésio e potássio. Novas doses de calcário não são recomendadas nessa classe de solo, pois o pH próximo a 6,5 reduz a disponibilidade de micronutrientes como boro, zinco e cobre na superfície. O solo encontra-se coberto com vegetação e não revolvido, e assim deve-se manter para evitar o risco de erosão hídrica em virtude do aumento abrupto de argila do horizonte A para o B.

3.8. UM 8 - Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd5)

Este perfil está inserido em uma área com vinhedo implantado a 10 anos, localizado no terço médio da encosta, ocupa uma área de transição de relevo suave ondulado a ondulado, com declividade entre 7 e 8% de declividade, à 30°43'08,00" de latitude Sul e 52°38'24,33" de longitude Oeste de Greenwich e a 328 m de altitude. No local não há presença de Pedregosidade e rochosoidade, apresenta erosão laminar ligeira, apesar de apresentar terreno com drenagem boa a moderada.

O perfil representativo desta classe de solo apresenta uma sequência de horizontes A, AB, BA e Bt, oriundo de granito ou gnaisses, apresentando cor vermelha e ao gradiente textural acentuado (Figura 15).

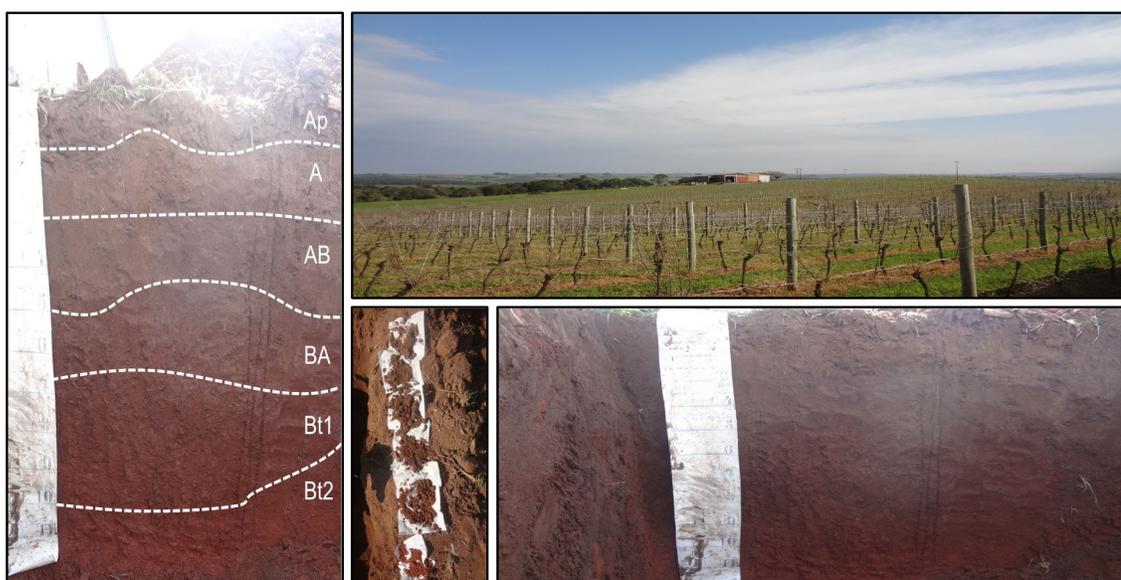


Figura 14. Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico PVd5 e sua posição na paisagem.

O horizonte Bt inicia a 62/70 cm e se estende a mais de 120 cm, apresentando subdivisão em Bt1 e Bt2, em função da variação na cor, textura e consistência (Tabela 23). A presença do horizonte diagnóstico subsuperficial B textural indica aumento acentuado de argila (relação textural B/A igual a 2,17) do horizonte A para o B (EMBRAPA, 2013).

O horizonte diagnóstico superficial é A proeminente, por ter espessura ≥ 25 cm, valor e croma ≤ 4 , saturação por bases $< 65\%$, conteúdo de carbono orgânico de 6 a menos que 80 g kg^{-1} e está dentro do limite caracterizado pela média ponderada de argila. Estas características enquadram o solo como úmbrico no quarto nível categórico do SiBCS (EMBRAPA, 2013).

Tabela 23. Morfologia do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd5) identificado na propriedade

Hor	Profundidade	Transição	Cor	Textura	Estrutura	Consistência
PVd5						
Ap	0 - 10/16 cm;	transição clara;	7,5YR 3/3 (úmida);	franco argilosa;	moderada,	grande, laminar, moderada, pequena, granular, moderada, média, blocos subangulares; plástica e ligeiramente pegajosa.
A	10/16 - 28 cm;	transição gradual;	5YR 3/2 (úmida);	franco argilosa;	moderada,	pequena, granular, moderada, média, blocos subangulares; plástica e ligeiramente pegajosa.
AB	28 - 42/50 cm;	transição gradual;	5YR 3/2 (úmida);	franco argilo arenosa;	moderada, grande, blocos subangulares, moderada, média/pequena, granular;	plástica e ligeiramente pegajosa.
BA	42/50 - 62/70 cm;	transição gradual;	5YR 3/3 (úmida);	franco argilo arenosa;	moderada, média, blocos subangulares;	ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa,
Bt1	62/70 - 83/100 cm;	transição clara;	5YR 3/4 (úmida);	franco argilosa com cascalho,	moderada, média, blocos subangulares;	ligeiramente plástica e pegajosa.
Bt2	83/100 - 120+ cm;	2,5YR 4/6 (úmida);	argila cascalhenta;	moderada, média,	blocos subangulares;	ligeiramente plástica e pegajosa.

¹Hor: Horizontes do perfil do solo.

Apesar do alto teor de argila nos horizontes Bt1 e Bt2, a textura com cascalho dificulta a sua moldabilidade, sendo ligeiramente plástico em consistência molhada (Tabela 24). A capacidade do solo aderir-se aos dedos (pegajosidade) aumenta com o teor de argila do solo. O valor de uniformidade do solo é menor que 0,60 em todos os horizontes, afastando a possibilidade de descontinuidade do material de origem.

Tabela 24. Atributos físicos dos perfis representativos do solo Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd5)

Hor.	Prof. cm	Cascalho %	AT ¹	AG ²	AF ³	Silte	Argila	GF ⁴ %
						-----g kg ⁻¹ -----		
PVd5								
Ap	0-10/16	0	570	430	140	230	200	10
A	10/16-28	0	520	380	140	220	260	15
AB	28-42/50	0	450	330	120	230	320	50
BA	42/50-62/70	0	340	270	70	170	490	80
Bt1	62/70-83/100	11	270	220	50	130	600	90
Bt2	83/100-120+	13	260	210	50	140	600	80
Hor.	Prof. cm	Silte/Argila	VU ⁵	CO g kg ⁻¹	Ds g cm ⁻³	Ma	Mi	Pt ----- cm ³ cm ⁻³ -----
PVd5								
Ap	0-10/16	1,15	-0,09	15,00	1,53	0,099	0,382	0,481
A	10/16-28	0,85	-0,10	11,00	1,26	0,086	0,495	0,581
AB	28-42/50	0,72	0,19	9,30	1,35	0,074	0,522	0,596
BA	42/50-62/70	0,35	0,09	8,20	-	-	-	-
Bt1	62/70-83/100	0,22	-0,09	6,20	-	-	-	-
Bt2	83/100-120+	0,23	-	4,50	-	-	-	-

¹S: soma das bases; ²CTC: capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0; baixa: ≤ 5,0); ³ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27, baixa: < 27); ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável; ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50).

A acidez do perfil do solo varia de ácido a muito ácido, em que o pH apresenta valores menores que 5,5. O pH em KCl é menor que o valor de pH em água, indicando o predomínio de cargas negativas em todos os horizontes do solo (Tabela 25). O baixo pH favorece o alto teor de Al³⁺, apresentando no horizonte Bt1 teor de alumínio ≥ 4 cmol_c kg⁻¹ de solo, saturação por Al³⁺ ≥ 50% e atividade de argila < 20 cmol_c kg⁻¹ de argila, suficiente para definir o caráter alumínico. Porém, por não satisfazer esta condição na maior parte do horizonte B, o solo não se enquadra nesta característica para classificação taxonômica. A baixa atividade de argila indica estágio moderado a avançado de intemperismo, com predomínio de caulinita e óxidos de ferro e menor quantidade de argilominerais 2:1.

A CTC é média e a saturação por bases é menor que 50%, indicando o caráter distrófico. Em geral, os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, P⁵⁺ são baixos a muito baixos em todo o perfil. O teor de K⁺ varia de alto a baixo. O teor de Na⁺ é baixo em todo o solo e, portanto, livre de caráter sódico ou solódico. O teor de matéria orgânica é baixo em todo o perfil do solo.

Tabela 25. Atributos químico dos perfis representativos do Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (PVd5)

Hor.	Prof. cm	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	¹ SB	Al ³⁺
				----- cmol _c kg ⁻¹ -----					
PVd5									
Ap	0-10/16	5,3	4,8	2,0	0,8	0,01	0,17	3,0	0,6
A	10/16-28	4,6	3,9	1,0	0,5	0,02	0,13	1,7	1,6
AB	28-42/50	4,4	3,8	0,5	0,2	0,02	0,10	0,8	2,4
BA	42/50-62/70	4,5	3,8	0,5	0,2	0,02	0,11	0,8	3,6
Bt1	62/70-83/100	4,5	3,7	0,7	0,5	0,02	0,11	1,3	4,3
Bt2	83/100-120+	4,5	3,7	0,6	0,3	0,02	0,12	1,0	3,7

Hor.	Prof. cm	H+Al	² CTC	³ ATA	P ⁵⁺	N	⁵ m	⁶ PST	⁷ V
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----			mg dm ⁻³	----- % -----			
PVd5									
Ap	0-10/16	3,1	6,1	31,00	12,7	0,12	17,00	0,2	49,00
A	10/16-28	4,5	6,2	24,00	5,1	0,09	48,00	0,3	27,00
AB	28-42/50	5,0	5,8	18,00	1,8	0,08	75,00	0,3	14,00
BA	42/50-62/70	6,2	7,0	14,00	0,8	0,08	82,00	0,3	11,00
Bt1	62/70-83/100	5,7	7,0	12,00	0,7	0,08	77,00	0,3	19,00
Bt2	83/100-120+	5,0	6,0	10,00	0,8	0,06	79,00	0,3	17,00

¹S: soma das bases; ²CTC: capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0; baixa: ≤ 5,0); ³ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27, baixa: < 27); ⁴C: carbono orgânico; ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável; ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50).

A utilização deste solo para o cultivo de espécies vegetais apresenta alta restrição quanto a baixa fertilidade química natural, devido à acidez muito alta do solo, alto teor de Al³⁺, baixos teores de matéria orgânica e baixa atividade de argila, comprometendo a retenção de cátions no solo. É altamente recomendado o seu não revolvimento e manutenção de cobertura permanente do solo (a presença de gradiente textural acentuado em relevo mais declivoso favorece a erosão do solo). O acúmulo de fitomassa residual melhora a CTC do solo. Para o uso agrícola, recomenda-se a calagem com calcário dolomítico para a correção da acidez excessiva e do alto teor de Al³⁺, e emprego da adubação fosfatada e potássica pela melhor resposta das culturas.

3. Conclusões

As unidades de mapeamento do Vinhedo da Chandon estão de acordo com o padrão encontrado para as principais classes de solos encontrados na microrregião da Serra do Sudeste ideais para o cultivo de videiras para a elaboração de espumantes;

Em geral, são solos profundos (profundidade > 1 m). Os solos menos profundos (contato com fragmento de rocha ou rocha semi-intemperizada) são o Argissolo Vermelho (PVd1), o Cambissolo Háptico (CXd1) localizado em relevo ondulado, e o Gleissolo Háptico (GXd) por ter horizonte maciço a menos de 0,5 m de profundidade;

Os solos têm drenagem boa a moderada, à exceção do Gleissolo localizado na posição mais baixa do relevo;

Os Argissolo apresentaram gradiente textural acentuado (grande aumento de argila do horizonte A para o B) característicos dessa classe, que contribui para o aumento da densidade do solo e da microporosidade, em profundidade, favorecendo o armazenamento de água nos períodos de chuva prolongada;

As análises químicas indicaram que os solos são moderadamente a altamente intemperizados, com teores de matéria orgânica médios a baixos, pH em água ácido, baixa atividade de argila, baixa CTC e baixa saturação por bases (caráter distrófico) no horizonte B e C, o que configura uma baixa fertilidade química natural dos solos, principalmente nos solos PVd3, CXd1 e CXd2);

As sucessivas correções superficiais dos solos PVd2 e PVd4 promoveram alterações nas características do horizonte superficial, além de anular o efeito do Al^{3+} fitotóxico e fornecendo nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P^{5+} em teores adequados para a cultura da videira.

CAPÍTULO II - ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS EM UM VINHEDO COMERCIAL NA SERRA DO SUDESTE DO RIO GRANDE DO SUL

1. Introdução

Nas últimas décadas a expansão da vitivinicultura gaúcha deve-se basicamente a exploração de outras regiões que apresentam *Terroir* satisfatório à produção de uvas viníferas destinadas à elaboração de vinhos finos, tais como os espumantes. As atividades agrícolas nessas novas áreas são facilitadas pelo terreno pouco acidentado, o que facilita o uso de insumos que visem o aumento ou manutenção da fertilidade do solo nos vinhedos.

Entende-se por fertilidade do solo a capacidade que o mesmo tem de em disponibilizar nutrientes em quantidades adequadas e balanceadas para o normal crescimento e desenvolvimento da plantas cultivadas e que apresenta ainda boas características físicas e biológicas, está livre de elementos tóxicos, encontra-se em local com fatores climáticos favoráveis (Lopes & Guilherme, 2007) e apresenta uma relação direta com o material de origem dos solos.

A região da Serra Gaúcha, maior polo de produção de uvas do país, apresenta predominância da rocha basáltica, o que originou solos rasos, com textura média a argilosa, ácidos e com teor médio ou alto de matéria orgânica, conferindo-lhes alta capacidade de fornecimento de N, com teores baixos de P e ricos em minerais primários, o que lhes confere uma alta disponibilidade de K. Por outro lado, outras regiões produtoras, como a Campanha e a Serra do Sudeste do Rio Grande do Sul, com predomínio de rochas graníticas, apresentam solos com textura arenosa a argilosa, naturalmente ácidos, com baixos teores de matéria orgânica e baixa fertilidade natural, motivo pelo qual é necessária uma adubação criteriosa com N, P e K e micronutrientes, como o boro (Brunetto, 2008; Giovaninni & Manfroi, 2009).

Os critérios primordiais para o qualidade das uvas finas está fundamentada em uma correção da acidez do solo, com a pratica da calagem, visando atingir pH 6,0 considerado ideal para a cultura (Mello, 2002; CQFS-RS/SC, 2004; Grant, 2010), contribuindo para o fornecimento de cálcio e magnésio, incremento da capacidade de troca de cátions (CTC) e conseqüentemente a saturação por bases (V%), além de alterar a disponibilidade de micronutrientes e reduzir os teores de Al e Mn trocáveis (Prado, 2004; Caíres, 2004). Entretanto, tanto a calagem quanto a adubação realizada nos vinhedos do Sul do Brasil, muitas vezes não usam os critérios de predição com base nas análises de solo. Dentre os problemas relacionados com excesso de adubação em vinhedos, está o uso indiscriminado de N, P e K e de pesticidas a base de Cu e Zn, que resultam no desequilíbrio nutricional às plantas.

O excesso de N torna a videira muito vigorosa, prolongando o período de crescimento vegetativo e retardando o amadurecimento dos frutos (Hilbert et al., 2003). Este quadro leva à formação de bagas aquosas e moles, à redução da fertilidade de gemas e ao maior sombreamento, formando cachos menores e com maior acidez. O P em excesso, promove o aumento da acidez do mosto, reduz o teor de suco da polpa e pode induzir à deficiência de Fe e Zn (Fregoni, 1980). Em relação ao K, o seu excesso provoca dessecamento da ráquis, pela menor absorção de Ca, além de antecipar a entrada do repouso vegetativo e retardar a

retomada da atividade vegetativa da planta no ciclo seguinte, bem como promover a deficiência de Mg (Tagliavini et al., 1996).

Os vinhedos do Sul do Brasil, exigem uma grande demanda de fungicidas a base de cobre e/ou zinco, uma vez que as plantas são muito sensíveis a alta pluviosidade, umidade relativa do ar e temperaturas encontrados nessa região, principalmente durante o ciclo produtivo (Tonietto, 2007; Jermini et al., 2010; Couto et al., 2015; Ambrosini et al., 2016). Com isso, ao longo dos anos pode ocorrer o incremento dos teores de Cu e Zn, especialmente nas camadas mais superficiais do solo. Isso porque, o solo normalmente não é revolvido e o Cu e Zn são complexados aos grupos funcionais da matéria orgânica e também adsorvidos aos grupos funcionais de argilominerais (Casali et al., 2008; Toselli et al., 2009; Nogueirol et al., 2010; Fernández-Calviño et al., 2012).

Quando em excesso no solo, o Cu e o Zn pode causar modificações na morfologia e anatomia de raízes, que resultará em redução na absorção de nutrientes causando deficiência nutricional nas plantas e que pode ser diagnosticado pela análise de tecidos foliares (Broadley et al., 2007; Pavlíkova et al., 2008; Kopittke et al., 2009; Toselli et al., 2009; Chen et al., 2013).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do manejo na qualidade química do solo de um vinhedo comercial, em áreas com 4, 9 e 16 anos de manejo após o plantio de videira da variedade *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir para a elaboração de espumantes.

2. Material e Métodos

2.1. Característica do local de estudo

O estudo foi desenvolvido em um vinhedo comercial, destinado à elaboração de espumantes, localizado no município de Encruzilhada do Sul. Os dados referentes às características edafoclimáticas, histórico de plantio e manejo do vinhedo estão descritos no Capítulo I desta Tese, intitulado "*Classificação taxonômica de solos em um vinhedo comercial na Serra do Sudeste do Rio Grande do Sul*". Para este Capítulo II foram realizados amostragens do solo em

três áreas com diferentes anos de condução após o plantio das mudas (Figura 16).

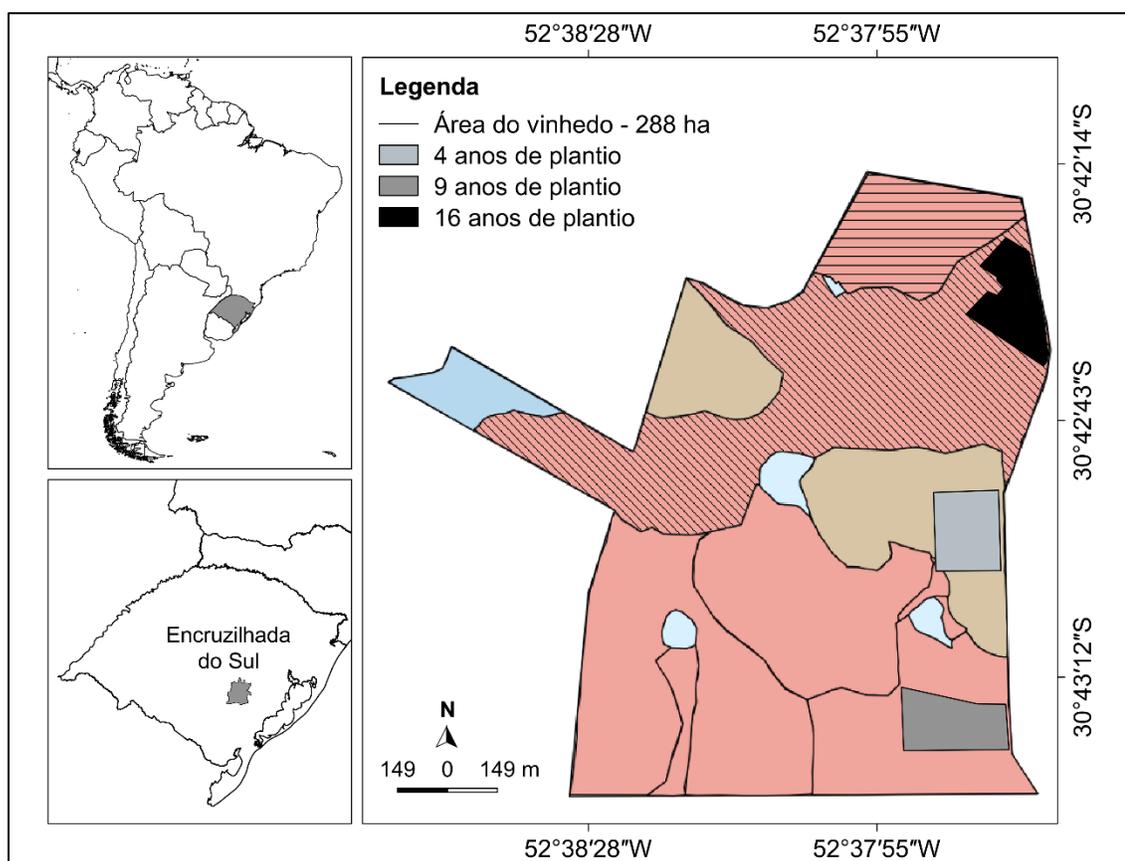


Figura 15. Localização do município de Encruzilhada do Sul e identificação das áreas avaliadas no vinhedo.

As áreas de estudo apresentam as seguintes características, em que os atributos texturais encontram-se na Tabela 26:

4 anos de plantio: área total de 6,10 ha, com total de 118.788 plantas, cultivadas sobre um Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico, situada a 30°43' 01.48" S e 52°37' 42.74" W de Greenwich e 346 m de altitude;

9 anos de plantio: área total de 5,13 ha, com 15.800 plantas, cultivadas sobre um Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico, situada a 30°43' 16.25" S e 52°37' 44.64" W de Greenwich e 353 m de altitude;

16 anos de plantio: área total de 5,76 ha, com 17.850 plantas cultivadas sobre um Argissolo Vermelho Distrófico típico, situada a 30°42' 29.48" S e 52°37' 54.79" W de Greenwich e 335 m de altitude.

Tabela 26. Distribuição granulométrica, classificação textural e densidade de partículas das áreas com diferentes anos de cultivo após o plantio das videiras

Profundidade (cm)	Areia Total g kg ⁻¹	Silte	Argila	Classificação textural	Dp g cm ⁻³
4 anos					
0-10	171	706	123	Franco-siltosa	2,50
10-20	196	647	157	Franco-siltosa	2,49
20-30	231	575	193	Franco-siltosa	2,53
30-40	107	596	297	Franco-argilo-siltosa	2,50
40-50	109	547	343	Franco-argilo-siltosa	2,53
50-60	145	418	437	Argilo-siltosa	2,54
9 anos					
0-10	139	651	210	Franco-siltosa	2,47
10-20	147	633	220	Franco-siltosa	2,51
20-30	104	656	240	Franco-siltosa	2,48
30-40	125	618	257	Franco-argilo-siltosa	2,53
40-50	87	516	397	Argilo-siltosa	2,50
50-60	78	462	460	Argilo-siltosa	2,46
16 anos					
0-10	202	711	87	Franco-siltosa	2,47
10-20	226	677	97	Franco-siltosa	2,52
20-30	213	597	190	Franco-siltosa	2,52
30-40	253	554	193	Franco-siltosa	2,55
40-50	234	496	270	Franco-argilosa	2,55
50-60	102	575	323	Franco-argilo-siltosa	2,52

Dp = densidade de partículas do solo.

2.2. Procedimentos de avaliação dos atributos químicos do solo

Em cada local de estudo foram coletadas amostras deformadas de solo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm, com três repetições por áreas do vinhedo com diferentes anos de condução após o plantio das mudas. Procurou-se coletar amostras desde a linha de plantio até o meio da entrelinha, com dimensões demonstrada na Figura 17.

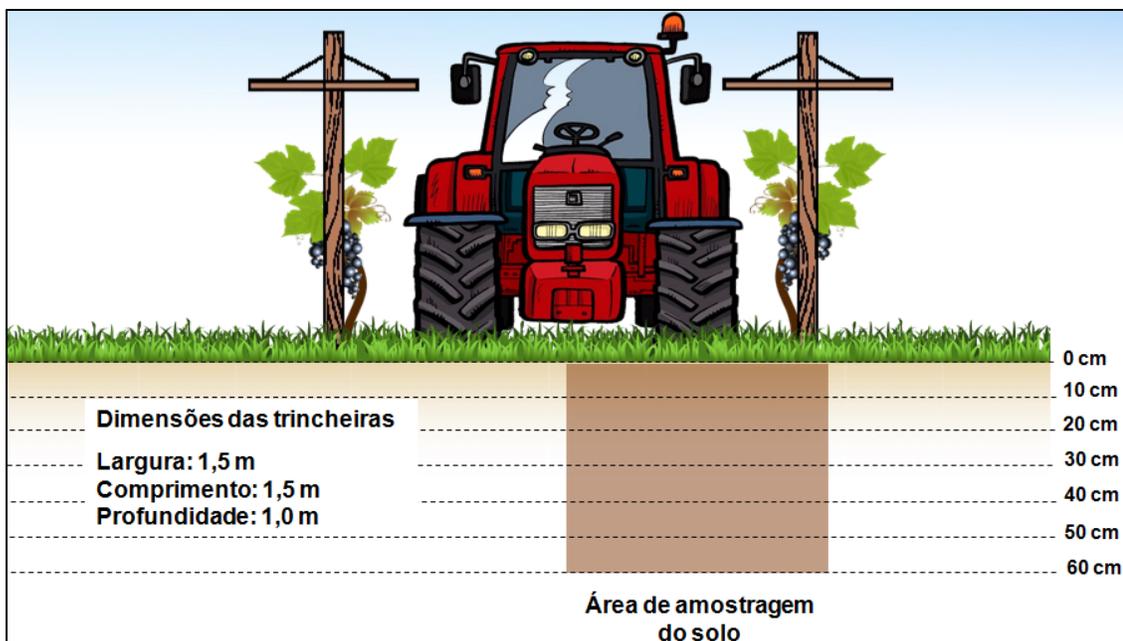


Figura 16. Esquema da posição de amostragem das amostras de solo com estrutura deformada.

As amostras foram secas ao ar e peneiradas em peneira com abertura de malha de 2mm para análise de atributos químicos do solo, de acordo com metodologias descritas por Tedesco et al. (1995). A acidez ativa do solo foi determinada em água ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) e a acidez potencial do solo ($\text{H}+\text{Al}$), por titulação, após extração com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$; a matéria orgânica (MO) foi estimada pelo teor de carbono orgânico do solo (CO), determinado pela metodologia da combustão úmida Walkley-Black modificado.

O fósforo (H_2PO_4^-) e potássio (K^+) disponíveis foram realizados por meio da extração com Mehlich-1; os teores de cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e alumínio (Al^{+3}) trocáveis foram determinados por meio da extração com cloreto de potássio (KCl a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$); o manganês (Mn), cobre (Cu^{+2}) e zinco (Zn^{+2}) foram determinados com base na extração com HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica; o boro (B) foi obtido por meio da extração com água quente e determinação por calorimetria.

A capacidade de troca catiônica do solo (CTC) foi determinada com base na soma dos cátions trocáveis do solo (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) deslocados por íons de amônia a pH tamponada em 7,0; a saturação por bases foi determinada

considerando a razão entre as bases trocáveis e a CTC a pH 7,0, e a saturação por alumínio tendo, como determinante, a relação entre o Al^{3+} e a CTC efetiva.

2.3. Análise estatística dos dados

O delineamento experimental foi em blocos casualizados num esquema de parcelas subdivididas, considerando-se os três anos de manejo após o plantio das videiras como parcelas principais (4, 9 e 16 anos) e seis profundidades como subparcelas (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm), com três repetições, totalizando 72 amostras. Os atributos químicos do solo foram submetidos à análise de variância em que a comparação das médias foi realizada por meio do teste de Tukey $p < 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados, pode-se observar que houve uma variação estatisticamente significativa ($p < 0,05$) nos atributos químicos do solo, tanto em relação aos distintos anos de condução das videiras, quanto em profundidade.

O manejo do solo, de modo geral, promoveu um incremento nos teores de cálcio trocável (Ca^{2+}_{troc}) e magnésio trocável (Mg^{2+}_{troc}) do solo, sobretudo nas áreas mais novas, 4 e 9 anos, quando comparadas a área mais antiga 16 anos de condução (Figura 18A e 18B), independentemente da profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Stöcker (2015) ao avaliar vinhedos com diferentes anos de condução na Serra Gaúcha, atribuiu os maiores teores de cálcio e magnésio trocáveis à pouca eficiência de absorção desses nutrientes pelas videiras mais novas.

De modo geral, os teores encontrados nas três épocas de condução foram considerados altos (CQFS - RS/SC, 2004), corroborando com resultados encontrados por Cassol (2008) e Mafra (2009) em vinhedos da cv. Cabernet Sauvignon na Serra Catarinense submetidos a sucessivas correções da acidez do solo, bem como a adubação fosfatada, uma vez que o cálcio, além de estar contido nos corretivos de acidez do solo, também faz parte da constituição dos

fertilizantes fosfatados. Os maiores valores de cálcio e magnésio, em profundidade nas áreas mais novas podem ser atribuídos à recente incorporação do calcário ao solo pela aração e gradagens, antes da implantação das videiras. A área com maior tempo de condução, apesar de apresentar canais de bioporos que permite a ação da neutralização em profundidade, não apresenta efeito imediato como ocorre com as áreas mobilizadas ou com pouco tempo de mobilização (Petrere & Anghinoni, 2001; Gatiboni et al., 2003; Kaminski et al., 2005).

Os valores de pH do solo que variaram de 4,20 a 6,43 (Figura 18C). A área com maior tempo de condução do vinhedo (16 anos) apresentou valores abaixo do recomendado para a cultura da videira, que é pH 6,0 (CQFS - RS/SC, 2004), quando comparada as áreas mais novas (4 e 9 anos), independentemente da profundidade.

Esses resultados podem ser atribuídos às aplicações sucessivas, no vinhedo mais antigo, de adubos nitrogenados amoniacais e de uréia no vinhedo, que muitas vezes são realizadas de forma indiscriminada, observando somente o desenvolvimento da planta. Com o processo de nitrificação ocorre a formação de dois prótons (H^+) para cada íon de NH_4^+ nitrificado (Campos, 2004; Moreira & Siqueira, 2006, Bonfim-da-Silva, 2005; Batista, 2006) que, atrelada à perda de cátions para camadas mais profundas acompanhando o ânion NO_3^- , acidifica o solo (Tisdale et al., 1993).

Resultados semelhantes foram encontrados em solos com videira 'Niagara Rosada', na região do Submédio do Vale do São Francisco (Teixeira et al. 2011) e corroboram com resultados encontrados em outras espécies perenes no Estado de São Paulo, como bananeira (Teixeira et al., 2001), coqueiro (Teixeira et al., 2005) e citros (Sanches et al., 1999) submetidas às sucessivas adubações nitrogenada à base de amônio e de uréia.

A acidez potencial ($H+Al$) do solo apresentaram valores entre 2,23 a 19,40 $cmolc\ dm^{-3}$, com incremento em profundidade, independentemente do tempo de condução dos vinhedos (Figura 18D). Em superfície, os menores valores são semelhantes aos encontrados por Tecchio et al. (2012), em vinhedos cultivados

com a cv. 'Niagara Rosada' no Estado de São Paulo em que os autores atribuíram a prática da calagem, bem como a ação da matéria orgânica do solo (MO) aos valores encontrados para a acidez potencial do solo.

A calagem atua disponibilizando cátions básicos que, por efeito da MO, são retidos na fase sólida do solo, reduzindo sua lixiviação e, conseqüentemente, a acidificação potencial na superfície de solos tropicais e subtropicais (Sá & Lal, 2009; Martins, 2013; Rampim et al., 2013). Entretanto, em profundidade (abaixo dos 20 cm), os valores de acidez potencial encontrados podem ser prejudiciais por estar acima do limite considerado crítico ao desenvolvimento radicular das videiras que é de $5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, principalmente nas áreas com maior tempo de condução do vinhedo.

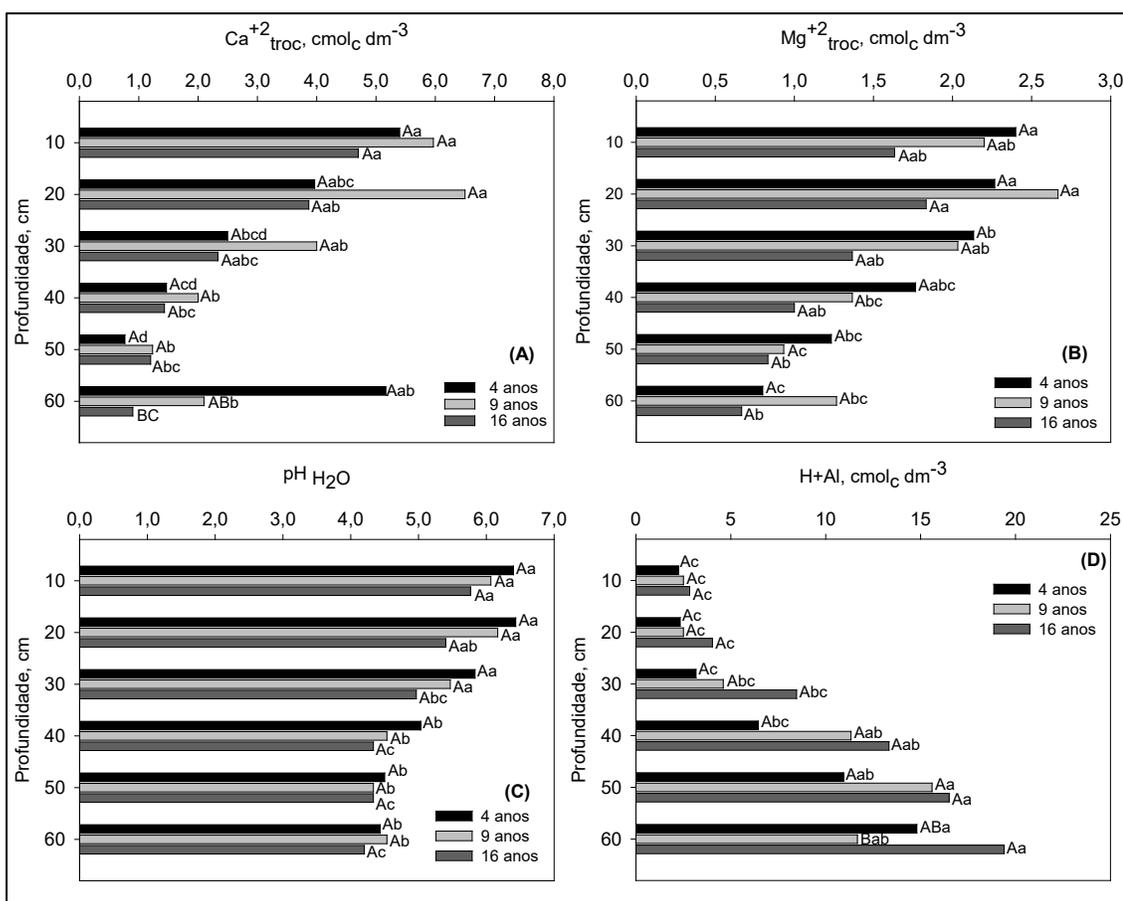


Figura 17. A: teores de cálcio trocável ($\text{Ca}^{+2}_{\text{troca}} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); B: teores de magnésio trocável ($\text{Mg}^{+2}_{\text{troca}} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); C: Acidez ativa ($\text{pH H}_2\text{O}$); D: acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$), das áreas em estudo. (Letras maiúsculas = anos após o plantio; letras minúsculas = profundidade; Tukey $p < 0.05$).

A matéria orgânica (MO) apresentou valores entre 13 a 29 g kg⁻¹, com maiores teores encontrados nas camadas superficiais do solo (Figura 19A). Feitosa (2011) encontrou resultados semelhantes nos primeiros 10 cm de profundidade de um vinhedo comercial na região do São Francisco/BA, enquanto que Stöcker (2015) verificou maiores valores nos primeiros 20 cm de profundidade em quatro vinhedos cultivados por agricultores familiares no Rio Grande do Sul. Ambos os autores atribuíram esse teor de MO à deposição de fitomassa cultural residual proveniente do manejo da própria videira, cultivos de entrelinhas e plantas espontâneas na camada superficial do solo.

A área com 16 anos de cultivo após o plantio das videiras apresentam menores teores de MO, em relação as áreas mais novas, que é atribuído aos sucessivos manejos das linhas e entrelinhas de plantio das videiras, com controle químico e mecânico das plantas de cobertura. Reinert et al. (2006) afirmam que o preparo e manejo do solo favorece as trocas gasosas, criando um ambiente oxidativo que, associado à redução da proteção física de fragmentos orgânicos dentro de agregados, resulta em rápido declínio do teor matéria orgânica.

De modo geral, os valores de MO encontrados estão abaixo do valor de 30 g kg⁻¹, considerado ideal para qualidade das uvas viníferas (Flores, 2013), especialmente relacionado à disponibilidade mais adequada de nitrogênio (N). Acima desse valor ocorre a complexação de micronutrientes, além do acúmulo de umidade do solo que pode contribuir para o maior vigor da planta, inclusive na época de maturação dos frutos, contribuindo para a redução da concentração de açúcar, antocianinas e compostos polifenóis devido ao deslocamento de assimilados para ramos e folhas mais novos (Brunetto et al., 2007, Spigolon, 2002).

O teor de enxofre (S-SO₄), aumento em profundidade, em todos os anos de manejo após o plantio das videiras, com maiores valores observados a partir dos 30 cm de profundidade (Figura 19B). Dentre os fatores relacionados ao acúmulo de enxofre em profundidade, o pH torna-se um dos principais controladores da disponibilidade e movimentação do SO₄⁻² no solo, sobretudo nos

solos oxídicos, que apresentam cargas variáveis dependentes de pH (Casagrande et al., 2003).

Práticas de manejo, tais como a calagem favorecem a formação de cargas negativas na superfície dos óxidos de Fe e Al e nas argilas silicatadas, devido a desprotonação dos grupos hidroxilas, diminuindo a adsorção de SO_4^{-2} na camada arável. Deste modo, mais SO_4^{-2} permanece livre na solução do solo e o excedente pode ser facilmente lixiviado para os horizontes subsuperficiais, o que pode significar perda, caso ocorram altas precipitações pluviométricas (Alvarez, 2004). Outro fator importante para a concentração do enxofre em profundidade é o teor de argila presente nos solos estudados, que aumentam em profundidade, além disso, essas argilas são classificadas como de baixa atividade, como demonstrado no Capítulo I desta Tese e com isso apresentam grande quantidade de grupamento -OH ionizáveis.

Ao observar a variação dos teores de enxofre entre as três épocas de manejo após o plantio das videiras, pode-se observar que as áreas com 9 e 16 anos apresentaram maiores valores, em relação a área com 4 anos, sobretudo a partir dos 30 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram observados em um vinhedo da cv. "Niagara Rosada" sobre Latossolo Vermelho distrófico, textura arenosa no Paraná (Blum, 2008), em que o autor ao avaliar o efeito da correção do solo com gesso agrícola após 8 e 20 meses de aplicação, observou um maior acúmulo do enxofre na segunda época de avaliação, principalmente nos 60 cm de profundidade.

Quaggio et al., (1993) ao estudar o efeito da associação do gesso agrícola com o calcário em um Latossolo Vermelho, observou que após 6 meses de correção, praticamente todo sulfato aplicado ao solo estava concentrado a 60 cm de profundidade, e após 18 meses praticamente todo sulfato havia sido lixiviado para profundidades maiores que 60 cm. Esse aumento na velocidade de lixiviação com as sucessivas aplicações de enxofre ao longo dos anos de manejo do vinhedo, após o plantio das videiras, pode ser devido à saturação de adsorção de sulfato no perfil do solo e conseqüente aumento da concentração do ânion em solução, facilitando sua lixiviação (Blum 2008).

Concomitantemente, a um mesmo valor de pH o fosfato é adsorvido em maior quantidade pelos óxidos de ferro que o SO_4^{-2} , indicando a grande afinidade e força da ligação do fosfato com o ferro (Parfit & Smart, 1978). Nesse estudo o teor de fósforo disponível ($\text{H}_2\text{PO}_4^{-\text{disp.}}$) no solo variou de 1,17 a 38,33 mg dm^{-3} , com maiores valores observados nos primeiros 10 cm de profundidade, sobretudo nas áreas com 9 e 16 anos, onde apresentaram 72% e 68% do teor total de fosforo disponível, enquanto que a área com 4 anos de cultivo apresentou 37% do total de fósforo disponível nessa mesma profundidade (Tabela 19C).

Resultados semelhantes foram encontrados por Mello et al., (2012) ao avaliar o acúmulo de fosforo em um vinhedo comercial com 14 e 30 anos de cultivo, em que os autores encontraram maiores teores de fósforo nos primeiros 5 cm de profundidade, atribuíram os resultados encontrados à aplicação de fertilizantes fosfatados na adubação de manutenção, realizada na superfície do solo e sem incorporação, durante o ciclo das videiras. Além disso, por apresentar pouca mobilidade no solo, a sua lixiviação é mínima. No entanto, pode ser removido das áreas pelo processo erosivo, em especial nas mais declivosas e sem cobertura vegetal (Novais & Smyth, 1999).

Os valores de Potássio disponível ($\text{K}^{\text{disp.}}$), variaram entre médio a alto (CQFS - RS/SC, 2004), com os maiores teores encontrados nas áreas com 9 e 16 anos de cultivo (Figura 19D). Foi observado comportamento semelhante ao encontrado para o teor de fósforo, em que a adubação potássica durante os anos de cultivo do vinhedo e realizada sem incorporação resultou no acúmulo desse nutriente nos primeiros 10 cm de profundidade, corroborando com resultados encontrados por Dalla Rosa et al., (2009), em um vinhedo com 28 anos de plantio, na Serra Gaúcha e por Luciano (2012) ao avaliar a variabilidade de nutrientes em solo cultivado com videira na Serra Catarinense.

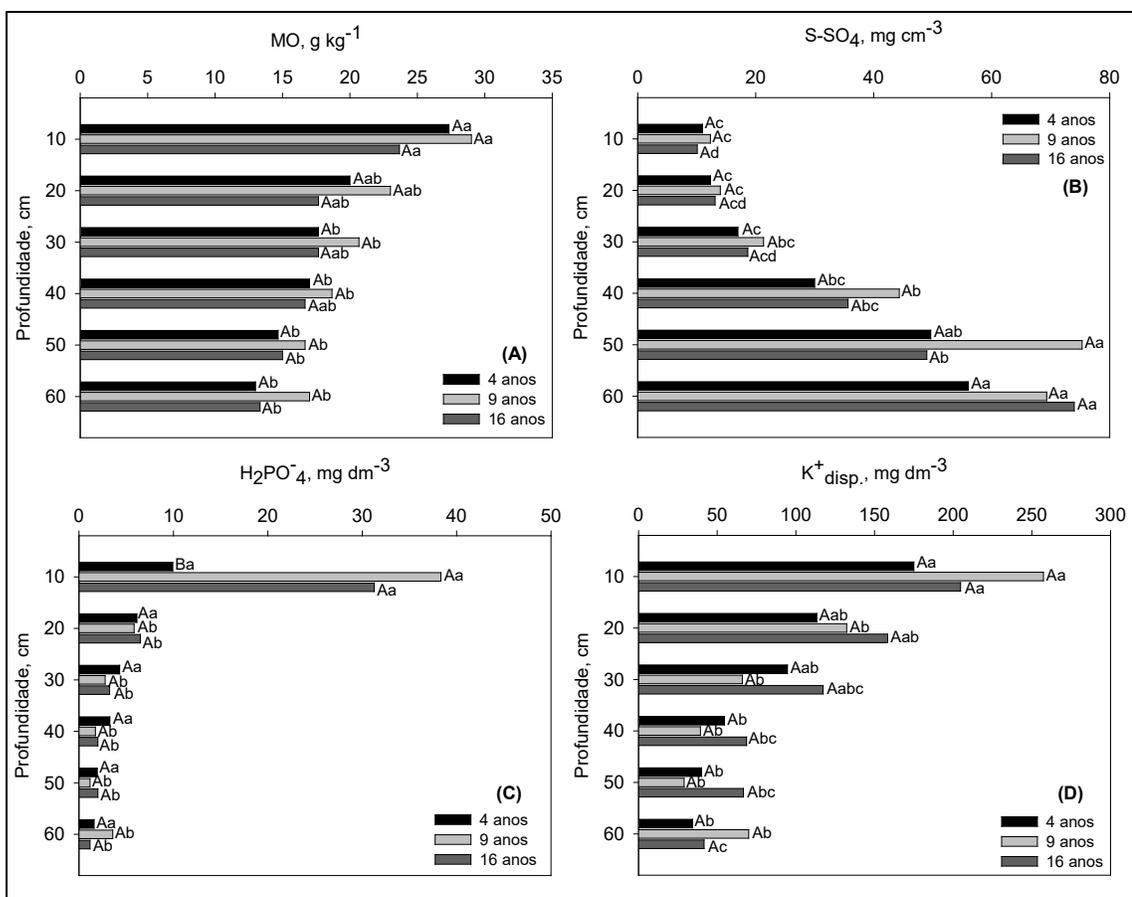


Figura 18. A: matéria orgânica (MO) e B: enxofre (S-SO₄) do solo das áreas em estudo C: Teores fósforo disponível (H₂PO₄⁻_{disp}); D: potássio disponível (K⁺_{disp}). (Letras maiúsculas = anos após o plantio; letras minúsculas = profundidade; Tukey p < 0.05).

De acordo com Oliveira et al., (2002), a calagem favorece a manutenção do teor de K⁺_{disp} na camada superficial do solo, pois aumenta a CTC efetiva e reduz as perdas por lixiviação. Entretanto, a depender do teor de potássio no solo e da intensidade de precipitação pluviométrica, este elemento pode movimentar-se para as camadas subsuperficiais por fluxo de massa decorrente da percolação de água em obediência à força gravitacional, que é maior que o movimento horizontal desse nutriente no solo (Ernani et al., 2002; Ernani et al., 2007).

A acidez trocável (Al³⁺_{troc}), apresentaram valores que variaram de 0 a 4,30 cmolc dm⁻³, com menores valores observados nos primeiros 30 cm de profundidade, que as área mais novas, 4 e 9 anos de condução após o plantio apresentaram os menores valores, quando comparadas a áreas de 16 anos

(Figura 20A). Esses resultados podem ser atribuídos tanto à prática da calagem, quanto ao maior teor de matéria orgânica encontrada nas áreas mais novas e são semelhantes aos encontrados por (Blum, 2008) ao analisar o efeito da correção do solo após 8 e 20 meses de aplicação de gesso agrícola e por Stöcker (2015), ao avaliar o efeito da calagem em vinhedos com distintas épocas de condução após o plantio.

O aumento no pH, após a aplicação de corretivos, promove a precipitação Al^{3+} na forma de $Al(OH)_3$, que começam a ser observados em valores de pH 5,5, enquanto que a MO na camada superficial do solo contribui para a complexação do Al^{3+} , devido a presença de grupos funcionais que contêm oxigênio, tais como o carboxílico e o fenólico (Pavan, 1983; Volkweiss, 1989; Kinraide, 1991; Vance et al, 1987). Entretanto, nas camadas subsuperficiais, abaixo dos 30 cm, os solos das três áreas estudadas apresentaram altos teores de Al^{+3}_{troc} que podem dificultar a produtividade das videiras, uma vez que em valores superiores a $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ o alumínio trocável é considerado tóxico devido a inibição da divisão celular das raízes tornando-as mais curtas e grossas causando menor absorção de água e de nutrientes, afetando o desenvolvimento da parte aérea (Malavolta et al., 1980; Pavan et al, 1982; Ritchey et al, 1982).

Como consequência da redução dos teores de Al^{+3}_{troc} , as áreas estudadas apresentaram valores de saturação por alumínio (m%) variando de 0 a 72%, com os menores valores encontrados nos primeiros 30 cm de profundidade, sobretudo nas áreas mais novas, 4 e 9 anos de cultivo após o plantio, em comparação com a área com 16 anos (Figura 20B).

Isso ocorre uma vez que, com a prática da calagem, os sítios de troca catiônica foram ocupados por bases trocáveis, aumentando, simultaneamente, o pH do solo e a saturação por bases e concomitantemente, reduzindo os valores de saturação por alumínio (Quaggio, 2000; Carballo, 2004, Nicolodi 2008).

Ao observar os resultados de Saturação por bases (V%), as áreas avaliada apresentaram valores que variaram de 8 a 79%, com os maiores valores encontrados nos primeiros 30 cm de profundidade, sobretudo nas áreas mais novas, 4 e 9 anos de cultivo após o plantio, em comparação com a área com 16

anos (Figura 20C). Resultados semelhantes foram encontrados em vinhedos de *Vitis labrusca* da cv. 'Niágara Rosada', no município de Ponta Grossa no Paraná (Blum, 2008) e da cv. 'Bordô' no município de Pelotas-RS (Stöcker, 2015), ambos ao analisarem a fertilidade do solo em diferentes épocas de condução das videiras.

Esses resultados podem ser atribuídos à aplicação de carbonatos de cálcio e magnésio, além de fertilizantes que contem esses nutrientes em sua constituição, que além de contribuir para a correção da acidez superficial do solo, também foi responsável pelo aporte de $\text{Ca}^{+2}_{\text{troc}}$ e $\text{Mg}^{+2}_{\text{troc}}$ nos primeiros 30 cm, sobretudo nas áreas mais novas, (4 e 9 anos), resultando no aumento da soma de bases e conseqüentemente, a saturação por bases.

A capacidade de troca de cátions do solo ($\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$) apresentou, de modo geral, valores dentro da faixa recomendada para a cultura da videira (3 a 15 cmolc dm^{-3}), com os maiores valores observados nos primeiros 30 cm de profundidade (Figura 20D), principalmente nas áreas com 4 e 9 anos de condução após o plantio das videiras. Esses resultados corroboram com os encontrados por Mafra et al., (2011) em vinhedos cultivados com viníferas da cv. "Cabernet Sauvignon" na Serra Catarinense.

Os maiores valores de CTC em superfície, sobretudo nas áreas mais novas (4 e 9 anos) estão relacionados com os maiores teores de MO encontrados nesses locais. Ronquim et al. (2010) destaca que, de acordo com a natureza do argilomineral (1:1 ou 2:1), a CTC pode variar de 30 a 2.000 cmolc kg^{-1} , enquanto que a MO, normalmente presente em menor quantidade, apresenta CTC cerca de cinco vezes maior que àquela das argilas, podendo também apresentar grande variação em função do peso molecular dos grupos $-\text{COOH}^-$. Alguns autores relacionam como vantagens promovidas pela MO, o aumento dos teores de cálcio (Ca) e potássio (K), promovendo, dessa forma, um incremento de até 90% da CTC do solo (Kiehl, 1985; Theodoro et al., 2003).

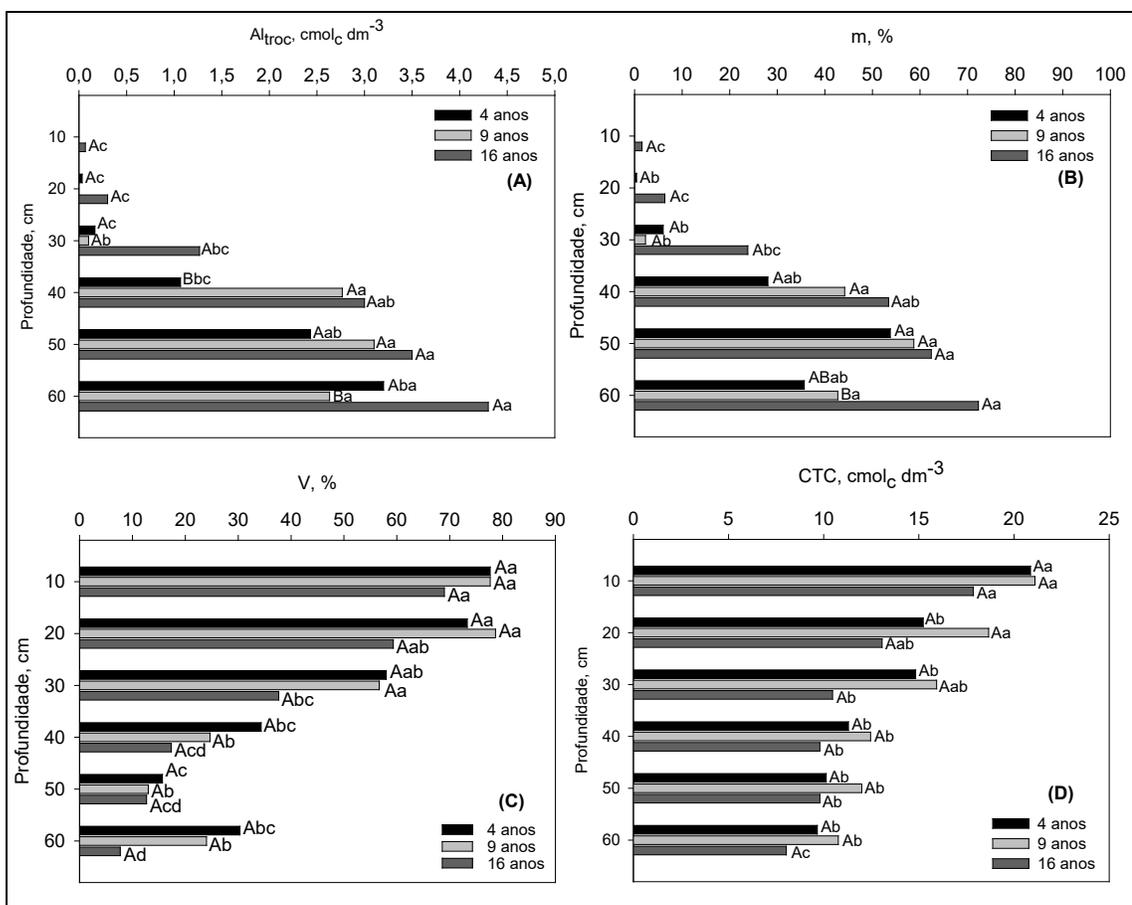


Figura 19. A: Teor de alumínio trocável (Al^{3+}_{disp}); B: saturação por alumínio (m); C: Saturação por bases (V) e D: capacidade de troca de cátions (CTC) do solo das áreas de estudo. (Letras maiúsculas = anos após o plantio; letras minúsculas = profundidade; Tukey $p < 0.05$).

Os teores de cobre (Cu^{2+}) encontrados no solo são considerados médios a altos (CQFS - RS/SC, 2004), em todas as áreas de estudo (Figura 21A), com maiores valores nos primeiros 10 cm, sobretudo na área com 16 anos de plantio, seguido da área com 9 e 4 anos de plantio. Esses resultados podem ser atribuído às sucessivas aplicações de fungicidas cúpricos para tratamento fitossanitário no vinhedo (Casali et al., 2008).

Altas concentrações de Cu^{2+} foram observadas nas camadas superficiais de um vinhedo com 130 anos na França, que apresentou uma concentração de 1.500 mg kg^{-1} de Cu^{2+} (Flores-Veles et al., 1996). Comportamento semelhante foi observado em outros países, como a Índia, com concentração entre 29-131 mg

kg^{-1} de Cu^{+2} (Prasad et al., 1984) e Austrália, com 11-320 mg kg^{-1} de Cu^{2+} (Merry et al., 1983). Deluise et al. (1996) observaram acúmulo de cobre (300 mg kg^{-1}) em solo cultivado com videira na Itália e no Brasil. Mirlean et al. (2007) encontraram teores de cobre maiores que 3.000 mg kg^{-1} , na região Sul do país.

Na região de Bento Gonçalves-RS, onde a contaminação por cobre é bastante elevada, foram encontrados valores de concentração de cobre variando entre 211 e 1504 mg kg^{-1} , em áreas de vinhedos onde os solos são ricos em ferro. Nas áreas onde os solos eram arenosos, quando comparados com os Argissolos e os solos ricos em ferro, a concentração de cobre foi mais baixa, variando de 36 a 689 mg kg^{-1} . Concentrações extremamente altas excedendo 3000 mg kg^{-1} de Cu, tem sido documentadas por Mirlean et al. (2007), em solos Argilosos de vinhedos do Brasil.

De acordo com Da Costa (2009), a concentração de Cu^{2+} na camada superficial do solo é associada à sua baixa mobilização no solo provavelmente devido à interação com a matéria orgânica. O Cu^{2+} possui alta afinidade com os grupos funcionais da matéria orgânica (S, N, grupos carboxílicos e fenólicos), aumentando sua complexação em superfície e, conseqüentemente, reduzindo sua distribuição e adsorção nas camadas subsuperficiais do perfil do solo (Croué et al., 2003; Casali et al., 2008; Mantovani, 2009). Além disto, como observado por Wehtwick et al. (2006), as concentrações mais altas de Cu foram observadas nas amostras de solos de dentro da linha de cultivo, comparado à amostras das entrelinhas.

O zinco (Zn^{2+}) apresentou comportamento semelhante ao Cu, com acúmulo em superfície (Figura 21B), principalmente na área mais antiga (16 anos), quando comparada com as mais novas (9 e 4 anos), devido às aplicações sucessivas de fungicidas, que além de cobre contém zinco em sua formulação. Resultados semelhantes foram encontrados em outros vinhedos de longa duração (Weingerl & Kerin, 2000; Alleoni et al., 2003; Chaignon & Hinsinger; 2003; Chaignon et al., 2003; Gaw et al., 2006; Ramos, 2006; Da Costa, 2009; Stöcker, 2015).

O acúmulo desse elemento em superfície é atribuído à maior afinidade de ligação aos grupos funcionais da fase sólida mineral do solo, podendo também

estar ligado aos grupos funcionais da fase orgânica (Fernández-Calviño et al., 2012; Brunetto, 2013), e dos maiores valores de pH e capacidade de troca de cátions (CTC) em superfície, fazendo com que o Zn^{+2} seja fortemente adsorvido pelos colóides do solo, dificultando a lixiviação desse elemento em profundidade (Weingerl & Kerin, 2000; Chaignon & Hinsinger, 2003).

De modo geral, o boro (B) apresentou valores entre 0,50 a 1,50 $mg\ dm^{-3}$ que, de acordo com CQFS - RS/SC (2004), são considerados como altos para a cultura da videira. Os maiores valores foram encontrados na área com 9 anos de condução após o plantio, seguida da de 4 e 16 anos (Figura 21C), independentemente da profundidade, corroborando com resultados encontrados por Tecchio et al. (2012) em vinhedo com diferentes anos de condução no Estado de São Paulo.

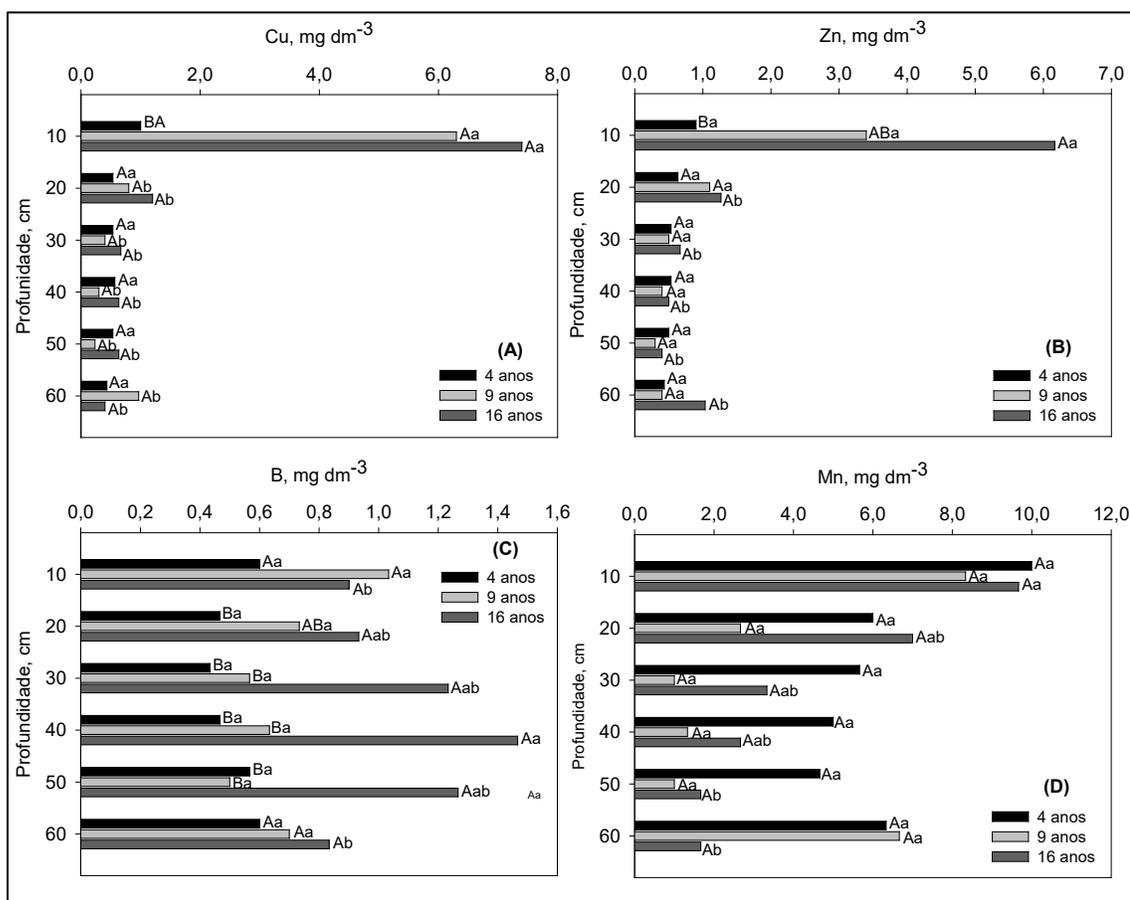


Figura 20. A: Teores de cobre (Cu^{+2}); B: Zinco (Zn^{+2}); C: boro (B) e D: manganês (Mn) do solo das áreas em estudo. (Letras maiúsculas = anos após o plantio; letras minúsculas = profundidade; Tukey $p < 0.05$).

Os maiores teores de boro na área com 9 anos de condução após o plantio das videiras pode estar associada ao maior teor de MO nesse local novas (Bot e Benites, 2005; Abreu et al., 2007; Dechen e Nachtigall, 2007). A MO, além de conter boro em sua constituição, contribui para a adsorção da forma mineral desse elemento aplicado ao solo, por intermédio das suas cargas positivas (Valladares, 1999). Em profundidade, os valores de boro encontrados em todos os locais avaliados, deve-se a fácil lixiviação desse elemento no solo.

O manganês (Mn), de modo geral apresentou valores considerados altos CQFS - RS/SC (2004), com teores variando de 1,0 a 11,0 mg dm⁻³. Os maiores valores foram encontrados nas áreas com 4 e 9 anos de cultivo após o plantio das videiras, independentemente da profundidade (Figura 21D). A disponibilidade de Mn no solo está relacionada ao potencial de oxirredução, ao teor de MO, ao equilíbrio com outros cátions, principalmente ferro, cálcio e magnésio, e principalmente, ao pH do solo (Bartlett, 1988).

4. CONCLUSÕES

As áreas em estudo apresentaram, de modo geral, variação significativa nos atributos químicos do solo;

O efeito da correção do solo pela calagem foi observado nas áreas com 4 e 9 anos, principalmente nos primeiros 30 cm de profundidade;

Houve um aumento nos teores de cálcio (Ca⁺²_{troc}) e magnésio (Mg⁺²_{troc}) e magnésio promovidos pela calagem, o que contribuiu para a redução da acidez ativa, potencial, Al e Mn trocáveis e saturação por alumínio, favorecendo o aumento na CTC e saturação por bases;

As áreas com 4 e 9 anos também apresentaram os maiores teores de matéria orgânica, quando comparadas com a área de 16 anos;

As áreas mais velhas, 9 e 16 anos apresentaram maiores teores macronutrientes e micronutrientes, principalmente nos primeiros 10 cm de profundidade, devido aos sucessivos usos durante os anos de manejo do vinhedo após o plantio das videiras.

CAPÍTULO III - ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS EM VITIVINICULTURA DA SERRA DO SUDESTE DO RIO GRANDE DO SUL

1. Introdução

A busca pelo aumento da qualidade das uvas, juntamente com a escassez de mão de obra, levaram o setor vitícola a adotar o uso intenso de maquinários, sobretudo em grandes vinícolas, para a realização de atividades que vão desde o preparo do solo para o plantio das mudas até a colheita dos frutos.

Muitas dessas atividades, quando realizadas de forma inadequada, provocam degradação nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, significando perda de qualidade e afetando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (Niero et al., 2010). Dentre os agentes de degradação do solo física, os impactos do uso e manejo convencional torna o solo vulnerável aos processos erosivos e à compactação, influenciados pelo tipo e dimensões dos pneus do trator e implementos, velocidade de operação e número de vezes que trafega sobre o mesmo local e a carga suportada pelo solo.

Embora o manejo do solo tenha influência direta, a compactação também é influenciado pela textura e pelo teor de matéria orgânica (Bernoux et al., 1998; Silva et al., 2010). A fração areia, em função do maior tamanho, permite maior permeabilidade à água e ao ar no solo, mas apresenta baixa capacidade de retenção de água sendo considerado não coesiva. A fração silte possui poros menores e mais numerosos, retendo mais água e uma menor taxa de drenagem do que a areia. A argila, em função do reduzido diâmetro, apresenta uma grande área superficial específica, o que acarreta elevada retenção de água e fluxo lento de ar e água, além de elevada pegajosidade quando úmida e alta coesão quando seca (Brady; Weil, 2008). Devido a essa característica, o solo argiloso apesar de suportar maiores pressões é mais suscetível à compactação do que solo de textura arenosa e siltosa (Reichardt e Timm, 2004; Suzuki et al., 2008).

O teor de matéria orgânica do solo também é outro atributo que influencia na compactação do solo. Solos com maiores teores de material orgânico e seus subprodutos apresentam menores valores de densidade, quer pelo efeito positivo na estabilidade estrutural do solo, quer pelo fato da matéria orgânica apresentar uma densidade menor do que as partículas minerais do solo (Dias Júnior; Miranda, 2000; Libardi, 2005; Braida et al., 2006). Krzic et al. (2003), observaram que, independentemente da textura do solo, o incremento de 1 % de carbono orgânico reduz em cerca de 11 % a densidade máxima do solo.

Dentre os atributos do solo mais estudados na avaliação da degradação física do solo estão a densidade, o tamanho e continuidade dos poros, a infiltração e retenção de água no solo e o grau de compactação (Silveira, 2001; Beutler et al., 2001; Servadio et al., 2001; Ishaq et al., 2001; Araújo et al., 2012). Conforme Schoenholtz et al. (2000), com a degradação da estrutura do solo o efeito imediato é o aumento da sua densidade, influenciada pela redução do espaço poroso, onde grande quantidade de macroporos são convertidos a microporos.

A dinâmica de água no solo é outro indicativo que reflete o uso inadequado do solo, que pode ser medido pela taxa de infiltração e retenção de água no solo. Segundo Guerra (2000), o estudo desses parâmetros é importante, pois auxiliam na definição de políticas de proteção e de conservação do solo e da água,

planejamento de sistemas de irrigação e drenagem, bem como na composição de uma imagem mais real da retenção, movimento, redistribuição e conservação da água no solo.

De acordo com Bernardo et al. (2008), a infiltração de água no solo depende diretamente da textura, podendo variar com a umidade e temperatura do solo, além da cobertura superficial. Os mesmos autores enfatizam que, no início do processo, o solo apresenta alta taxa de infiltração, que regride com o tempo até se tornar constante, sendo denominada de velocidade de infiltração básica (VIB) do solo.

Por outro lado, a retenção de água no solo é essencialmente regida por forças de capilaridade (estrutura) e adsorção (textura) e seu comportamento é representado pela relação entre o teor de água e a energia com a qual a mesma está retida no solo (Vieira, 2006). As tensões de 10 kPa e 33 kPa são equivalentes para o teor de água na capacidade da campo (CC) em solo arenoso e argilosos, respectivamente (Ruiz et al., 2003; Bernardo et al., 2008), enquanto que para o ponto de murcha permanente (PMP) é de 1.000 kPa para solo com textura arenosa e 1.500 kPa para textura argilosa (Klein et al., 2006).

Outro indicador importante para avaliar a qualidade física do solo é a densidade relativa (D_r), sendo determinada pela razão entre a densidade do solo no campo (D_s) e a densidade máxima ($D_{s\text{máx}}$) obtida em laboratório, pelo teste de Proctor ou outros métodos de compressão, sendo essa metodologia proposta para avaliar o grau compactação do solo que possa ser impeditivo ao desenvolvimento de determinada cultura, influenciado pelo teor de umidade no qual o solo atinge sua máxima compactação (Figueiredo et. al., 2016; Ferreras et al., 2001; Klein, 2006).

No Brasil

a maioria dos estudos que abordam processos envolvendo a compactação do solo está relacionada com culturas anuais e solos que são revolvidos anualmente, enquanto poucos trabalhos relatam situações de solos não revolvidos, principalmente sob culturas perenes (Reichert et al., 2007), como é o caso das videiras.

Essas culturas apresentam espaçamento fixo e, com isso, o trânsito de máquinas ocorre sucessivamente em um mesmo local nas entrelinhas. Isso pode promover alteração heterogênea na estrutura e na dinâmica da água (Lima et al., 2004; Draghi et al. 2005; Fidalski et al., 2007; Santos et al. 2014), sendo portanto, importante a avaliação dos atributos físicos do solo considerando o local de trânsito de maquinários (tráfego do rodado) e os não transitados (entre rodados e linha de plantio). Diante disso, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do tráfego de máquinas agrícolas na qualidade física do solo de um vinhedo comercial com diferentes anos de condução após o plantio das mudas.

2. Material E Métodos

2.3. Característica do local de estudo

O trabalho foi realizado em um vinhedo comercial com área total de 288 há e cultivado em uma área sobre embasamento de rochas graníticas diversificadas (Streck et al., 2008), localizada no município de Encruzilhada do Sul/RS, a 30° 31' 37" Sul, 52° 31' 6" Oeste de Greenwich e 348 m de altitude. O clima da região, de acordo com Köppen (1948), é classificado como subtropical úmido (Cfa) de verão quente, com temperatura e precipitação média anual de 17,4 °C e 1.533 mm, respectivamente.

Ocorre intenso tráfego de maquinários no vinhedo, para a realização de atividades como calagem e adubação, roçada de plantas de cobertura e espontâneas das entrelinhas, pulverizações, poda de ramos e folhas e operações de colheita. O trânsito ocorre em maior escala entre os meses de julho a dezembro, coincidindo com a época de maior demanda energética da planta.

Todas as operações agrícolas são realizadas com tratores Yanmar 55 cv, tração 4x2 com TDA e peso de 1.985 kg, sobre pneus diagonais de 18.4-30R1 no eixo traseiro e 14.9-24R1 no eixo dianteiro e com implementos que apresentam peso entre 200 a 870 kg; a depender das condições climáticas, transitam em média 120 vezes por entrelinha, por ano, principalmente nos meses de agosto a dezembro, que é o período de maior demanda de energia para o seu

desenvolvimento da cultura por ocorrer a brotação, floração e maturação dos bagos.

Antes da implantação do vinhedo, a área era cultivada com lavoura anual e mantinha áreas com campo nativo. No ano 2000 foram plantadas as primeiras mudas de *Vitis vinifera*, da cv. Pinot Noir, Chardonnay e Riesling itálico enxertadas sobre 1103 Paulsen, 101.14 e SO4 e hoje as áreas em plena produção apresentam 56 ha dispostas em um espaçamento de 2,5 m entre linhas de 1,3 m entre plantas, no sistema de condução em espaldeira. Para este estudo foram analisadas três áreas do vinhedo com diferentes anos de condução após o plantio das mudas:

4 anos de plantio: área total de 6,10 ha, com total de 118.788 plantas, cultivadas sobre um Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico, situada a 30°43' 01.48" S e 52°37' 42.74" W de Greenwich e 346 m de altitude;

9 anos de plantio: área total de 5,13 ha, com 15.800 plantas, cultivadas sobre um Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico, situada a 30°43' 16.25" S e 52°37' 44.64" W de Greenwich e 353 m de altitude;

16 anos de plantio: área total de 5,76 ha, com 17.850 plantas cultivadas sobre um Argissolo Vermelho Distrófico típico, situada a 30°42' 29.48" S e 52°37' 54.79" W de Greenwich e 335 m de altitude.

2.2. Amostragem do solo

Em cada área foram coletadas amostras deformadas e preservadas de solo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm. Para isso foram abertas trincheiras de modo que proporcionasse a coleta das amostras desde a linha de plantio até o meio da entrelinha, em três repetições por tratamento (anos de condução após o plantio das mudas).

As amostras de solo com estrutura deformada, em cada profundidade foram coletadas amostras simples, em três posições, linha de plantio (LP), rodado do trator (R) e entre rodados do trator (ER), que foram homogeneizadas para fazer uma amostra composta por profundidade. Essas amostras foram coletadas com pá de corte e utilizadas para a determinação do teor de matéria orgânica,

granulometria, densidade de partículas e densidade máxima de compactação do solo.

As amostras com estrutura preservadas foram coletadas nas mesmas profundidades das com estrutura deformada, porém procurou-se avaliar a estrutura do solo em função do manejo do vinhedo nas posições de linha de plantio (LP), rodado do trator (R) e entre rodados do trator (ER). Essas amostras foram coletadas com anel volumétrico de 102,10 cm³ e utilizadas para avaliação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e retenção de água no solo. Também nessas posições foram avaliadas a taxa de infiltração de água no solo (Figura 22).

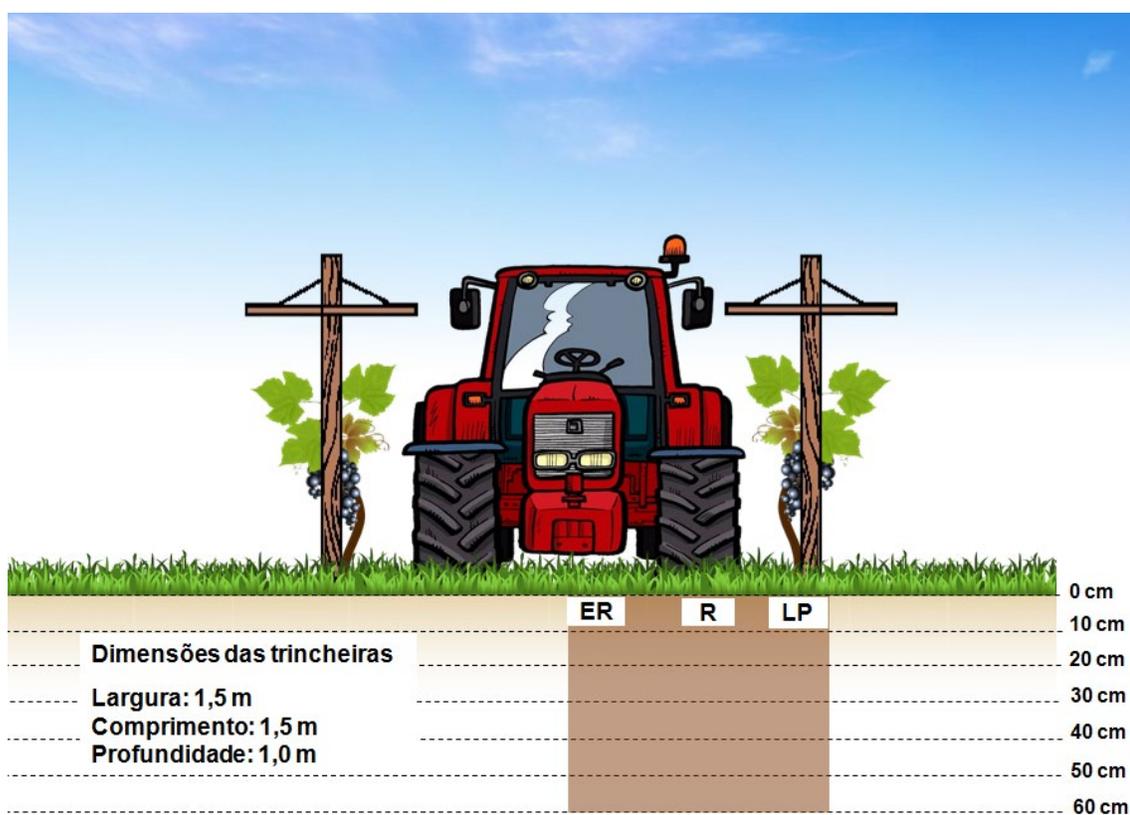


Figura 21. Posições de amostragem para coleta de amostras de solo com estrutura indeformada e análise de infiltração de água no solo.

Todas as amostras foram acondicionadas em levadas para os laboratórios de física e química do solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para as determinações dos atributos do solo.

2.3. Análises de amostras com estruturas deformada

O teor de matéria orgânica (MO) foi estimado pelo teor de carbono orgânico do solo (CO), determinado pela metodologia da combustão úmida Walkley-Black modificado, descritas por Tedesco et al. (1995). Para isso pesou-se 0,5 g de solo que foi transferido para um erlenmeyer de 500 mL e em seguida adicionado 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ 1N e 20 mL de H_2SO_4 concentrado, agitado a solução por um minuto e posterior repouso por 30 minutos. Em seguida foram adicionadas 200 mL de água destilada, 10 mL de H_3PO_4 concentrado e 1 mL do indicador difenilamina e submetida à titulação com $(NH_4)_2FeSO_4 \cdot 10H_2O$ 0,5N.

A granulometria do solo (Figura 23) foi analisada pela metodologia da pipeta (EMBRAPA, 2011) e a classificação textural foi determinada de acordo com o limite superior e inferior determinado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Para isso foram utilizados 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) que foram colocados em frasco tipo “snap-cap” e submetido à dispersão química das frações areia, silte e argila com 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por meio da agitação mecânica em agitador horizontal por 16 horas (Day, 1965).

Após esse período a fração areia (partículas entre 2,0 a 0,053 mm) foi submetida a lavagem com água destilada em peneira de 2 mm e colocadas para latas e secas em estufa à 105°C. Essa fração foi subdividida em cinco classes: areia muito grossa - AMG (partículas entre 2,0 a 1,0 mm), areia grossa - AG (partículas entre 1,0 a 0,5 mm), areia média - AM (partículas entre 0,5 a 0,25 mm), areia fina - AF (partículas entre 0,25 a 0,105 mm), areia muito fina - AMF (partículas entre 0,105 a 0,053 mm).

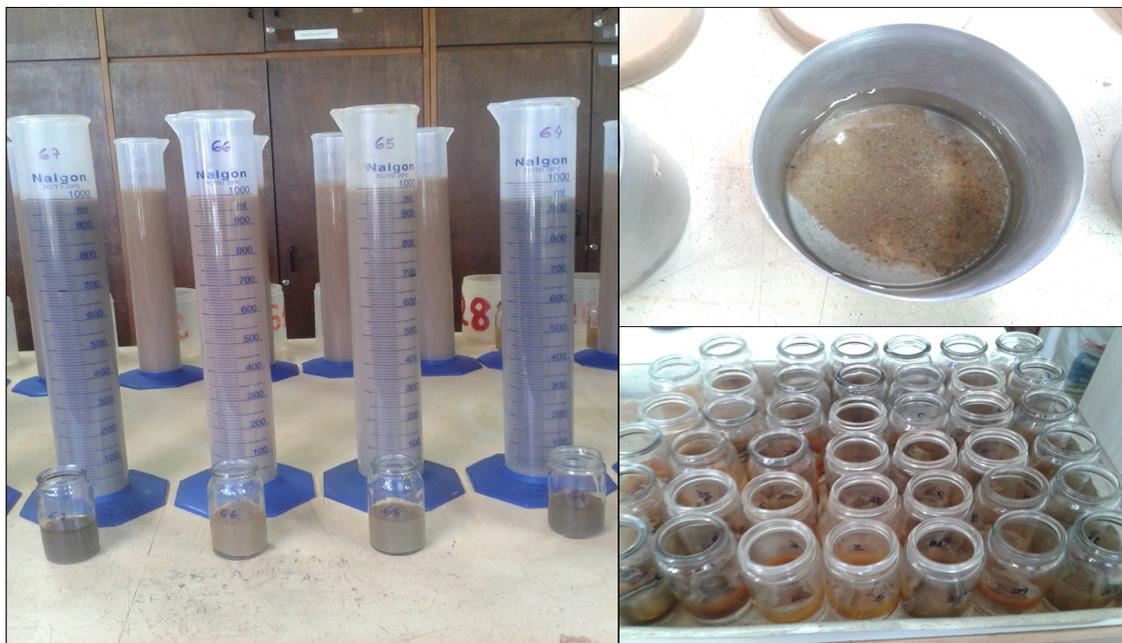


Figura 22. Determinação da granulometria do solo das áreas de estudo pelo método da pipeta.

A suspensão contendo silte e argila que passou pela peneira, foram transferidas para proveta de 1.000 mL que teve o volume completando com água destilada. A suspensão foi agitada por 30 segundos e em seguida foi obedecido o tempo de sedimentação das partículas de silte que foi determinado em razão da densidade de partícula, da temperatura das amostras e da profundidade de coleta da suspensão de argila, de acordo com lei de Stockes (1850).

A fração de argila (partículas < 0,002 mm) foi determinada com a coleta de uma alíquota de 50 mL da suspensão do solo por meio de pipeta volumétrica, a 5 cm de profundidade da proveta, colocadas em frascos tipo “snap-cap”, levadas para estufa e secas à 60°C. A fração de silte (partículas entre 0,05 a 0,002 mm) foi determinada pela diferença da fração de areia total e argila.

A densidade de partículas do solo foi determinada pela metodologia do balão volumétrico (EMBRAPA, 2011). Para isso foram utilizados 20 gramas de TFSA que foram secas em estufa a 105°C por 24 horas. Após esse período o solo foi transferido para balão volumétrico de 50 mL e adicionado 20 mL de álcool etílico 97%, com auxílio de uma bureta graduada (Figura 24).

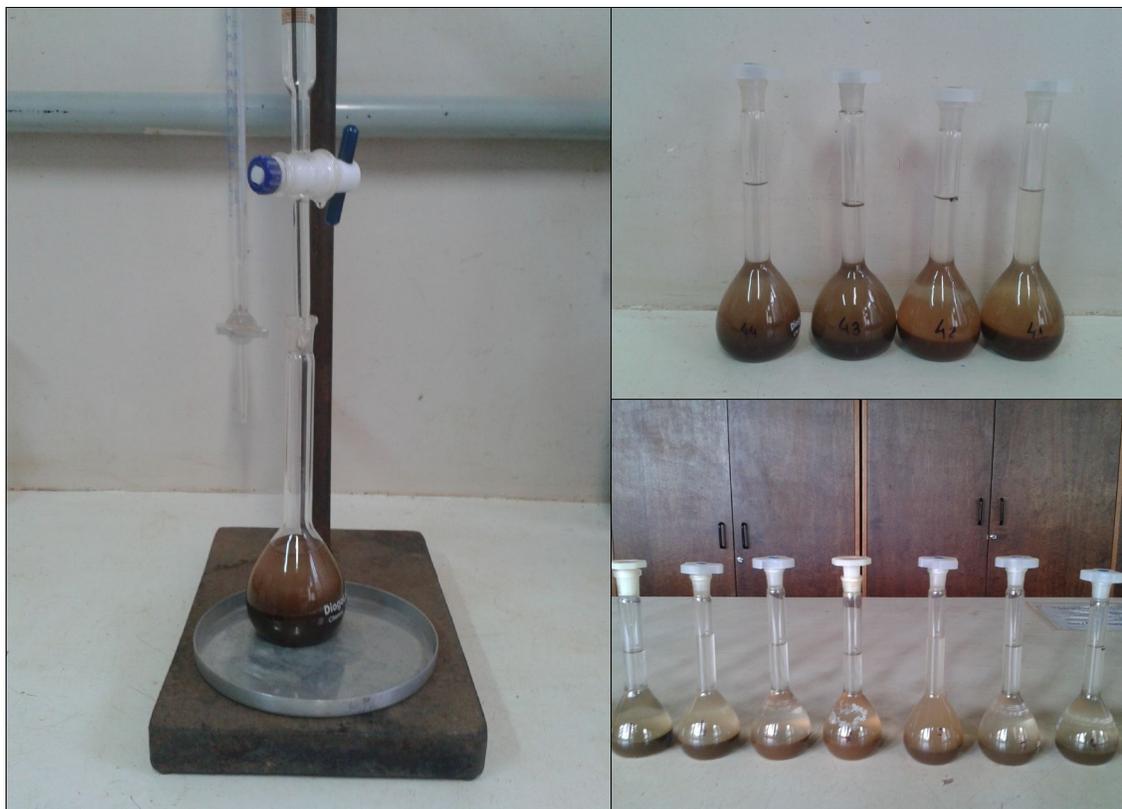


Figura 23. Determinação da densidade de partículas do solo pelo método do balão volumétrico.

Foi realizada uma agitação manual de 30 segundos visando a homogeneização e eliminação das bolhas de ar da solução que ficou em repouso por 30 segundos e em seguida completando-se o volume do balão com restante de álcool contido na bureta. De posse do volume de álcool (L) gasto, determinou-se o volume de sólidos pela equação:

$$D_p = \frac{M_{ss}}{50 - V}$$

Onde: D_p = densidade de partículas, em g cm^{-3} ; M_{ss} = massa de solo seco à 105°C , em g; V = volume do álcool em cm^{-3} .

A densidade máxima de compactação do solo foi determinada por meio do ensaio de Proctor normal (ABNT-NBR 7182/86) descrito por Klein (2014). Para isso as amostras de solo foram destorroadas, passadas em peneiras de malha de

4,76 mm e divididas em seis sub-amostras de 2,5 kg que tiveram o teor de umidade determinadas de acordo com o método da Embrapa (2011).

A primeira sub-amostra de solo foi reservada para utilização caso necessário à formação da curva de compactação. A segunda sub-amostra foi umedecida lentamente até conseguir moldá-la na mão, o que foi atingido com 250 mL de água. As demais sub-amostras foram umedecidas, sucessivamente, com 1,5% a mais de água utilizada para a segunda sub-amostra. Todas as sub-amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e deixadas em repouso por 24 horas para a adequada redistribuição da água no solo.

Após esse período as sub-amostras foram submetidas à compactação com a aplicação de uma energia de 560 kPa dentro de um cilindro metálico de 1.000 cm³ por meio de 25 golpes por camada de solo, com um soquete de 2,5 kg caindo de uma altura de deslocamento de 30,0 cm. Após cada compactação as amostras foram pesadas para a determinação da densidade máxima de compactação do solo ($D_{s\text{máx}}$) e levadas à estufa a 105°C para determinação da umidade máxima ($U_{g\text{máx}}$) de compactação do solo (Figura 25).



Figura 24. Ensaio de compactação em função da umidade do solo das áreas estudadas.

A densidade relativa do solo (D_r), para avaliar o grau de compactação do solo nos locais de amostragem nas três áreas do vinhedo com diferentes anos de condução após o plantio das mudas, foi obtida pela relação da densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$) pela densidade máxima de compactação do solo ($Mg\ m^{-3}$).

2.4. Análises de amostras com estruturas preservada

As amostras de solo com estrutura preservada (Figura 26) foram submetidas à saturadas por 48 horas em bandeja com água até dois terços da altura do anel para avaliação de atributos de solo de acordo com metodologias descritas por Embrapa (2011). Após o período de saturação as amostras foram pesadas e submetidas à sucção do conteúdo de água em mesa de tensão a 6

kPa. Após sessar a perda de água das amostras as mesmas foram retiradas da mesa de tensão, pesadas e colocadas em estufa à 105°C, até peso constante.

A diferença entre o peso da amostra saturada e após a aplicação de uma sucção de 6 kPa na mesa de tensão foi utilizada para a determinação da macroporosidade (M_a) do solo (poros com diâmetro maior que 0,05 mm), enquanto que a diferença entre o peso das amostras após a tensão de 6 kPa e o peso da amostra seca em estufa à 105°C foi utilizado para a determinação da microporosidade (M_i) do solo (poros com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm), sendo a porosidade total (P_t) do solo obtida pela soma desses dois atributos. A densidade do solo (D_s) foi determinada por meio da relação entre a massa de solo seco em estufa a 105°C e o volume do anel.



Figura 25. Amostragem de solo com estrutura preservada para análise da estrutura do solo.

O conteúdo de água no solo foi determinado após a aplicação de tensões de 6 e 10 kPa em mesa de tensão e de 30, 100, 300, 500 e 1000 kPa em câmaras de Richards (EMBRAPA, 2011). Foi utilizado o software Soil Water Retention Curve - SWRC versão 3.0 (Dourado Neto et al., 2001) para determinar os parâmetros empíricos para o ajuste da curva de retenção de água no solo de acordo com a equação de Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha|\Psi_m|)^n]^m}$$

em que: θ = conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_s = conteúdo de água do solo no estado de saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_r = conteúdo residual de água no solo, ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ψ_m = potencial matricial do solo (kPa); e os parâmetros empíricos da curva, n = reflete a forma da curva (adimensional) e α = afetado pela escala da tensão da água no solo (expresso em kPa^{-1}).

A percolação de água no solo foi avaliada “*in situ*” pela metodologia dos duplos anéis concêntricos, tendo ambos 30 cm de altura, em que o externo apresenta 50 cm de diâmetro e o interno 25 cm, os quais foram cravados no solo a 15 cm de profundidade e preenchidos com água (Figura 27). A variação da infiltração de água no cilindro interno foi medida em intervalos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 min (Bernardo et al., 2008).



Figura 26. Determinação da infiltração de água no solo. A = local de tráfego do rodado do trator; B =entre rodados do trator; C = linha de plantio das videiras.

A Infiltração acumulada de água no solo (I) em função do tempo foi determinada com base no modelo de Kostiakov (1932), descrito por Libardi (2001):

$$I = k \cdot t^n$$

em que: I = infiltração acumulada, em mm; k = constante que caracteriza o tipo de solo ($k > 0$); t = tempo de infiltração, em min; n = constante que caracteriza a umidade inicial do solo, adimensional ($0 < n < 1$).

A taxa de infiltração da água no solo ($TI = n \cdot k \cdot t^{(n-1)}$) em mm h^{-1} , foi obtida derivando-se a equação da lâmina acumulada em relação ao tempo ($TI = dI/dt$) e a média aritmética dos últimos três valores desse parâmetro resultou na taxa básica de infiltração (VIB), em mm h^{-1} .

2.5. Análise estatística dos dados

O delineamento experimental foi em blocos casualizados. Os dados de matéria orgânica, densidade de partículas e granulometria do solo foram analisadas como parcelas subdivididas, considerando-se os três anos de manejo após o plantio das videiras como parcelas principais (4, 9 e 16 anos) e seis profundidades como sub parcelas (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm), com três repetições, totalizando 72 amostras. Já os dados de densidade do solo, macro e microporosidade e porosidade total do solo foram analisados como parcelas sub subdivididas, considerando-se os três anos de manejo após o plantio das videiras como parcelas principais (4, 9 e 16 anos), três locais de amostragem como sub parcelas (ER - entre rodados, R - rodado e LP - linha de plantio) e seis profundidades como sub subparcelas (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm), em 3 repetições, totalizando 162 amostras. Todos os atributos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos na fração orgânica do solo (Tabela 27), não apresentou diferença estatística entre as áreas com distintas épocas de cultivo, apesar da área com 16 anos de cultivo apresentar os menores valores (13 a 24 g kg⁻¹) em relação as áreas com 4 anos (13 a 27 g kg⁻¹) e 9 anos (17 a 29 g kg⁻¹). Por outro lado ocorreu uma redução em profundidade, com os maiores valores observados nos primeiros 10 cm.

Como já foi discutido no Capítulo II desta Tese, em relação às épocas de cultivo, a área com 16 anos apresenta intenso controle químico e mecânico das plantas de cobertura nas linhas e entrelinhas do vinhedo. Os maiores valores de MO em superfície estão relacionados ao fato de ser uma camada com maior acúmulo material na superfície do solo, microrganismo, além da maior presença de raízes das plantas de cobertura e das raízes da videira, contribuindo para a ciclagem de nutrientes, a agregação, o armazenamento de água (Alcântara et al. 2000, Boer et al. 2007).

Quando observamos os resultados das frações minerais do solo (Tabela 1), podemos verificar que os teores de silte (418 a 711 g kg⁻¹) e argila (87 a 460 g kg⁻¹) não apresentaram diferença estatística, tanto em relação às áreas com diferentes épocas de cultivo, quanto em profundidade, apesar de haver uma redução no teor de silte e aumento do teor de argila, respectivamente.

Como verificado no Capítulo I desta Tese, o solo da área com 4 anos foi classificado como Cambissolo, já as áreas com 9 e 16 anos foram classificados como Argissolo. Essas classes de solo sofreram processo de Podzolização e acentuada translocação de argila do horizonte A para o B proporcionando a formação de horizonte subsuperficial diagnóstico Bi (B incipiente) na área com 4 anos de cultivo, que foi observado a partir dos 50 cm e com isso caracterizando essa camada como argilo-siltosa. Já as áreas com 9 e 16 anos de cultivo apresentam horizonte Bt (B textural), que foi observado a partir dos 62 cm (argilo-siltosa) e 52 cm (franco-argilo-siltosa), respectivamente.

A fração areia total (78 a 253 g kg⁻¹) apresentou diferença estatística significativa a partir dos 40 cm para as três áreas de cultivo. Ao observar a variação dessa fração, apenas a área com 16 anos de cultivo apresentou uma variação significativa, com os maiores valores observados até os 40 cm de profundidade.

Ao observar o fracionamento da fração areia, houve de modo geral uma variação estatística significativa para as classes de solo onde foram cultivados as videiras, bem como nas seis profundidades avaliadas em cada classe de solo. Os menores valores, para as classes de solo foram observados na areia fina-AF (3 a 36 g kg⁻¹). Já os maiores valores, de modo geral foi observado nas frações de areia grossa-AG (14 a 82 g kg⁻¹) e areia muito fina-AMF (20 a 55 g kg⁻¹).

Como apresentado no Capítulo I desta Tese, essas classes de solo, apesar de apresentar classificação textural que varia de franco-siltosa a argilo-siltosa, contém uma quantidade considerável de frações minerais mais grosseiras, o que favorece uma boa drenagem ao longo do perfil. Resultado antagônico foi observado por Santos et al. (2014) em Argissolo que apresentou maiores valores de fração de areia fina e muito fina, o que comprometeu a infiltração de água naquele solo.

A densidade de partículas do solo (D_p) não apresentaram diferença estatística significativa, nem em relação aos tipos de solo com distintos anos de cultivo das videiras, quando em profundidade para cada área estudada, com valores variando de 2,46 a 2,55 g cm⁻³. Esse resultado está relacionado ao fato da geologia da região onde está inserido o vinhedo apresentar rochas graníticas, originando classes de solo com predominância de argilominerais do tipo caulinita, além de quartzo e Al₂O₃ e Fe₂O₃. Giarola et al. (2002), verificaram que densidade das partículas correlaciona-se positivamente com argila, Al₂O₃ e Fe₂O₃ e negativamente com silte e areia grossa e fina. Os autores ainda consideram a D_p é uma importante informação para auxiliar a identificação dos minerais do solo.

Tabela 27. Teor matéria orgânica, distribuição granulométrica, classificação textural e densidade de partículas das áreas do vinhedo com diferentes anos de condução após o plantio das mudas

Prof. (cm)	g kg ⁻¹										Classificação textural	Dp g cm ⁻³									
	MO		AMG		AG		AM		AF				AMF	Areia Total	Silte	Argila					
4 anos																					
0-10	27	Aa	23	Aa	51	ABab	39	ABab	16	Aab	41	Aa	171	Aa	706	Aa	123	Aa	Franco-siltosa	2,50	Aa
10-20	20	Aab	15	Aa	64	ABab	49	ABa	21	Aab	47	Aa	196	Aa	647	Aa	157	Aa	Franco-siltosa	2,49	Aa
20-30	18	Ab	17	Aa	82	Aa	49	Aa	39	Aa	44	Aa	231	Aa	575	Aa	193	Aa	Franco-siltosa	2,53	Aa
30-40	17	Ab	29	Aa	26	Ab	16	Ab	9	Ab	29	Aa	107	Aa	596	Aa	297	Aa	Franco-argilo- siltosa	2,50	Aa
40-50	15	Ab	27	Aa	27	Bb	17	ABb	9	ABb	32	Aa	109	Ba	547	Aa	343	Aa	Franco-argilo- siltosa	2,53	Aa
50-60	13	Ab	24	Aa	40	Bb	26	Bab	12	ABab	37	ABa	145	ABa	418	Aa	437	Aa	Argilo-siltosa	2,54	Aa
9 anos																					
0-10	29	Aa	26	Aa	35	Ba	20	Ba	8	Aa	40	Aa	139	Aa	651	Aa	210	Aa	Franco-siltosa	2,47	Aa
10-20	23	Aab	32	Aa	41	Ba	26	Aa	11	Ba	44	Aa	147	Aa	633	Aa	220	Aa	Franco-siltosa	2,51	Aa
20-30	21	Ab	35	Aa	27	Aa	14	Aa	6	Aa	24	Aa	104	Aa	656	Aa	240	Aa	Franco-siltosa	2,48	Aa
30-40	19	Ab	33	Aa	31	Ba	18	Ba	7	Aa	38	Aa	125	Aa	618	Aa	257	Aa	Franco-argilo- siltosa	2,53	Aa
40-50	17	Ab	34	Aa	18	Ba	10	Ba	5	Ba	21	Ba	87	Ba	516	Aa	397	Aa	Argilo-siltosa	2,50	Aa
50-60	17	Ab	34	Aa	14	Ba	7	Ba	3	Ba	20	Aa	78	Ba	462	Aa	460	Aa	Argilo-siltosa	2,46	Aa
16 anos																					
0-10	24	Aa	26	Aab	70	Aa	49	Aa	20	Aa	37	Aa	202	Aab	711	Aa	87	Aa	Franco-siltosa	2,47	Aa
10-20	18	Aab	23	Ab	76	Aa	59	Aa	24	Aa	44	Aa	226	Aab	677	Aa	97	Aa	Franco-siltosa	2,52	Aa
20-30	18	Aab	25	Aab	70	ABa	54	Aa	20	ABa	42	Aa	213	Aab	597	Aa	190	Aa	Franco-siltosa	2,52	Aa
30-40	17	Aab	29	Aab	73	Aa	59	Aa	36	Aa	55	Aa	253	Aa	554	Aa	193	Aa	Franco-siltosa	2,55	Aa
40-50	15	Ab	30	Aab	58	Aab	46	Aa	31	Aa	30	Aa	234	Aa	496	Aa	270	Aa	Franco- argilosa	2,55	Aa
50-60	13	Ab	51	Aa	23	Ab	14	Ab	6	Aa	47	Aa	102	Ab	575	Aa	323	Aa	Franco-argilo- siltosa	2,52	Aa

Ao observar os resultados referentes à análise da estrutura do solo, podemos observar, de modo geral, uma diferença estatística significativa na macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), tanto em relação às três épocas de cultivo após os anos de plantio das videiras (4, 9 e 16 anos) e nos locais de amostragem entre rodado (ER), rodado (R) e linha de plantio (LP), não havendo portanto diferença significativa em profundidade (Tabela 28).

Em todos os locais em estudo (épocas de cultivo e posição de amostragem) foi observado maiores valores de Mi (0,25 a 0,75 m³ m⁻³), quando comparada com a Ma (0,05 a 0,16 m³ m⁻³). A área com 4 anos de cultivo apresentou maiores valores de Mi na posição de R, sobretudo nos primeiros 30 cm de profundidade, isso pode ser atribuído ao fato dessa área ainda sofrer efeito do revolvimento do solo, no momento do preparo para a implantação das mudas. O preparo do solo é a atividade que mais influência nos atributos físicos, uma vez que a aplicação de cargas dinâmicas por rodados e implementos agrícolas no solo produz tensões na interface solo/pneu e solo/implemento em superfície e em profundidade, compactando as diferentes camadas do solo (Horn et al., 1994; Wiermann et al., 2000; Vieira & Klein, 2007).

Ao observar os valores de Mi na área com 9 anos de cultivo, estes foram maiores nas posições de ER e LP, a partir dos 40 cm, enquanto a área com 16 anos de cultivo não apresentou diferença estatística significativa. Isso pode ser atribuído ao fato de que, com o passar dos anos de cultivo, o efeito da compactação do solo é mais acentuado nas camadas subsuperficiais, devido ao pouco teor de matéria orgânica, menor presença de raízes e microorganismos capazes de favorecer a agregação e a formação de bioporos, bem como ao maior teor de frações argila e frações mais finas de areia que provocando uma obstrução nos macroporos do solo das camadas subsuperficiais. Braida et al. (2010), observaram que a suscetibilidade do solo à compactação pode ser alterada pelo acúmulo de matéria orgânica, porém, a textura do solo e seus efeitos associados à retenção de água, coesão e densidade do solo determinam a sua magnitude.

De acordo com Reichardt & Timm (2004) e Libardi (2005), solos com textura média devem apresentar macro e microporosidade variando entre 60 a 70% e 30 a 40% da porosidade total, respectivamente, nos primeiros 30 cm de profundidade, o que não foi encontrado nesse estudo, uma vez que, de modo geral, nessa profundidade o solo apresentou uma macroporosidade entre 7 a 30% da porosidade total e uma microporosidade de 69 a 63% da porosidade total do solo.

A densidade do solo (D_s) apresentou valores que variaram entre 1,15 a 1,69 $Mg\ m^{-3}$. Independentemente dos anos de plantio, a maioria dos valores encontrados estão acima de 1,40 $Mg\ m^{-3}$, que é o valor considerado crítico para um bom desenvolvimento das culturas nos primeiros 0,30 m de profundidade de um solo de textura média (Durigan & Timossi 2002; Reichert et al., 2003).

Padrão semelhante de compactação foi encontrado em distintas posições de amostragem na entrelinha de solos com textura média de vinhedos de Santa Catarina (Valois et al., 2014), e em outras culturas perenes, tais como café (Gontijo et al., 2008) e citros (Santos et al., 2014) submetidos a intenso tráfego de máquinas, em que com o aumento da densidade do solo resultou na diminuição do volume de poros totais do solo (Pt).

De acordo com Rosa (2009), essa alteração na estrutura do solo acarreta a diminuição da areação e infiltração de água no solo, devido à redução da macroporosidade. Em contrapartida, o aumento da microporosidade do solo favorece a retenção da pouca água que percola no perfil do solo. No entanto, em algumas situações, não significa que essa água esteja necessariamente disponível para as plantas, pois existem situações em que esses poros sofrem intensa redução em diâmetro e a água pode permanecer retida com energia muito alta, sendo, portanto, indisponível às plantas (Klein et al., 2009; Toigo 2010).

Tabela 28. Atributos físicos do solo em três posições de amostragem em áreas com três épocas de cultivo após o plantio das videiras

Tempo cultivo (anos)	0-10				10-20				20-30															
	Ma	Mi	Pt	Ds	Ma	Mi	Pt	Ds	Ma	Mi	Pt	Ds												
	m ³ m ⁻³				Mg m ⁻³				m ³ m ⁻³				Mg m ⁻³											
	ER				R				LP				ER											
4	0,15	Aa	0,34	Ab	0,49	Aa	1,49	Aa	0,07	Aa	0,34	Ab	0,41	Ab	1,65	Aa	0,07	Aa	0,37	Ba	0,44	Ba	1,56	Aa
9	0,09	Ba	0,37	Aa	0,46	Aa	1,56	Aa	0,11	Aa	0,38	Aa	0,49	Aa	1,45	Aa	0,09	Aa	0,61	Aa	0,71	Aa	1,25	Ba
16	0,11	Aba	0,25	Aa	0,36	Aa	1,41	Ab	0,07	Aab	0,26	Aa	0,33	Aa	1,43	Aa	0,08	Ab	0,30	Ba	0,37	Ba	1,43	Aba
4	0,05	Ab	0,62	Aa	0,68	Aa	1,40	Ba	0,05	Aa	0,64	Aa	0,69	Aa	1,38	Bb	0,07	Aa	0,43	Aa	0,50	Aa	1,61	Aa
9	0,08	Aa	0,37	Ba	0,46	ABa	1,63	ABa	0,08	Aa	0,38	Ba	0,46	ABa	1,54	ABa	0,11	Aa	0,36	Ab	0,46	Ab	1,50	Aa
16	0,06	Ab	0,25	Ba	0,31	Ba	1,69	Aa	0,06	Ab	0,25	Ba	0,31	Ba	1,66	Aa	0,09	Aab	0,33	Aa	0,42	Aa	1,54	Aa
4	0,10	Aa	0,41	Aab	0,52	Aa	1,50	Aa	0,06	Ba	0,46	Aab	0,52	Aab	1,61	Aab	0,07	Ba	0,41	Aa	0,48	Aa	1,57	Aa
9	0,12	Aa	0,40	Aa	0,52	Aa	1,44	Aa	0,11	Aa	0,39	Aa	0,50	Aa	1,56	Aa	0,10	ABa	0,42	Aab	0,52	Aab	1,38	Aa
16	0,13	Aa	0,30	Aa	0,43	Aa	1,46	Aab	0,11	Aa	0,33	Aa	0,44	Aa	1,43	Aa	0,12	Aa	0,36	Aa	0,49	Aa	1,41	Aa
	30-40				40-50				50-60				ER											
4	0,07	Aa	0,41	Ba	0,48	Ba	1,52	Aa	0,06	Aa	0,39	Ba	0,50	Ba	1,48	Aa	0,06	Aa	0,40	Ab	0,46	Ab	1,48	Aa
9	0,08	Aa	0,67	Aa	0,75	Aa	1,20	Bb	0,07	Aa	0,70	Aa	0,80	Aa	1,15	Ba	0,07	Aa	0,41	Ab	0,48	Ab	1,49	Aa
16	0,09	Aa	0,26	Ba	0,34	Ba	1,41	ABa	0,07	Ab	0,29	Ba	0,40	Ba	1,44	Aa	0,10	Aa	0,31	Aa	0,41	Aa	1,45	Aa
4	0,08	Aa	0,37	Aa	0,45	Aa	1,58	Aa	0,06	Aa	0,40	Aa	0,46	Aa	1,56	Aa	0,06	Aa	0,39	Ab	0,46	Ab	1,52	Aa
9	0,08	Aa	0,37	Ab	0,46	Ab	1,50	Aa	0,09	Aa	0,41	Ab	0,49	Ab	1,41	Aa	0,07	Aa	0,44	Ab	0,51	Ab	1,48	Aa
16	0,10	Aa	0,31	Aa	0,41	Aa	1,43	Aa	0,11	Ab	0,31	Aa	0,42	Aa	1,38	Aa	0,06	Aa	0,40	Aa	0,46	Aa	1,44	Aa
	30-40				40-50				50-60				LP											
4	0,06	Aa	0,38	Ba	0,44	Ba	1,61	Aa	0,07	Ba	0,38	Aa	0,45	Aa	1,53	Aa	0,08	Aa	0,66	Aa	0,74	Aa	1,17	Aba
9	0,08	Aa	0,68	Aa	0,76	Aa	1,17	Bb	0,09	Ba	0,42	Ab	0,51	Ab	1,41	Ab	0,06	Aa	0,75	Aa	0,82	Aa	1,15	Aba
16	0,11	Aa	0,35	Ba	0,46	Ba	1,39	ABa	0,16	Aa	0,31	Aa	0,47	Aa	1,40	Aa	0,10	Aa	0,34	Ba	0,44	Ba	1,38	Aa

Ma (Macroporosidade); Mi (microporosidade); Pt (porosidade total); Ds (densidade do solo); ER (entre rodados); R (tráfego do rodado); LP (linha de plantio). Letras maiúsculas = diferença estatística significativa entre os anos de cultivo; Letras minúsculas = diferença estatística significativa entre os locais de amostragem

o avaliar a densidade relativa do solo nos três locais de amostragem, pode-se observar valores que variaram entre 0,71 a 1,02 (Tabela 29). Trabalhos sobre a avaliação da densidade relativa são encontrados na literatura para inúmeras culturas anuais (Carter, 1990; Hakansson, 1990; Lipiec et al., 1991; Beutler et al., 2005). Entretanto, para as perenes, como a videira, não há um parâmetro conhecido. De modo geral $D_r > 0,90$ é suficiente para a ocorrência de restrição ao desenvolvimento da maioria das culturas (Klein, 2006; Reinert et al., 2008).

Os valores encontrados podem ser atribuídos ao revolvimento no momento do preparo do solo, facilitando a compactação tanto em superfície quanto em subsuperfície. De acordo com Shafer-Landefeld et al. (2004), independentemente da classe textural do solo, uma única passada de trator após o revolvimento e em condições adversas de umidade já é suficiente para provocar a compactação do solo.

Hakansson et al. (1988) enfatizaram que a carga aplicada ao longo do tempo apresenta efeito acumulativo em subsuperfície ao longo dos anos. Além disso, com o revolvimento o solo fica exposto à desagregação pelo impacto das gotas da chuva que, somado à mineralização da matéria orgânica, diminui a estabilidade dos agregados, tornando-o susceptível à erosão (Marcolan & Anghinoni, 2006).

Tabela 29. Umidade crítica do solo ($U_{gcrít}$), densidade máxima ($D_{smáx}$) de compactação e densidade relativa (D_r) do solo nas áreas estudadas

Tempo de cultivo	$U_{g_{máx}}$ g g ⁻¹	$D_{s_{máx}}$ Mg m ⁻³	D_s Mg m ⁻³			D_r		
			ER	R	LP	ER	R	LP
0-10 cm								
4 anos	0,18	1,67	1,49	1,40	1,50	0,89	0,84	0,90
9 anos	0,16	1,67	1,56	1,63	1,44	0,94	0,98	0,86
16 anos	0,15	1,66	1,41	1,69	1,46	0,85	1,02	0,88
10-20 cm								
4 anos	0,19	1,70	1,65	1,38	1,61	0,97	0,81	0,95
9 anos	0,19	1,70	1,45	1,54	1,56	0,86	0,91	0,92
16 anos	0,17	1,75	1,43	1,66	1,43	0,82	0,95	0,82
20-30 cm								
4 anos	0,21	1,67	1,56	1,61	1,57	0,93	0,96	0,94
9 anos	0,17	1,65	1,25	1,50	1,38	0,76	0,91	0,84
16 anos	0,16	1,73	1,43	1,54	1,41	0,83	0,89	0,82
30-40 cm								
4 anos	0,20	1,70	1,52	1,58	1,61	0,89	0,93	0,95
9 anos	0,18	1,70	1,20	1,50	1,17	0,71	0,88	0,69
16 anos	0,17	1,68	1,41	1,43	1,39	0,84	0,85	0,83
40-50 cm								
4 anos	0,22	1,62	1,48	1,56	1,53	0,91	0,96	0,95
9 anos	0,22	1,56	1,15	1,41	1,41	0,74	0,91	0,91
16 anos	0,19	1,56	1,44	1,38	1,40	0,93	0,89	0,90
50-60 cm								
4 anos	0,15	1,68	1,48	1,52	1,17	0,88	0,90	0,69
9 anos	0,20	1,60	1,49	1,48	1,15	0,93	0,93	0,72
16 anos	0,20	1,64	1,45	1,44	1,38	0,88	0,88	0,84

$U_{g_{crít}}$ = umidade crítica do solo; $D_{s_{máx}}$ = densidade máxima de compactação do solo; $D_{r_{ER}}$ = Densidade relativa na posição de entre rodado; D_{r_R} = Densidade relativa na posição de tráfego do rodado; $D_{r_{LP}}$ = Densidade relativa na posição de linha de plantio.

O ensaio de infiltração de água no solo, possibilitou observar que, de modo geral, os maiores valores de taxa de infiltração (TI) foram observado no início do ensaio, com TI variando de 5 a 80 mm h⁻¹. Isso deve-se ao fato de que, além do manejo e da textura, a dinâmica da água está diretamente relacionada com o conteúdo de água presente no espaço poroso do solo (Figura 28).

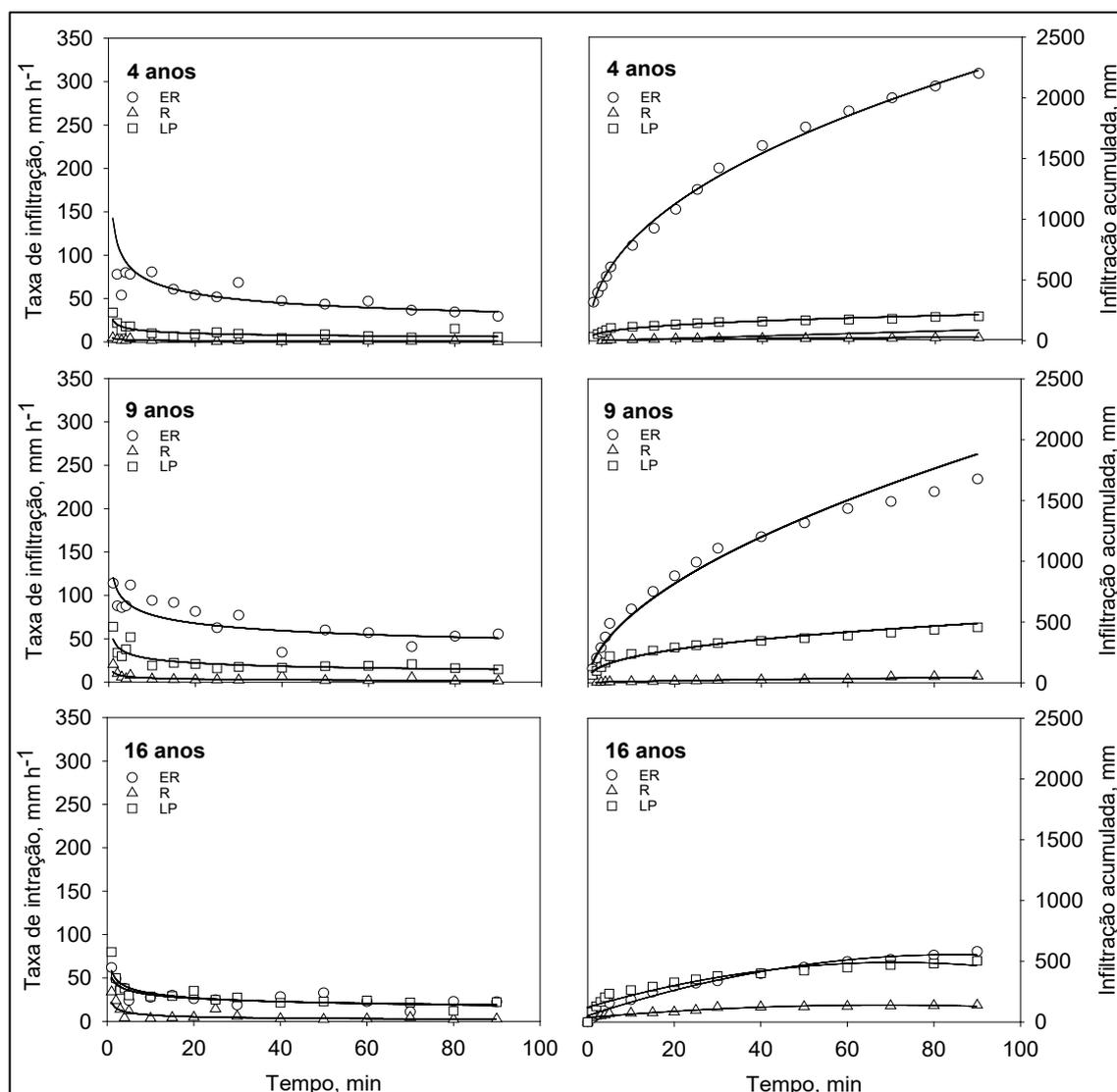


Figura 27. Taxa de infiltração e infiltração acumulada das áreas estudadas (LP - linha de plantio; ER - entre rodado; R - rodado).

Esses resultados corroboram com os encontrados em outros ensaios envolvendo a análise da taxa de infiltração de água em solos com diferentes classes texturais e distintos manejos, onde foram observados maiores valores quando o solo se encontrava seco, reduzindo-se com o aumento do gradiente hidráulico até atingir um valor constante (Gondim et al., 2010; Prando et al., 2010; Bono et al., 2012), ocorrendo conseqüentemente um aumento na infiltração acumulada de água no solo (I), que no final deste ensaio apresentou valores entre 140 a 1700 mm.

Ao analisar as áreas com três épocas de cultivo após o plantio das videiras e as posições de amostragem, podemos observar os maiores valores nas áreas com 4 e 9 anos, sobretudo entre os rodados do trator (ER), seguido da linha de

plantio (LP) e local de tráfego do rodado do trator (R). Este comportamento é antagônico aos encontrados por Santos et al. (2014) em um pomar de citros, cultivado sob um Argissolo de textura arenosa, em que os maiores valores de TI e I foram encontrados na LP (linha de plantio), seguida do ER (entre rodados) e R (rodado).

Isso pode ser explicado pelo fato de que, diferentemente do que ocorre em outras culturas perenes, em vinhedos a linha de plantio é muito próxima ao local de tráfego do rodado, dissipando a tensão do rodado tanto vertical como horizontalmente no solo para o local mais próximo da origem da compactação (Trein, 1995). Em solos intensamente cultivados o surgimento de camadas compactadas diminui o volume de macroporos, responsáveis pela infiltração e redistribuição da água no solo (Bertol et al., 2001), e a pouca infiltração ocorre de forma acentuada no início do processo de infiltração e decresce exponencialmente com o tempo (Alves Sobrinho et al., 2003).

A equação de ajuste utilizada apresentou alto coeficiente de correlação com R^2 entre 0,50 a 0,77 para TI e R^2 entre 0,86 a 0,99 para I, o que faz do modelo proposto por Kostiakov (1932) adequado para explicar a variação desses parâmetros em função do tempo (Tabela 4). Esses resultados comprovam os encontrados por Cunha et al. (2009) ao comparar o modelo de Kostiakov com outros aplicáveis ao ajuste das curvas de TI e I no solo.

A velocidade básica de infiltração (VIB) apresentou variação, tanto em relação aos anos de condução após o plantio das mudas, quanto nas posições de amostragem, com valores variando de 1,60 a 42,81 mm h⁻¹ (Tabela 30). No local entre rodados a VIB variou entre muito alta, para as áreas com 4 e 9 anos, e alta para a área com 16 anos de plantio, enquanto que na posição de linha de plantio a área com 4 e 9 anos apresentou uma VIB alta, e média para a área com 16 anos de plantio.

Por outro lado, a compactação provocada pelo rodado do trator no local de seu trânsito resultou em uma VIB baixa em todos os anos de condução após o plantio das mudas. De acordo com Cunha et al. (2009), o fenômeno da compactação dificulta a penetração de água, diminuindo a VIB do solo.

Tabela 30. Taxa de infiltração (VI), infiltração de água acumulada (I) e velocidade básica de infiltração (VIB) de água no solo, em função do tempo das áreas estudadas

Tempo de plantio	Taxa de infiltração		Infiltração acumulada		VIB mmh ⁻¹
	Equação	R ²	Equação	R ²	
Entre rodado					
4 anos	TI = 142,81t ^{-0,313}	0,68	I = 290,02t ^{0,4528}	0,99	33,58
9 anos	TI = 120,69t ^{-0,192}	0,63	I = 153,58t ^{0,5568}	0,97	42,81
16 anos	TI = 50,457t ^{-0,215}	0,60	I = 41,787t ^{0,6133}	0,97	17,47
Rodado					
4 anos	TI = 4,6148t ^{-0,382}	0,50	I = 2,0441t ^{0,5994}	0,86	3,67
9 anos	TI = 22,152t ^{-0,476}	0,64	I = 37,638t ^{0,3024}	0,97	2,53
16 anos	TI = 11,919t ^{-0,399}	0,63	I = 2,1574t ^{0,6717}	0,96	1,60
Linha de plantio					
4 anos	TI = 49,956t ^{-0,27}	0,76	I = 5,0300t ^{0,3884}	0,94	15,67
9 anos	TI = 58,63t ^{-0,256}	0,77	I = 106,76t ^{0,3606}	0,96	18,47
16 anos	TI = 25,394t ^{-0,31}	0,65	I = 47,302t ^{0,3367}	0,93	6,40

Nota: Classificação da velocidade de infiltração de água no solo: VIB > 30 mm/h - muito alta; VIB entre 15 >VIB<30 mm/h - alta, VIB entre 5>VIB<15 mm/h - média e VIB < 5mm/h - baixa (Bernardo et al., 2008).

Ao avaliar as curvas características de retenção de água do solo (CRA) pode-se observar que houve variação tanto nos distintos anos de condução após o plantio das videiras, quanto nos locais de amostragem para todas as profundidade (Figura 29).

Em relação aos anos de condução após o plantio das videiras, a umidade na capacidade de campo (CC) na área com 4 anos variou entre 0,27 a 0,42 m³ m⁻³, na área com 9 anos esse parâmetro apresentou valores entre 0,29 a 0,45 m³ m⁻³ e para a área com 16 anos ficou entre 0,21 a 0,34 m³ m⁻³. Por outro lado, os valores para o ponto de murcha permanente (PMP) nesses locais foram de 0,19 a 0,33 m³ m⁻³ para a área com 4 anos, 0,14 a 0,31 m³ m⁻³ na área com 9 anos e de 0,11 a 0,27 m³ m⁻³ para a área com 16 anos de plantio.

Resultados semelhantes foram encontrados por Beutler et al. (2005) em áreas com distintos anos de manejo, em que o autor atribuiu a maior retenção de água, sobretudo em menores tensões, a maior presença de microporos na área com maior tempo de tráfego de trator, corroborando com resultados encontrados por Richard et al. (2001) e Tarawally et al. (2004).

Com a compactação, parte dos macroporos transformam-se em microporos, afetando a inclinação da CRA entre a CC e o PMP (Klein et al., 2000). E isso foi observado nesse estudo em que pode-se observar que a compactação, de modo geral, foi mais evidente na posição de tráfego do rodado do trator (R) quando, comparada com as demais, entre rodados (ER) e linha de plantio (LP), semelhantes aos resultados encontrados por Gontijo et al. (2008) em distintas posições de amostragem em um cafezal cultivado sob Latossolo.

Pode-se perceber que a maior retenção de água, em baixas tensões, foi observado nas camadas subsuperficiais do solo, a partir dos 30 cm de profundidade. Esse resultado pode ser atribuído ao aumento da fração argila em profundidade nas três áreas estudadas do vinhedo. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2005), em que os autores atribuíram a maior retenção de água ao fenômeno de adsorção da água pela fração argila.

Além de apresentar maior área superficial específica, quando comparados a solos com textura mais grossa, solos com predomínio de argila apresentam maiores forças capilares e de adesão com a lamina d'água devido as cargas negativas presente em sua superfície (Urach, 2007), tornando-se mais difícil sua disponibilidade para as plantas. Klein et al. (2010), ao observarem a influência da granulometria na retenção de água no solo, verificaram incremento do teor de água com o aumento do teor de argila, na proporção de 0,1 g g⁻¹ para um aumento de 294 g kg⁻¹ no teor de argila.

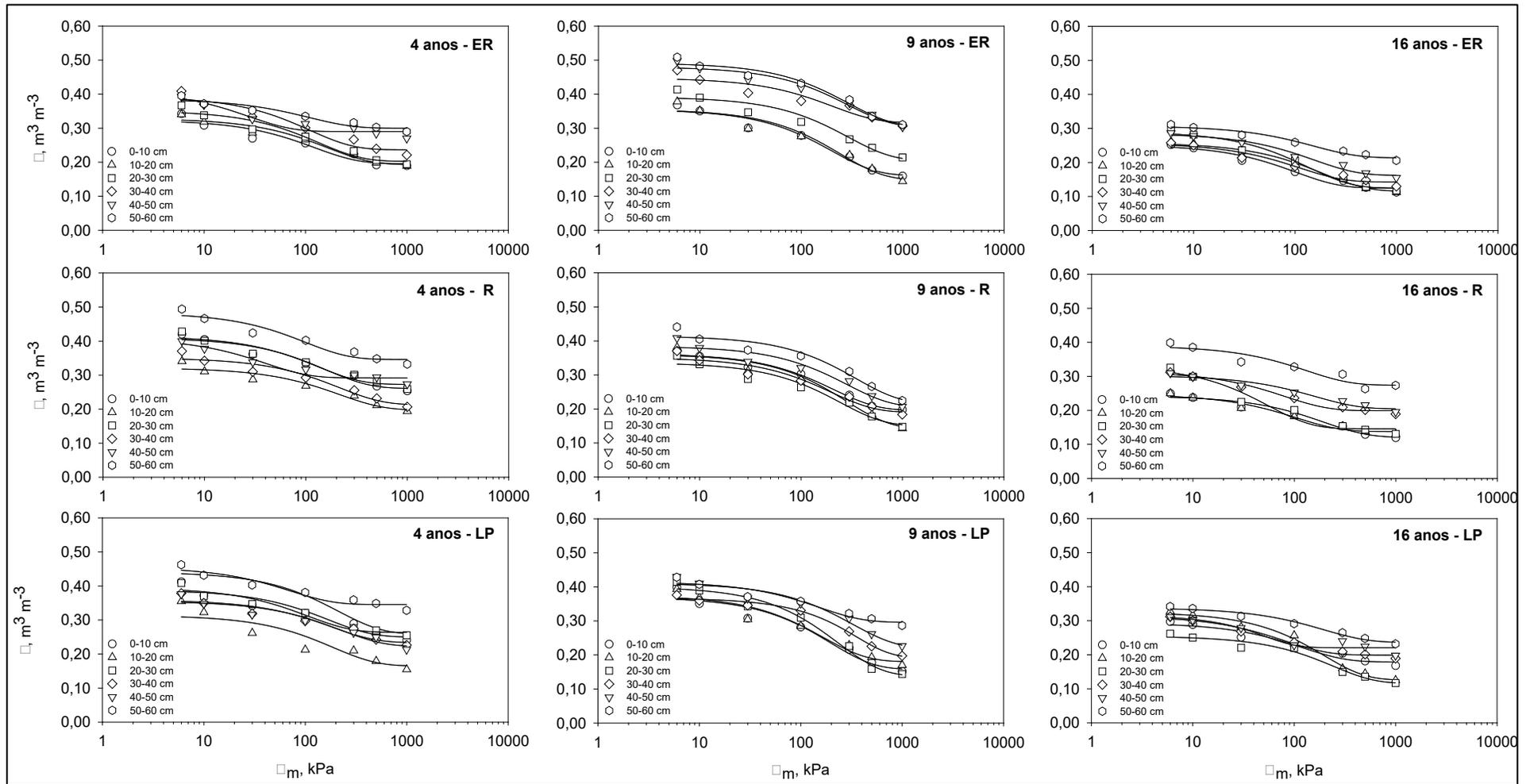


Figura 28. Curvas características de retenção de água no solo das áreas estudadas. ER (entre rodados), R (rodado do trator) e LP (linha de plantio).

4. CONCLUSÕES

A área com 16 anos de cultivo apresentou menor teor de matéria orgânica em função dos sucessivos manejos do vinhedo;

A composição granulométrica das áreas estudadas apresentam e maior teor de areia grossa e areia muito fina e aumento de argila em profundidade característico das classes de solos identificadas;

O manejo do solo promoveu um aumento do volume de microporos em detrimento dos macroporos, afetando a porosidade total refletindo na densidade do solo;

As maiores densidade do solo nas áreas com 4 e 16 anos foram observadas até os 30 cm, enquanto que na área com 9 anos foi refletida a partir dos 30 cm;

O uso de maquinários promoveu uma heterogeneidade na compactação do solo no vinhedo, com os maiores valores observados na posição de tráfego do rodado do trator (R), seguida pela linha de plantio (LP) e entre rodados (ER);

Os valores de densidade relativa demonstram que os solos do vinhedo encontram-se em um estágio avançado de compactação;

A posição entre os rodados (ER) apresentam maior taxa de infiltração, independentemente do tempo de cultivo do vinhedo;

A área com 16 anos apresentam menor capacidade de retenção de água no solo, independentemente da posição de amostragem no vinhedo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos da Serra do Sudeste, onde está inserida a propriedade apresenta condições adequadas para o desenvolvimento da cultura da videira, com exceção para os heteromórficos, como o Gleissolo, que foi identificado no vinhedo;

O preparo do solo para a implantação da cultura deve ser realizado de uma forma a mobilizar o mínimo possível o solo, visando evitar a compactação do mesmo;

A calagem e adubação do solo devem obedecer criteriosamente as recomendações que são baseadas em laudos de análise da fertilidade do solo, visando evitar perdas econômicas, e absorção adequada dos nutrientes pelas plantas e o uso sustentável do solo;

A amostragem do solo para esse tipo de cultura deve ser realizada nas posições de linha de rodado, entre rodados e linha de plantio, devido ao espaçamento fixo da cultura;

Existem poucos trabalhos que avaliem a qualidade do solo, sobretudo relacionada às alterações promovidas nos atributos físicos na cultura da videira. Essas informações são importantes para avaliar o efeito do manejo do solo e seus efeitos para a cultura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU C.A. et al. Micronutrientes. In: NOVAIS R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/ UFV, 2007. p. 645-736.

ALCÂNTARA, F. A. et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.

ALLEONI, L.R.F. et al. Disponibilidade de cobre em solos de vinhedos após aplicação de calda bordaleza por vários anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais ...** Viçosa: SBCS, 2003.

ALVAREZ, J.W R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul**. 2004. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ALVES SOBRINHO, T. et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v. 7, n.2, p. 191-196, 2003.

AMBROSINI, V. G. et al. Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura. In: MELO, G. W. B. et al. **Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa uva e Vinho, 2016. p. 91-110. (Documentos,100).

AMORIM, J. R. A. et al. **Espacialização da porcentagem de sódio trocável do solo no perímetro irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 61).

ANDREWS, S.S. et al. The soil management assessment framework: a quantitative evaluation using case studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p.1945-1962, 2004.

- ANJOS, J. L. et al. Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.11, p.1138-1142, 2011.
- ARAÚJO A. S. F.; MONTEIRO R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- BARBIERI, R.L.; STUMPF, E.R.T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 909 p.
- BARTLETT, R.J.; ROSS, S.D. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n.4, p.1191-1192, 1988.
- BATEY, T.; MCKENZIE, D.C. Soil compaction: identification directly in the field. **Soil Use and Management**, Oxford, v.22, p.123-131, 2006.
- BATISTA, K. **Nitrogênio e enxofre na implantação do capim-marandu em substituição ao capim-Braquiária em degradação num solo com baixa matéria orgânica**. 2006. 125 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- BAYER, C. et al. Efeitos de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n. 3, p.599- 607, 2000.
- BERNARDO, S. et al. **Manual de irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.
- BERNOUX, M. et al. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 3, p. 743-749, 1998.
- BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 555-560, 2001.
- BEUTLER, A. N. et al. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.
- BEUTLER, A. N. et al. Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1 p.167-177, 2001.
- BISSANI, C. A. et al. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p. 163-183.

- BLUM, J. **Alterações químicas do solo e resposta da videira 'Niagara Rosada' à aplicação de gesso agrícola**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-PR, 2008.
- BOER, C. A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1269- 1276, 2007.
- BONFIM-DA-SILVA, E.M. **Nitrogênio e enxofre na recuperação de capim braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica**. 2005. 123 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- BONO, J.A.M. 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**, Viçosa, v. 32, p. 1845-1853, 2012.
- BOT, A.; BENITES, J. **The importance of soil organic matter: key to drought-resistant soil and sustained food production**. Rome: FAO, 2005. (FAO Soils Bulletin, 80).
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.
- BRAIDA, J. A. et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v. 7, p. 222-227.
- BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.4, p.605-614, 2006.
- BRAIDA, J. A. et al. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v.14, p.131-139, 2010.
- BROADLEY, M.R. et al. Zinc in plant: tansley review. **New Phytologist**, Oxford, v. 173, p. 677-702, 2007.
- BRUME, R.; SPECHT, S. O terroir e a construção de uma Base de Recursos Estratégicos: um framework aplicado à cadeia vitivinícola. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2010, Campo Grande. **Anais...** Brasília: SOBER, 2010.
- BRUNETTO, G. et al. A. Aplicação de nitrogênio em videiras na Campanha Gaúcha: produtividade e características químicas do mosto da uva. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 389-393, 2007.

BRUNETTO, G. et al. Application of nitrogen sources on grapevines and effect on yield and must composition. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 1042- 1051, 2013.

BRUNETTO, G. **Nitrogênio em videira**: recuperação, acumulação e alterações na produtividade e na composição da uva. 2008. 139 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

BUXADERAS, S.; LOPEZ-TAMAMES, E. Sparkling wines: features and trends from tradition. **Advances in Food and Nutrition Research**, San Diego, v.66, p.1-45, 2012.

CAIRES, E.F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.125-136, 2004.

CAMPOS, A.X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. 2004. 119 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, p. 104-114, 2006.

CARBALLO, A.M.C. **Atributos químicos do solo afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 2004. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 70, n. 3, p. 425-433, 1990.

CASAGRANDE, J.C. et al. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.51-59, 2003.

CASALI, C. A. et al. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1479- 1487, 2008.

CASSOL, P. C. et al. Correlação entre os teores de nutrientes no pecíolo e no limbo de folhas de videira da variedade Cabernet Sauvignon sob adubação com N, K, N+K, cama de suíno e serragem. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 7., 2008, Santa Maria. [Resumos ...]. Santa Maria: SBCS, 2008.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma plantios eucalipto sobre indicadores qualidade solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1381-1396, 2007.

- CHAIGNON, V. et al. Bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. **Environmental Pollution**, Barking, v.123, p.229-238, 2003.
- CHAIGNON, V.; HINSINGER, P. A biotest for evaluating copper bioavailability to plants in a contaminated soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.32, p.824-33, 2003.
- CHAVES L. H. G. et al. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 431-437, 2004.
- CHEN, P. Y. et al. Effects of calcium on rhizotoxicity and the accumulation and translocation of copper by grapevines. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 73, p. 375-382, 2013.
- COPELLO, M. As regiões produtoras do Brasil. In: ANUÁRIO Vinho do Brasil. São Paulo: Baco Multimídias, 2015.
- COPELLO, M. Brasil, mercado em ebulição. **Revista Vinhos do Brasil**, Rio de Janeiro, p. 34-37, 2015.
- CORDEIRO, W. **A vitivinicultura em São Joaquim - SC: uma nova atividade no município**. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- CORREA, M.M. et al. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.1017-1031, 2008.
- CORRÊA, R. M. et al. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.305- 314, 2009.
- COUTO, R.R. et al. Acúmulo de frações de cobre e zinco em solo de vinhedo na região centro-oeste de Santa Catarina, Brasil. **Environmental Earth Sciences**, Heidelberg, v.73, p. 6379-6386, 2015.
- CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCSNRS/EMBRAPA-CNPT, 2004. 400 p.
- CROUÉ, J. P. et al. Characterization and copper binding of humic and nonhumic organic matter isolated from the South Platte River: evidence for the presence of nitrogenous binding site. **Environmental Science & Technology**, Easton, v.37, p.328-336, 2003.
- CUNHA, J.L. et al. Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio convencional. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.1, p.199-205, 2009.

CUNHA, N.G. et al. **Estudo de solos do município de Encruzilhada do Sul - RS**. Pelotas: Embrapa, 2005. 82 p. (Circular Técnico, 45).

DA COSTA, W. P. L. B. **Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2009.

DALLA ROSA, J. et al. Atributos químicos do solo e produtividade de videiras alterados pelo manejo de coberturas verdes na Serra Gaúcha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n.1, p.179-187, 2009.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.544-566.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p. 92-132.

DELUISA, A. et al. Copper pollution in italian vineyard soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, p.1537-1548, 1996.
DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, p. 201-214, 2004.

DIAS JUNIOR, M. S. et al. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.3, p.248-255, 2005.

DIAS JÚNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 337-346, 2000.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, San Diego, n. 56, p.1-54, 1996.

DOURADO NETO, D. et al. **Soil Water Retention Curve - SWRC (3.0 beta) - Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/dourado/>>. Acesso em: 17 out. 2016.

DRAGHI, L. et al. Resistência específica do solo de um pomar frutícola relacionada ao manejo entrelinhas e intensidade de tráfego. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, p.385-394, 2005.

DURIGAN, J.C.; TIMOSSI, P.C. **Manejo de plantas daninhas em pomares cítricos**. Bebedouro, SP: EECB, 2002. 53 p. (Boletim Citrícola, 22).

- EBELING, A. G. et al. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n.2, p. 429-439, 2008.
- ECHENIQUE, M.C. et al. Growth-yield relationship of grapevine cultivars on soils with hardened layers, Alto Valle of the Rio Negro, southern wine-growing region of Argentina. **Agricultura Técnica**, Chillán, v. 67, n. 3, p. 262-270, 2007.
- ELAOU, A.; CHEHAIBI, S. Soil compaction due to tractor traffic. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, New York, v. 11, n. 5, p. 539-545, 2011.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- ERNANI, P.R. et al. Potássio. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p. 551-594.
- ERNANI, P.R.; DIAS, J.; FLORE, J.A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, p.1291-1304, 2002.
- FEITOSA, J. R. **Indicadores de qualidade de Argissolo sob cultivo orgânico de videira de vinho na região do Submédio São Francisco**. 2011. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2011.
- FERNÁNDEZ-CALVIÑO, D. et al. Zinc distribution and acid-base mobilisation in vineyard soil and sediments. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.414, p.470-479, 2012.
- FERRERAS, L.A. et al. Parâmetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.161-170, 2001.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.637-645, 2007.
- FILGUEIRAS, R. et al. Modelos de curva de retenção de água no solo. **Irriga**, Botucatu, p. 115-120, 2016. Edição especial.

FLORES VÉLEZ, L.M. et al. Study of the distribution of copper in an acid sandy vineyard soil by three different methods. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.523-532, 1996.

FLORES, C. A. et al. Increase of detail in soil surveys and its contribution for managing wine quality in vale dos vinhedos, Brazil. **Journal of Viticulture and Enology**, [Portugal], v.28, n.1, p.370- 374, 2013.

FLORES, C. A. et al. Levantamento detalhado dos solos e a viticultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...Uberlândia**: SBCS, 2011. 4 p.

FLORES, C. A. et al. **Os solos do Vale dos Vinhedos**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 176 p.

FLOWERS, M.D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.48, p.21-35, 1998.

FRÁGUAS, J. C. et al. **Calagem e adubação para videira e fruteiras de clima temperado**. Belo Horizonte: Epamig, 2002. 44 p. (Boletim Técnico, 65).

FREGONI, M. **Nutrizione e fertilizzazione della vite**. Bologna: Edagricole, 1980. 418 p.

GATIBONI, L.C. et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 691-699, 2007.

GAW, S.K. et al. Trace element and DDT concentrations in horticultural soils from the Tasman, Waikato and Auckland regions of New Zealand. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.355, p.31-47, 2006.

GIAROLA, N.F.B. et al. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.885-893, 2002.

GIOVANNINI, E. **Produção de uvas para vinho, suco e mesa**. 2. ed. Porto Alegre: Renascença, 2005. 364 p.

GIOVANNINI, E. **Produção de uvas para vinho, suco e mesa**. 3. ed. rev. atual. Porto Alegre: Renascença, 2008. 362 p.

GIOVANNINI, E.; MANFROI, V. **Viticultura e enologia**: elaboração e grandes vinhos nos *Terroirs* brasileiros. Bento Gonçalves: IFRS, 2009. 344 p.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Universidade de São Paulo/ FEALQ, 2009. 451 p.

GONDIM, T. M. S. et al. Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v.4, n.1, p. 64-73, 2010.

GONTIJO, I. et al. Atributos físico-hídricos de um Latossolo de cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p. 2227-2234, 2008.

GRANT, C. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on the environment. In: PROCHNOW, L.I. et al. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e técnicas de suporte**. Piracicaba: IPNI, 2010. p.43-90.

GUERRA, C. C. et al. **Conhecendo o essencial sobre uvas e vinhos**. Bento Gonçalves, Embrapa Uva e Vinho, 2009. 69 p. (Documento, 48). Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/ano-2012.html>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

GUERRA, H. O. C. **Física dos solos**. Campina Grande: UFPB, 2000. 173 p.

HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.105-120, 1990.

HÅKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, p.239-282, 1988.

HIBERT, G. et al. Effects of nitrogen supply on must quality and anthocyanin accumulation in berries of cv. Merlot. **Vitis**, Siebeldingen, v. 42, n. 2, p. 69-76, 2003.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.23-36, 1995.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactibility and compressibility. In: SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. (Ed.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.45-69.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **LSPA - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2016 Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2015. 430 p. il. (Manuais Técnicos em Geociências, 4).

IBRAVIN - INSTITUTO BRASILEIRO DO VINHO. **Informativo Saca Rolhas**. Bento Gonçalves, v. 4, n. 9, 2013. Disponível em:<<http://www.ibravin.org.br/downloads/1394732471.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

IBRAVIN - INSTITUTO BRASILEIRO DO VINHO. **Uvas processadas - RS**. [2017]. Disponível em:

<<http://www.ibravin.org.br/admin/arquivos/estatisticas/1529409592.pdf>>.
Acesso em: 2 jan. 2017

ISHAQ, M. et al. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.60, n.1, p.153-161, 2001.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**: advanced course. Madison: Department of Soil Science, University of Wisconsin, 1956. 894 p.

JACKSON, R.S. **Wine science**: principles and applications. 3rd ed. San Diego: Elsevier, 2008. 789 p.

JERMINI, M. et al. Quantification of the influence of the downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on the compensatory capacities of *Vitis vinifera* 'Merlot' to limit the qualitative yield damage. **Vitis**, Siebeldingen v. 49, n. 4, p. 153-160, 2010.

KAMINSKI, J. et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.573-580, 2005.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C. et al. (Ed.) **Pedologia**: fundamentos. Viçosa: SBCS, 2012, p. 207-302.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: why and how? **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 145-156, 2003.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KINRAIDE, T.B. Identity of the rhizotoxic aluminum species. **Plant and Soil**, The Hague, v.134, p.167-178, 1991.

KLEIN, V. A. Densidade relativa: um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 1, p. 26-32, 2006.

KLEIN, V. A. et al. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2475-2481, 2009.

KLEIN, V. A. et al. Propriedades físico-hídricas de substratos hortícolas comerciais. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.6, n.3, p. 218-221, 2000.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3. ed. Passo Fundo: UPF, 2014. 263 p.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria. v.30, p.959-964, 2000.

KOPITTKE, P. M. et al. Toxic effects of Cu²⁺ on growth, nutrition, root morphology, and distribution of Cu in roots of Sabi grass. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 407, n. 16, p. 4616-4621, 2009.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 479 p.

KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. In: TRANSACTIONS of the 6th Commission International Society Soil Science. Moscou: ISSS, 1932. Part A, p. 17-21.

KRZIC, M. et al. **Relative measure of bulk density to characterize compaction of forest soils caused by harvest**. Vancouver: UBC, 2003.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1333-1342, 2010.

LEVIEN, R.; LIER, Q.J.V.; ALVES, A.G.C. Influence of surface crust on water infiltration rates measured by a rotatingboom rainfall simulator and a double-cylinder device. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n.3, p.479-486, 2000.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Libardi, 2001. 497 p.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.

LIMA, C. L. R. et al. Heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho- Amarelo sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 409-414, 2004a.

LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 945-951, 2004b.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

LIMA, C.L.R. et al. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.1166-1169, 2007.

LIPIEC, J. et al. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2, p. 307-317, 1991.

LOMBARDO, J. A. **Santa Catarina à mesa: a revolução das uvas e do vinho e o renascimento das cervejarias no estado**. 2. ed. Florianópolis: Expressão, 2009.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.1-64.

LUCIANO, R. V. et al. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1733-1744, 2012.

LUCIANO, R.V. **Variabilidade espacial e temporal de atributos do solo e sua relação com a composição da uva para vinificação no Planalto Catarinense**. 2012. 147 f. Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

MACHADO, L.V. et al. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014.

MAFRA, M.S.H. **Estado nutricional, rendimento e qualidade de uva Cabernet Sauvignon em solos da Serra Catarinense**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

MAFRA, M.S.H. et al. Atributos químicos do solo e estado nutricional de videira Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) na Serra Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.10, n.1, p.44-53, 2011.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MANTOVANI, A. **Composição química de solos contaminados por cobre: formas, sorção e efeito no desenvolvimento de espécies vegetais**. 2009. 165 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.163-170, 2006.

MARTINS, A.P. **Acidez do solo e reaplicação de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and human well-being: synthesis**. Washington: Island Press, 2005. 137 p.

MEDEIROS, P. S. C. et al. Caracterização e classificação de solos graníticos em topossequência na região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1210-1217, 2013.

MELLO, J. W. V.; PEREZ, D. V. Equilíbrio químico das reações no solo. In: MELLO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 151-249.

MELLO, L. M. R. **Atuação do Brasil no mercado vitivinícola mundial: panorama 2011**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2012. 3 p. (Comunicado Técnico, 116).

MELLO, L. M. R. **Avaliação de impactos econômicos, de tecnologias geradas pela Embrapa Uva e Vinho - 2005**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2006. 26 p. (Documentos, 58).

MELLO, L. M. R. **O Brasil no contexto do mercado vitivinícola mundial: panorama 2014**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2015. (Comunicado Técnico, 174).

MELLO, L. M. R. **Tendência de consumo e perspectivas do mercado de vinhos no Brasil**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2002.

MELLO, L. M. R. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2014**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2015. (Comunicado Técnico, 175).

MELLO, L.M.R. **Tendências de consumo e perspectivas de mercado de vinhos no Brasil**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2002. 7p.

Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147324/1/tendencia.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2016.

MERRY, R. H. et al. Accumulation of copper, lead and arsenic in some Australian orchard soil. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.21, n.4, p. 549-561, 1983.

MIELE, A. et al. Efeito da variabilidade espacial de solos no Vale dos Vinhedos na composição do vinho Merlot - Safra 2012- 2014. In: BERNARDI, A.C.C. et al. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014. p.363-369.

MIRLEAN, N. et al. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (Southern Brazil). **Environmental Pollution**, Barking, v. 149, p. 10-17, 2007.

MOREIRA, F.M. S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. atual. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NEVES, C. M. N. et al. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no nordeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p.45-53, 2007.

NICOLODI, M. et al. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 32, n. 1, p. 237-247, 2008.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho Distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1271 -1282, 2010.

NOGUEIROL, R.C. et al. Sequential extraction and availability of copper in Cu fungicide-amended vineyard soils from Southern Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v.181, p.931-937, 2010.

NOVAIS, F.R.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, M. W. et al. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 861-868, 2002.

PARFITT, R.L.; SMART, R.S.C. The mechanism of sulfate absorption of iron oxides. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 42, p. 48-50, 1978.

PAVAN, M.A. Alumínio em solos ácidos do Paraná: relação entre o alumínio não trocável, trocável e solúvel com o pH, CTC, porcentagem de saturação de Al e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 39-46, 1983.

PAVAN, M.A. et al. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO₃ and CaSO₄. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, n.6, p.1201-1207, 1982.

PAVLÍKOVÁ, D. et al. Glutamate kinase as a potential biomarker of heavy metal stress in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, San Diego, v. 70, n. 2, p. 223-230, 2008.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.4, p.885-895, 2001.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.885-895, 2001.

PHILLIPS, J. D. Development of texture contrast soils by combination of bioturbation and translocation. **Catena**, Amsterdam, v.70, p.92- 104, 2007.

PHILLIPS, R. **Uma breve história do vinho**. Rio de Janeiro: Record, 2005.

PITTE, J. R. **O desejo do vinho conquistando o mundo**. São Paulo: SENAC São Paulo, 2012. 94 p.

PIVA, R. et al. Adubação de manutenção em videiras cv. Bordô utilizando-se cinzas vegetais e esterco bovino em sistema orgânico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.9, n.2, p.219-224, 2014.

POERNER N. et al. Diferenciação analítica de vinhos-base para espumantes de duas regiões vitícolas do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1186-1192, 2010.

PONNAMPERUMA, F. N. **The chemistry of submerged soils**. Los Baños: Academic Press, 1972. 68 p. (Advances in Agronomy, v. 24).

PORTUGAL, A.F. et al. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb Distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.249-258, 2008.

PRADO, R.M.; NATALE, W. A calagem na nutrição e no desenvolvimento do sistema radical da caramboleira. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.3, n.1, p.3-8, 2004.

PRANDO, M. B. et al. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 34, p. 693-700, 2010.

PRASAD, B.R. et al. Forms of copper in soils of grape orchards. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, Delhi, v. 32, p. 318– 322, 1984.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013. 104 p.

PROTAS, J. F. S.; CAMARGO, U. A. **Viticultura brasileira: panorama setorial de 2010**. Brasília, DF: SEBRAE; Bento Gonçalves: IBRAVIN/ Embrapa Uva e Vinho, 2011. 110 p.

PROTAS, J. L.; CAMARGO, U.A.; MELLO, L.M. **A viticultura brasileira: realidade e perspectivas**. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 1. 2002, Andradas, MG. **Anais ...** Caldas: EPAMIG, 2002. p. 17-32. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/539461/a-viticultura-brasileira-realidade-e-perspectivas>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 111 p.

QUAGGIO, J.A. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, p. 375- 383, 1993.

QUANTUM GIS - guia do usuário, versão 2.18, 'Release'. 2016. Disponível em: <<http://qgisbrasil.org>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

RADMANN, E. B.; BIANCHI, V. J. Uva: da antiguidade a mesa de nossos dias. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. (Ed.). **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008. p. 891-909.

RAMOS, L.A. et al. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.849-857, 2006.

RAMPIM, L.; et al. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em Latossolo Vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.4, p.1623-1638, 2013.

REICHARDT, K. TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

REICHERT, J.M. et al. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.14, n.27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J.M. et al. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5, p.49-134.

REICHERT, J. M. et al. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 14, n. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D.J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1805-1816, 2008.

REINERT, D.J. et al. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Palestras...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. v. 1. 192 p.

RICHARD, G. et al. Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, p. 49-58, 2001.

RITCHEY, K.D. et al. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, Brunswick, v.133, n.6, p.378- 382, 1982.

ROBICHAUD, J. L.; NOBLE, A. C. Astringency and bitterness of selected phenolics in wine. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.53, n.3, p.343-353, 1990.

RODRIGUES, J. Subsídios para a história da uva e do vinho. Caxias do Sul: São Miguel, 1972. 94 p.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.

ROSA FILHO, G. et al. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.33, n.2, p.283-293, 2009.

RUIZ, H.A.; FERREIRA, G.B.; PEREIRA, J.B.M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.389-393, 2003.

SÁ, J.C.M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.103, p.46-56, 2009.

SAINT-HILAIRE, A. **Viagem ao Rio Grande do Sul**. Brasília: Senado Federal/ Conselho Editorial, 2002. 578 p.

SANCHES, A.C. et al. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.91-99, 1999.

SANTOS, C. V. et al. Physical-hydraulic properties of a sandy loam typic paleudalf soil under organic cultivation of 'Montenegrina' mandarin (*Citrus deliciosa* Tenore). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.6, p.1882-1889, 2014.

SANTOS, H.G. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SCHAETZL, R. J. Lithologic discontinuities in some soils on drumlins: theory, detection and application. **Soil Science**, Baltimore, v. 163, n. 7, p. 570-590, 1998.

SCHÄFER-LANDEFELD, L. et al. Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.75, p.75-86, 2004.

SCHMITT, C. **Gênese de solos desenvolvidos de rochas sedimentares na depressão central do Rio Grande do Sul**. 2015. 172 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SCHNEIDER, L. **Dinâmica locacional da vitivinicultura: novas regiões do Rio Grande do Sul e Vale do São Francisco**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba, 2006.

SCHOENHOLTZ, S.H.; MIEGROET, H.; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators forest soil quality: challenges opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.138, p.335-356, 2000.

SERVADIO, P. et al. Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.61, p.143-155, 2001.

SHARMA, M.L.; UEHARA, G. Influence of soil structure on water relation in low humic latosols: I. Water retention. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.32, p.765-770, 1968.

SILVA A.P. et al. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, J.Q. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.241-281.

SILVA, F.A.S. **ASSISTAT**: versão 7.7 beta. DEAG-CTRN-UFCG - Atualizado em 01 de abril de 2014. [2014]. Disponível em: <<http://www.assistat.com/>>. Acesso em: 01 abr. 2015.

SILVA, M. A. S. et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n.2, p. 329-337, 2006.

SILVA, N. G. et al. Apeando do cavalo: um estudo do arranjo vitivinicultor do município de Encruzilhada do Sul (RS). **Desenvolve: Revista de Gestão do Unilasalle**, Canoas, v. 5, n. 1, p. 57-83, 2016.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 544-552, 2005.

SILVEIRA, P.M. et al. Manejo da água de irrigação. In: SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. (Ed.). **Irrigação do feijão**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. p. 139-169.

SNAKIN, V.V. et al. The system of assessment of soil degradation. **Soil Technology**, Cremlingen, v.8, n.4, p.331-343, 1996.

SOUZA, G.S. et al. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, p. 603-612, 2012.

SPIGOLON, P. **Solos sob viticultura no Vale dos Vinhedos (RS) e sua relação com resveratrol em vinhos**. 2002. 62 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

STEVENSON, T. **The Sotheby's Wine Encyclopedia**. 4. ed. London: Dorling Kindersley, 2005.

STÖCKER, C.M. **Qualidade do solo em áreas sob cultivo de videira em propriedades agrícolas familiares no município de Pelotas - RS**. 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, 2015.

STOKES, G.G. On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums. **Transactions of the Cambridge Philosophical Society**, [Cambridge], v.9, p.8-149, 1850.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

STÜRMER, S.L.K. et al. Relação da granulometria do solo e morfologia do saprolito com a infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p.2057-2064, 2009.

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

TAGLIAVINI, M. et al. Nitrogen fertilization management in orchards to reconcile productivity and environmental aspects. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.43, p.93-102, 1996.

TARAWALLY, M.A. et al. Field compaction at different soil water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam. v.76, p.95-103, 2004.

TECCHIO, M. A. et al. Atributos químicos do solo em vinhedos de 'Niagara Rosada' nas regiões de Jundiá, São Miguel Arcanjo e Jales. **Ambiência-Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 8, n. 2, p. 345-359, 2012.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TEIXEIRA, C. M. et al. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milheto, feijão-de-porco e guandú-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 93-99, 2005.

TEIXEIRA, D. D. B. et al. Soil CO₂ emission estimated by different interpolation techniques. **Plant and Soil**, The Hague, v.345, n. 1/2, p.187-194, 2011.

TEIXEIRA, L.A.J. et al. Alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e adubação nitrogenada e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, p. 684-689, 2001.

TERRA, M. M. Nutrição, calagem e adubação. In: POMMER, C.V. **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003. cap. 7, p. 405-476.

THEODORO, V. C. A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.27, p.1039-1047, 2003.

TISDALE, S.M. et al. **Soil fertility and fertilizers**. 5. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1993. 634 p.

TOIGO, S. **Remediação mecânica e biológica da compactação inicial de um Nitossolo Vermelho cultivado com trigo**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco/PR, 2010.

TONIETTO, J. Afinal, o que é Terroir? **Bon Vivant**, Flores da Cunha, v. 8, n. 98, 2007.

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 124, n. 1/2, p. 81-97, 2004.

TONIETTO, J.; FLORES, C. A. Zoneamento edafoclimático da videira no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 7., 2004, Fraiburgo. **Anais...** Caçador: Epagri, 2004. p. 53-58.

TONIETTO, J.; VIANELLO, R.L.; REGINA, M.A. Caracterização microclimática e potencial enológico de diferentes regiões com vocação vitícola em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.27, n.234, p.32-55, 2006.

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

TOSELLI, M. et al. The accumulation of copper in soils of the Italian region Emilia-Romagna. **Plant, Soil and Environment**, Prague, v.55, p.74-79, 2009.

TREIN, C.R. **The mechanics of soil compaction under wheels**. 1995. 132 f. Thesis (PhD)- Cranfield University at Silsoe, Silsoe, UK, 1995. Unpublished.

UBALDO, E. **Vinho: um presente dos deuses**. Florianópolis: Letras Contemporâneas, 1999.

UNTERLEITNER, B. **Avaliação de diferentes velocidades de agitação para análise granulométrica de alguns Latossolos**. 2011. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

URACH, F. **Estimativa da retenção de água para fins de irrigação**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. Washington, 1975. 754 p. (Agriculture Handbook, 436).

VALLADARES, G. S. et al. Disponibilidade de boro e correlação com propriedades dos solos do Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.493-498, 1999.

VALLADARES, G. S. et al. **Solos da unidade experimental da Embrapa uva e vinho em Bento Gonçalves, RS**. 2005. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106816/1/1776.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

VALOIS, C.M. et al. Physical attributes of a Haplic Cambisol in vineyards subjected to different traffic intensities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.4, p.1256-1267, 2014.

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.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

VIEIRA, M. L. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes temas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1271-1280, 2007.

VOLKWEISS, S.J. Química da acidez dos solos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., 1989, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1989. p. 7-38.

WEINGERL, V.; KERIN, D. Distribution of zinc in vineyard areas treated with zinc containing phytopharmaceuticals. **Acta Chimica Slovenica**, Ljubljana, v. 47, n. 4, p. 453-467, 2000.

WIERMANN, C. et al. Stress/strain processes in a structured silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p.117-128, 2000.

WILDNER, W. et al. **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul**: escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2007.

WÜRZ, D. A. et al. Agronomic performance of 'Cabernet Sauvignon' with leaf removal management in a high-altitude region of Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.52, n.10, p.869-876, 2017.