

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOSSISTEMAS

ACÚMULO DE FÓSFORO E POTENCIAL CONTAMINANTE
EM SOLOS CULTIVADOS COM VIDEIRA

DJALMA EUGÊNIO SCHMITT

Florianópolis, fevereiro de 2012.

DJALMA EUGÊNIO SCHMITT

**ACÚMULO DE FÓSFORO E POTENCIAL
CONTAMINANTE EM SOLOS CULTIVADOS COM
VIDEIRA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Brunetto
Co-orientador: Jucinei José Comin
Co-orientador: Fernando Perobelli Ferreira

FLORIANÓPOLIS
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Schmitt, Djalma Eugênio

Acúmulo de fósforo e potencial contaminante em solos cultivados com videira/ Djalma Eugênio Schmitt.- Florianópolis, 2012.

77f.: grafs., tabs.

Orientador: Gustavo Brunetto/ Co-orientadores: Jucinei José Comin e Fernando Perobelli Ferreira

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.

Bibliografia: f. 68-77.

1. Agroecossistemas. 2. Solos- fósforo. 3. Adubação - contaminação.
4. Videira. I. Brunetto, Gustavo. II. Comin, Jucinei José; Ferreira, Fernando Perobelli. III. Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. VI. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

DJALMA EUGÊNIO SCHMITT

**ACÚMULO DE FÓSFORO E POTENCIAL
CONTAMINANTE EM SOLOS CULTIVADOS COM
VIDEIRA**

Dissertação aprovada em 16/02/2012, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina.

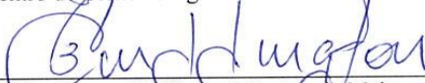
Prof. Dr Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho
Coordenador do PGA

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr Gustavo Brunetto
Orientador e Presidente – CCA/ UFSC



Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC



Dr. George Wellington Bastos de Melo
Embrapa Uva e Vinho



Prof. Dr. Cláudio Roberto F. de S. Soares
Centro de Ciências Biológicas – UFSC

Florianópolis, 16 de fevereiro de 2012.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

Ao Departamento de Engenharia Rural (ENR), do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pela disponibilidade do espaço físico do Laboratório de Análises de Solo, Água e Tecido Vegetal, para a realização das análises químicas de solo.

Ao Professor Gustavo Brunetto, que me apoio nessa jornada, pela dedicação, amizade e confiança.

Aos Professores Fernando Perobelli Ferreira e Jucinei José Comin pelas contribuições.

Ao Professor Carlos Alberto Ceretta e Luciano Colpo Gatiboni pelo auxílio nas correções dos artigos científicos.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (PGA), Janete Guenka e a Andréa B. Ventura, secretária do Departamento de Engenharia Rural (ENR) da UFSC, pela amizade, conselhos e ajuda na resolução de burocracias.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro que viabilizou a realização do presente trabalho.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pela disponibilidade do espaço físico do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, para a realização de parte do trabalho.

Aos colegas de mestrado, Monique Souza, Andréia Tecchio, Tatiana Reis, Flora Goudel, Camilo Teixeira, Diogo Festauer pelo convívio.

Aos Amigos Elisa Vilvert e Marcos Alberto Lana pela ajuda e apoio ao longo dessa jornada.

Aos bolsistas de Iniciação Científica vinculados aos Professores do ENR e orientadores no PGA, Célio Pescador Machado, Lucas Benedett, Julio Uriarte, Bruno Salvador, Vitor Ambrosini, Janaína Heinzen, Marcel Pires Moraes, Gustavo Luiz, Lais Bernardino, Ludiana Canton, Francine Pagnan pela ajuda nos trabalhos, parceria, amizade e convívio.

Aos amigos Tales Tiecher, Felipe Lorensini, Eduardo Giroto, Marcos Antônio Bender, Rafael Ramon pelo auxílio nas análises no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFSM, em Santa Maria (RS).

À Cristiane Maria de Léis pelo apoio nas horas boas e ruins, carinho e paciência, pois sem ela eu não teria realizado o mestrado.

Aos meus pais Paulo Eugênio Schmitt e Angélica Schmitt e à minha irmã Marilaine Schmitt, que sempre me apoiaram nessa jornada.

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas – UFSC

**ACÚMULO DE FÓSFORO E POTENCIAL
CONTAMINANTE EM SOLOS CULTIVADOS COM
VIDEIRA**

Autor: Djalma Eugênio Schmitt
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Brunetto

Aplicações de fertilizantes fosfatados na adubação de pré-plantio e manutenção sem considerar critérios técnicos podem promover o acúmulo e alterar as frações de fósforo (P) em solos cultivados com videiras, potencializando a contaminação de recursos naturais. O trabalho objetivou avaliar o acúmulo de P e seu potencial contaminante em dois solos com textura arenosa cultivados com videiras e com histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados na região Sul do Brasil. Foram conduzidos dois Estudos: O primeiro estudo foi intitulado “Acúmulo de fósforo e potencial contaminante em solos com textura arenosa e cultivados com videira na região da Campanha do Rio Grande do Sul (RS)”. Em janeiro de 2011 foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em uma área de campo nativo sem histórico de cultivo e em duas áreas cultivadas com videiras, uma com 14 anos de cultivo e outra com 30 anos. O segundo estudo foi intitulado “Acúmulo de fósforo e potencial contaminante em solos com textura arenosa e cultivados com videira na região Sul do Estado de Santa Catarina (SC)”. Para isso, foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm em dois vinhedos, um com cinco anos e outro com 15 anos. Amostras de solo coletadas nos dois estudos foram secas, moídas, passadas em peneira com malha de 2 mm e separadas em três partes: a primeira parte foi submetida a análise de atributos químicos; a segunda parte foi submetida a análise do fracionamento químico de P segundo Hedley et al. (1982); a terceira parte de solo das camadas de 0-5 e 10-20 cm foram submetidas à análises das isotermas de adsorção de P. Aplicações excessivas de fertilizantes fosfatados na adubação de pré-plantio e manutenção em vinhedos, principalmente nos vinhedos com maior tempo de cultivo e, por consequência, com maior histórico de adubação fosfatada, aumentaram o teor de P inorgânico nas profundidades amostradas quando em comparação

com vinhedos mais jovens ou campo nativo, principalmente nas frações lábeis extraídas pela resina trocadora de ânions e por NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, bem como na fração não lábil extraída por HCL 1 mol L^{-1} . Nas amostras de solo coletadas da região Sul de Santa Catarina foram observados incrementos de P nas profundidades amostradas no vinhedo com maior tempo de cultivo, especialmente nas frações lábeis extraídas por NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, e na fração moderadamente lábil extraída por NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e por NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. A maior quantidade de fósforo aplicado no solo em vinhedos com maior tempo de cultivo, 30 anos na região da Campanha do RS e 15 anos, na região Sul de SC, diminuiu o valor de capacidade máxima de adsorção de P, indicando a saturação de parte dos sítios de adsorção das partículas reativas. Isto explica o aumento observado da quantidade de P desorvido em água de acordo com o modelo proposto por Koski-Vähälä & Hartikainen (2001), representando maior potencial contaminante de águas superficiais e subsuperficiais.

Palavras-chave: Adubação fosfatada, fracionamento químico de fósforo, contaminação ambiental, *Vitis sp.*

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Agroecosystems – UFSC

**ACCUMULATION OF PHOSPHORUS AND ITS
CONTAMINANT POTENTIAL IN SOILS CULTIVATED
WITH VINEYARDS.**

Author: Djalma Eugênio Schmitt
Advisor: Prof. Dr. Gustavo Brunetto

The pre-plant and maintenance application of phosphate fertilizers in vineyards without considering technical criteria can cause accumulation and change of different phosphorus (P) fractions, potentializing the risk of contamination of natural resources. The aim of this work was to evaluate the accumulation of P and its contaminant potential in vineyards cultivated on sandy soils in Southern Brazil and with history of phosphate fertilizations. Two studies were performed. The first one was entitled “Accumulation of P fractions and its contaminant potential in sandy soils cultivated with grape wines in the Campanha region, Rio Grande do Sul State, Brazil”. In January of 2011 soil samples were collected from different depths (0–5 cm, 5–10 cm and 10–20 cm) of a grassland area and two vineyards in cultivation for 14 and 30 years, respectively. The second study was entitled “Accumulation of phosphorus fractions and its contaminant potential in sandy soils cultivated with grape wines in Southern Santa Catarina State, Brazil”. In December 2010, soil samples from different depths (0–5 cm, 5–10 cm and 10–20 cm) were collected in two different vineyards, one with four years of cultivation and other with 15 years of cultivation. Soil samples from both studies were dried, grinded, sieved through a 2-mm mesh sieve and separate in three parts: the first part was submitted to an analysis of chemical parameters; the second part was submitted to a phosphorus fractionation scheme according the method proposed by Hedley et al. (1982); the third part of soil had the samples from 0–5 cm and 10–20 cm depths submitted to an analysis of phosphate adsorption curves. The excessive pre-plant and maintenance phosphate fertilizations in vineyards, especially in the ones in cultivation, showed increased

levels of inorganic P in all the sampled depths, predominantly in the labile fractions extracted by anion-exchange resin and 0,5 M NaHCO₃; the non-labile P fraction extracted by 1 M HCL also presented increased levels when in comparison with younger vineyards or the grassland area. In the vineyards of Southern Santa Catarina State, increments in the levels of organic P were also observed, all the sampled depths especially the labile fraction extracted with 0,5 M NaHCO₃, and the moderately labile fraction extracted with 0,1 M NaOH and 0,5 M NaOH. The higher amount of P applied in the areas cultivated for 30 years and 15 years in the Campanha Region and Southern Santa Catarina State, respectively, reduced the value of the maximum P adsorption capacity and also saturate the sites of reactive particles adsorption. This saturation increases the amount of P desorpted in water according the model proposed by Koski-Vähälä & Hartikainem (2001), increasing the potential for contamination and groundwater contamination.

Key words: phosphate fertilization, phosphorus chemical fractionation, environmental contamination, *Vitis sp.*

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Atributos físicos e químicos de um solo Argissolo Vermelho em área de campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo), em três camadas na região da Campanha do Estado do RS. 33
- Tabela 2. Atributos químicos e físicos em diferentes camadas (cm), em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.....38
- Tabela 3. Frações de fósforo inorgânico extraído por resina trocadora de ânions (P_{iRTA}) e $NaHCO_3$ (P_{ibic}) e fósforo orgânico extraído por $NaHCO_3$ (P_{obic}), em um Argissolo Vermelho em área de Campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo), em três camadas na região da Campanha do Estado do RS.....41
- Tabela 4. Fósforo inorgânico e orgânico extraído por $NaOH$ $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid} e P_{ohid}) e $NaOH$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid05} e P_{ohid05}) em um Argissolo Vermelho em área de campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo), em três camadas na região da Campanha do Estado do RS.44
- Tabela 5. Fósforo inorgânico extraído por HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{HCL}) e fração residual de fósforo ($P_{residual}$) em um Argissolo Vermelho em área de campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo) em três camadas na região da Campanha do Estado do RS.....47
- Tabela 6. Fósforo geoquímico, fósforo biológico e a soma de suas frações em um Argissolo Vermelho em uma área de Campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo), em três camadas na região da Campanha do Estado do RS.49

- Tabela 7. Parâmetros relacionados às isotermas de adsorção nas camadas de 0-5 e 10-20 cm de um Argissolo Vermelho sob campo nativo e vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo) na região da Campanha do Estado do RS.....53
- Tabela 8. Frações de fósforo inorgânico extraído por resina trocadora de ânions (P_{iRTA}) e $NaHCO_3$ ($P_{i bic}$) e fósforo orgânico extraído por $NaHCO_3$ ($P_{o bic}$), em um Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.....55
- Tabela 9. Frações de fósforo extraídas pelo extrator $NaOH$ $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_{i hid}$ e $P_{o hid}$) e $NaOH$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_{i hid05}$ e $P_{o hid05}$), em um Argissolo Vermelho amarelo sob solo cultivado com videiras na região Sul de SC.....58
- Tabela 10. Fósforo inorgânico e residual, extraídos pelos extratores HCL 1 mol L^{-1} ($P_{i HCL}$) e $H_2SO_4 + H_2O_2 + MgCl_2$ ($P_{residual}$), respectivamente, em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.60
- Tabela 11. Fósforo geoquímico, biológico e total em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.61
- Tabela 12. Parâmetros relacionados às isotermas de adsorção de fósforo nas camadas de 0-5 e 10-20 cm, em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.....65

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Relação entre o fósforo adsorvido e o fósforo na solução de equilíbrio nas camadas de 0-5 cm (a) e 10-20 cm (b), em um solo Argissolo Vermelho com campo nativo e cultivado com videiras, e ajustes de equação pelo modelo de Langmuir em cada camada na região da Campanha do Estado do RS.....51
- Figura 2. Relação entre o fósforo adsorvido e o fósforo na solução de equilíbrio nas camadas de 0-5 cm (a) e 10-20 cm (b), em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras, e ajustes de equação pelo modelo de Langmuir em cada camada na região Sul de SC.....63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 HIPÓTESES	19
3 OBJETIVOS.....	20
3.1 OBJETIVO GERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1 CULTIVO E ADUBAÇÃO DE VIDEIRAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA	21
4.2 FRAÇÕES E ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO	24
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
5.1 ESTUDO 1 - ACÚMULO DE FÓSFORO E POTENCIAL CONTAMINANTE EM SOLOS COM TEXTURA ARENOSA E CULTIVADOS COM VIDEIRA NA REGIÃO DA CAMPANHA DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....	30
5.1.1 Descrição do experimento	30
5.1.2 Coleta de solo, análise das propriedades do solo, fracionamento de fósforo e isotermas de adsorção de fósforo.	31
5.2 ESTUDO 2 - ACÚMULO DE FÓSFORO E POTENCIAL CONTAMINANTE EM SOLOS COM TEXTURA ARENOSA E CULTIVADOS COM VIDEIRA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL.....	35
5.2.1 Descrição do experimento.....	35
5.2.2 Coleta de solo, análise das propriedades do solo, fracionamento de P e isotermas de adsorção de P	36
6 Análise estatística.....	39
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40

7.1 ACÚMULO DE FÓSFORO E POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO EM SOLOS COM TEXTURA ARENOSA E CULTIVADOS COM VIDEIRA NA REGIÃO DA CAMPANHA DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....	40
7.1.1 Fracionamento de fósforo no solo.....	40
7.1.2 Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo	49
7.2 ACÚMULO DE FRAÇÕES E POTENCIAL CONTAMINANTE DO FÓSFORO EM SOLOS COM TEXTURA ARENOSA E CULTIVADOS COM VIDEIRA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL. ..	54
7.2.1 Frações de fósforo no solo	54
7.2.2 Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo	61
8 CONCLUSÕES	66
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul (RS) possui a maior área cultivada com a videira no Brasil com, aproximadamente, 50.000 hectares (IBGE, 2011). No Estado do RS, a maior área ocupada com a cultura é encontrada na região da Serra Gaúcha, mas a partir da década de 80, parte dos solos sob campo nativo na região da Campanha do RS foram incorporados ao sistema de produção de uvas. Já no Estado de Santa Catarina (SC), que possui a quinta maior área cultivada com a videira do país (IBGE, 2011), os primeiros vinhedos foram implantados na região Sul do Estado, depois da chegada dos imigrantes italianos, na sua maioria derivados do RS. Tanto na Campanha Gaúcha do RS como na região Sul de SC, os solos cultivados com a videira, normalmente, possuem textura arenosa, argila do tipo 1:1, baixa fertilidade natural e são ácidos. Com isso, antes da instalação dos vinhedos torna-se necessária a aplicação de calcário para a correção da acidez do solo e a adubação de pré-plantio, com fertilizantes, como os nitrogenados, fosfatados e potássicos, para aumentar a disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no solo. Já, depois da instalação dos vinhedos e quando diagnosticada a necessidade de aplicação de fertilizantes, através da análise de solo, de tecido e expectativa de produção de uva, novas aplicações de N, P e K, que caracterizam a adubação de manutenção ou produção são realizadas na superfície do solo, sem incorporação. No entanto, nem sempre a aplicação de nutrientes, entre eles o P, é definida com base nos critérios técnicos. Com isso, ao longo dos anos e com as sucessivas aplicações de P acima da demanda das plantas, se espera o acúmulo do nutriente no solo e, por conseqüência, alteração nas suas frações, o que pode aumentar a disponibilidade de P para as plantas, mas também pode potencializar a transferência de P para águas superficiais ou subsuperficiais.

O acúmulo de P no solo também tem sido estudado usando a técnica do fracionamento químico proposto por Hedley et al. (1982), que utiliza seqüencialmente, extratores químicos que removem o P inorgânico e orgânico do solo, desde frações mais disponíveis até as mais estáveis. Com o uso desta técnica se tem observado que em

solos com histórico de aplicações sucessivas de fertilizantes fosfatados, em geral cultivados com culturas anuais, ocorre o acúmulo de frações inorgânicas e orgânicas do nutriente no solo em diferentes graus de energia de ligação, entretanto o acúmulo mais pronunciado acontece normalmente nas frações inorgânicas. Assim, se espera que quanto maior for a quantidade aplicada de fertilizantes fosfatados ao longo dos anos, maior será a saturação dos sítios de maior energia de ligação e, por consequência, mais biodisponível será o P. Somado a isso, nos solos com contínuas aplicações de P, ocorre a diminuição da capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) no perfil do solo, que pode ser estabelecida pelas isotermas de adsorção, ajustadas pelo modelo matemático proposto por Langmuir ou por Koski-Vähälä & Hartikainen (2001). Com o ajuste da isoterma de adsorção deste último modelo é possível verificar a alteração em parâmetros como a quantidade de P dessorvida em água destilada (Q_0), que permite calcular a concentração necessária de P na solução para a metade da adsorção máxima (km) e na concentração de equilíbrio de P (CEP). No entanto, os estudos de acúmulo de frações de P, bem como a estimativa de parâmetros das isotermas de adsorção que permitem a inferência sobre a real disponibilidade do nutriente para as plantas, mas também sobre o seu potencial de contaminação em solos de vinhedos submetidos a aplicações excessivas com fertilizantes fosfatados ao longo dos anos são escassos em tradicionais regiões vitivinícolas do Mundo e, no Brasil são inexistentes.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o acúmulo de P e o seu potencial contaminante em solos com textura arenosa, cultivados com videiras e com histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados, na região Sul do Brasil.

2 HIPÓTESES

- a) Aplicações sucessivas de fertilizantes fosfatados ao longo dos anos, causa o acúmulo de P no solo, especialmente, em frações inorgânicas lábeis, que são disponíveis para as plantas, mas facilmente transferidas no ambiente.
- b) A adição continuada de fertilizantes fosfatados ao longo dos anos em solos cultivados com videiras na região Sul do Brasil, sem considerar os critérios técnicos oficiais de predição para a cultura, causa a diminuição dos valores de capacidade máxima de adsorção de P no perfil do solo e aumenta a quantidade de P desorvida em água, o que pode potencializa a sua transferência para águas superficiais ou subsuperficiais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o acúmulo de P e o seu potencial contaminante em solos com textura arenosa, cultivados com videiras e com histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados, na região Sul do Brasil.

3.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar a distribuição das frações orgânicas e inorgânicas de P, em solos com textura arenosa, cultivados com videiras e com histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados, na região Sul de SC e Campanha Gaúcha do RS;
- b) Estimar os parâmetros da isoterma de adsorção de P pelo modelo proposto por Langmuir e Koski-Vähälä & Hartikainen (2001), no perfil de solos com textura arenosa, cultivados com videiras e com histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados, na região Sul de SC e Campanha Gaúcha do RS;

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Cultivo e adubação de videiras no Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina

O Estado do RS possui a maior área cultivada com a videira do Brasil. O seu cultivo é realizado em mais de 12.000 propriedades rurais, que ocupam uma área de, aproximadamente, 50.000 hectares e elaboram 95% do vinho nacional (BRUNETTO et al., 2008; MELLO 2010; IBGE 2011). A região da Serra Gaúcha, localizada no RS é a mais importante região vitivinícola do Estado e do Brasil e inclui 34 municípios. O cultivo da videira nesta região iniciou em 1860, com a chegada dos imigrantes italianos. Atualmente, a área média das propriedades, na sua maioria com mão-de-obra familiar é de 15 hectares e destes, aproximadamente, dois são cultivados com videira. Os solos cultivados com videira normalmente são rasos, pedregosos e possuem uma topografia variando de relevo suave ondulado a forte ondulado, textura média ou argilosa e com teor médio ou alto de matéria orgânica (BRUNETTO et al., 2009). Mas com a ampliação das fronteiras agrícolas, áreas de campo nativo da Campanha Gaúcha do RS, região Oeste do Estado, foram incorporadas ao sistema de produção de uvas. Nestas áreas, a videira passou a ser cultivada em propriedades com área média maior que as encontradas na Serra Gaúcha, em solos localizados em topografia plana ou ondulada, profundos e bem drenados, com predomínio de argila 1:1 e baixos teores de óxido de Fe, com textura arenosa e baixos teores de matéria orgânica (BRUNETTO et al., 2006; BRUNETTO et al., 2008; BRUNETTO et al., 2009).

O Estado de SC é o quinto maior produtor de uvas do Brasil, destinadas à elaboração de vinhos e sucos. Os primeiros vinhedos foram implantados na região Sul do Estado, depois da chegada dos imigrantes italianos em 1873. Essa região vitivinícola que inclui, especialmente, os municípios de Urussanga, Pedras Grandes e Orleans, os solos são localizados em relevo ondulado a fortemente ondulado e próximos ao nível do mar. Além disso, eles são derivados de granito, com predomínio de argila 1:1, possuem textura superficial arenosa e baixos ou médios teores de matéria orgânica (UBERTI, 2005). Posteriormente, com a imigração de italianos procedentes do RS, a vitivinicultura em SC alcançou notável

desenvolvimento na região do Vale do Rio do Peixe, região do Meio Oeste de SC, que inclui, especialmente, o município de Videira. Em geral, nesta região os vinhedos, são cultivados em solos localizados em relevo forte ondulado, que apresentam textura argilosa e com teor médio de matéria orgânica. Mais recentemente, com a expansão da atividade vitivinícola, áreas de campo nativo, como as encontradas nos municípios de São Joaquim, Água Doce e Bom Retiro, na região do Planalto Serrano de SC, antes usadas para a criação de animais ou cultivadas com culturas anuais de grãos foram incorporadas ao sistema de produção de videiras. Nessas áreas, a videira, em geral, passou a ser cultivada em solos com textura média ou argilosa, ácidos e com teores médios ou altos de matéria orgânica (PAGANI, 2008; MAFRA, 2009).

A predição da adubação para as videiras cultivadas nas diversas regiões vitivinícolas dos Estados do RS e SC é realizada com base no diagnóstico da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas, pelo enquadramento dos resultados da análise de solo e/ou da análise de tecido, pecíolo ou folha completa, em faixas de disponibilidade, de acordo com a probabilidade de resposta das plantas à adição dos nutrientes, mas também a produtividade de uva (CQFS-RS/SC, 2004; BRUNETTO et al., 2006; BRUNETTO et al., 2007; BRUNETTO et al., 2008; BRUNETTO et al., 2009; BRUNETTO et al., 2011a). A análise de solo, quando usada em conjunto com a análise de tecido foliar, tem sido um método eficiente na avaliação da disponibilidade de nutrientes do solo e das plantas. Com os resultados obtidos se pode estabelecer a disponibilidade de cada nutriente no solo, a relação entre eles, a necessidade e, por consequência, a dose do fertilizante a ser aplicado (ERNANI, 2003). Atualmente, na cultura da videira no RS e SC, os resultados obtidos na análise do solo são usados para estimar a dose de N, P e K na adubação de pré-plantio e de N na adubação de crescimento (CQFS RS/SC, 2004). Nas áreas a serem incorporadas no sistema de produção de uva, recomenda-se coletar o solo na camada de 0-20 cm e 20-40 cm em, aproximadamente, 15 pontos da área (sub-amostras), normalmente, depois da colheita da uva. Por outro lado, quando as videiras estiverem em crescimento ou em produção e sendo necessária uma nova coleta de solo, esta deve ser realizada somente na camada de 0-20 cm, em geral, na projeção da copa, coletando o mesmo número de sub-amostras recomendado para a área a ser incorporada ao sistema de produção (CQFS-RS/SC, 2004; BRUNETTO et al., 2011a). Depois de coletado, o solo é preparado e

submetido às análises físicas e químicas, e os resultados obtidos são usados para a determinação da recomendação, caso necessário, da dose de fertilizantes nitrogenados, potássicos e fosfatados a serem aplicados. Para a definição da dose de fertilizantes fosfatados na adubação de pré-plantio considera-se os resultados de P extraído por Mehlich 1 e o teor de argila no solo. Para o estabelecimento da dose de fertilizantes potássicos, também na adubação de pré-plantio, considera-se o teor de K extraído por Mehlich 1, mais os valores de capacidade de troca de cátions a pH 7,0 ($CTC_{pH7,0}$). Já para a adubação de crescimento das videiras, onde normalmente realiza-se somente a aplicação de N, leva-se em consideração o teor de matéria orgânica do solo para definir a dose de N a ser aplicada (CQFS-RS/SC, 2004).

A análise de tecido na videira permite avaliar o teor total de nutrientes nos pecíolos ou nas folhas completas o que, por consequência, possibilita estimar o estado nutricional das plantas. No entanto, a interpretação isolada de seus resultados possuem pouca validade, sendo o mais adequado interpretar os seus valores de forma associada aos resultados de nutrientes disponíveis no solo, obtidos em laudos de análise de solo e até a outros critérios, como a expectativa de produção (ERNANI, 2003; BRUNETTO et al., 2008). As folhas completas e/ou somente pecíolos devem ser coletados na mudança da cor das bagas, aproximadamente, 100 folhas por amostra, localizadas no lado oposto ao primeiro cacho de uva do ramo e no mínimo em 20 plantas representativas do vinhedo (CQFS-RS/SC, 2004). No entanto, a coleta de folhas na mudança da cor das bagas apresenta algumas dificuldades, como a poda verde dos ramos ou desfolha, antes do período da coleta das folhas para a análise do total de nutriente. Isso é realizado para melhorar o microclima na planta. Mas essas folhas retiradas são as mesmas que deveriam ser coletadas na mudança da cor, para posterior preparo e análise do total de nutriente. As folhas devem ser saudáveis e, logo depois da coleta, devem ser lavadas para a retirada de partículas e resíduos de fungicidas. Em seguida, são secas, moídas e preparadas para a análise do teor total de nutrientes. Com os resultados obtidos, aliado a expectativa de produção de uva é possível realizar a recomendação de adubação, permitindo definir a dose dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos a serem usados na adubação de manutenção, proposta para a videira no RS e SC pela CQFS-RS/SC (2004). A dose dos fertilizantes é geralmente aplicada na superfície do solo, sem incorporação, na linha de plantio, especialmente,

quando a aplicação é manual ou nas linhas e entrelinhas, quando o fornecimento é com o uso de máquinas e equipamentos.

A produtividade esperada tem sido usada alicerçada no fato de que, se estimando a produtividade, aliada ao teor médio de nutrientes totais nos frutos, pode-se definir, mesmo que de maneira muito aproximada, a quantidade de nutrientes exportada via cacho de uva por área. Com isso, tem-se uma aproximação da quantidade de nutriente a ser aplicado ao solo pela adubação, princípio este considerado na elaboração das tabelas de recomendação de adubação de manutenção para a cultura da videira (CQFS-RS/SC, 2004).

Em geral, nos vinhedos localizados nas principais regiões vitivinícolas do RS e de SC, antes do plantio das videiras e ao longo do ciclo das plantas, quando necessário, aplica-se o calcário para elevar o pH em água até 6,0. Além disso, as adubações de pré-plantio, de crescimento e de manutenção com N, P e K são realizadas com fontes de fertilizantes minerais e/ou orgânicas (MELO, 2002; CQFS-RS/SC, 2004). Entretanto, nem sempre esses três tipos de adubações são realizados com base nos critérios de predição de adubação para a cultura da videira, como a análise de solo, tecido vegetal e expectativa de produção, relatados anteriormente. Assim, ao longo dos anos, os teores de nutrientes no solo, como os de P tendem a aumentar, inclusive algumas vezes acima do nível de suficiência do nutriente para a videira, o que pode provocar a alteração das suas frações no solo. Com isso, algumas frações podem permanecer no solo mais disponíveis para as videiras ou outras plantas, mas também podem ser transferidas para águas superficiais e subsuperficiais.

4.2 Frações e isotermas de adsorção de fósforo no solo

O P no solo é derivado da intemperização de minerais primários fosfatados, como as apatitas, encontradas em rochas, entre elas, as ígneas e sedimentares (RHEINHEIMER et al., 2008a). O P encontrado nestas duas rochas, mais em outras como as fosfatadas está na forma de fosfato tricálcico e, por isso é muito insolúvel. Já os fosfatos naturais denominados “reativos” são provenientes de depósitos recentes de origem sedimentar e de natureza não-cristalina e, por isso, sua solubilidade é maior do que a dos fosfatos naturais e de natureza cristalina (KAMINSKI & PERUZZO, 1997; NOVAIS & SMYTH, 1999). Na maioria dos solos brasileiros, as apatitas

apresentam reatividade muito pequena, normalmente insuficiente para manter uma concentração adequada na solução do solo da rizosfera e, por conseqüência, insuficientes para suprir a demanda de plantas cultivadas (NOVAIS & SMYTH, 1999).

No solo o P é dividido em dois grandes grupos, o P inorgânico e orgânico, dependendo do tipo de composto que está ligado. O P inorgânico pode ser dividido em duas partes, o P de minerais primários e o P adsorvido ao solo. Este P adsorvido é formado por diferentes compostos e possui diferentes graus de estabilidade (RHEINHEIMER et al., 2008b). Já o P orgânico é derivado da biomassa vegetal e da biomassa microbiana e, em solos sem histórico de cultivo, como os de matas ou campos nativos, a maior parte do P absorvido pelas plantas da solução do solo pode ser derivado da mineralização do P orgânico, principalmente, em solos altamente intemperizados, como os localizados em regiões tropicais ou subtropicais (TIESEN et al., 1984; VINCENT et al., 2010).

Os estudos sobre frações de P no solo tem sido realizados com base na técnica do fracionamento químico proposto por Hedley et al. (1982), inclusive no Brasil (CONTE et al., 2003; GATIBONI et al., 2007; GATIBONI et al., 2008; SANTOS et al., 2008; CERETTA et al., 2010). A técnica proposta por Hedley et al (1982) usa, seqüencialmente, extratores químicos que removem o P inorgânico e orgânico, desde frações mais disponíveis até as mais estáveis. A resina trocadora de ânions (RTA) extrai frações lábeis de P inorgânico ($P_{i,rt}$) e o NaHCO_3 extrai formas lábeis de P inorgânico e orgânico ($P_{i,bic}$ e $P_{o,bic}$). Essas duas frações lábeis podem contribuir para o suprimento do nutriente às plantas e parte dela pode ser transferida pela solução escoada na superfície do solo ou percolada no perfil do solo (PAUTLER & SIMS, 2000; ANDRASKI et al., 2003; GATIBONI et al., 2007; DELGADO & SCALENGHE 2008). Já o P extraído pelo $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_{i,hyd}$ e $P_{o,hyd}$) e $\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_{i,hyd05}$ e $P_{o,hyd05}$) representam o P inorgânico ligado aos óxidos e às argilas silicatadas com energia de ligação intermediária e o P orgânico de frações moderadamente lábeis (CROSS & SCHLESINGER, 1995). O HCl extrai o P inorgânico contido nos fosfatos de cálcio e fortemente adsorvido e, finalmente, a digestão do solo com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{MgCl}_2$ extrai o P residual inorgânico + orgânico ($P_{residual}$) do solo, denominado de P recalitrante, que pode contribuir para a nutrição das plantas em situações de extrema carência no solo, porém não em taxas adequadas ao suprimento das plantas (GATIBONI et al., 2007).

Alguns estudos usando a técnica do fracionamento químico de P, inclusive no Brasil, mostram que em vários tipos de solos sem histórico de cultivo e aplicação de fertilizantes fosfatados, como os de mata nativa, as frações de P inorgânicas extraídas, por exemplo, pelos extratores RTA e NaHCO_3 pode representar menos de 10% do valor de P total (ARAÚJO et al., 1993; TOKURA et al., 2002; ARAÚJO et al., 2004). Neste sentido Nwoke et al. (2003), em solos de mata do leste africano, relatam que a fração predominante de P no solo foi aquela acessada pelo P orgânico do extrator NaOH, $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, que é considerada uma fração moderadamente lábil (HEDLEY et al., 1982). Do mesmo modo, Araújo et al. (1993), em um solo de mata nativa no Brasil, comenta que a maior quantidade de P foi encontrada na fração residual, seguida pela fração de P inorgânico e P orgânico moderadamente lábil, extraída por NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Assim, em solos não cultivados as frações orgânicas de P são de grande importância para nutrição das plantas (VINCENT et al., 2010), mas tem merecido pouca importância, uma vez que a maioria dos estudos são realizados em solos cultivados (CONTE et al., 2003; RHEINHEIMER et al., 2008a; SANTOS et al., 2008; TOKURA et al., 2011). Por outro lado, quando o fracionamento químico de P proposto por Hedley et al. (1982) é usado em solos com histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados solúveis, na maioria das vezes cultivados com culturas anuais de grãos, observa-se o incremento de todas as frações de P no solo, preferencialmente, em frações inorgânicas lábeis, como as acessadas pelos extratores RTA e NaHCO_3 (ARAÚJO et al., 1993; DAROUB et al., 2000; GATIBONI, 2003; GATIBONI et al., 2007; SANTOS et al., 2008; REIS et al., 2011; TOKURA et al., 2011). Mas, quando a fonte de fertilizante fosfatado é de origem orgânica e de fácil decomposição, como os dejetos líquidos de alguns animais, o acúmulo de P no solo em um primeiro momento ocorre, em frações orgânicas que, em seguida são mineralizadas para frações inorgânicas (GATIBONI et al., 2008; CERETTA et al., 2010). Porém, caso a fonte orgânica usada seja de difícil decomposição, como alguns dejetos sólidos de animais, especialmente aqueles com alta relação C/N, a maior parte do P contido nela permanecerá no solo em frações orgânicas (OTABBONG et al., 1997).

Em solos de vinhedos nas mais tradicionais regiões vitivinícolas do Mundo são escassos os trabalhos sobre o acúmulo de frações de P no solo e no Brasil são inexistentes. Porém, como normalmente os vitivinicultores, como aqueles dos Estados do RS e

SC, aplicam doses de fertilizantes fosfatados solúveis ou fontes orgânicas de P, sem considerar os critérios de predição de adubação para a cultura (CQFS-RS/SC, 2004), tem-se verificado aumento dos seus teores ao longo dos anos em solos cultivados com videira. Isso pode ser comprovado pelos trabalhos de Casali et al. (2008), em solos cultivados com videira durante 40 anos na Serra Gaúcha do RS, que encontrou, na camada de 0-20 cm, em um solo Neossolo Litólico e em outro Cambissolo Húmico, teores de 104 e 140 mg kg⁻¹ de P disponível (extraído por Mehlich 1), respectivamente, ambos classificados como muito alto em um solo com classe textural 3 (40-21% de argila). Teores muito altos de P (30,6 mg kg⁻¹), em um solo Neossolo Litólico (classe textural 3) cultivados com videira durante 17 anos na Serra Gaúcha também são relatados por Brunetto et al. (2006). Esses autores, porém em outro estudo, relatam teores altos de P (40 mg kg⁻¹) em um solo Argissolo Vermelho (classe textural 4, <20% de argila), cultivado com videira na região da Campanha Gaúcha do RS (BRUNETTO et al., 2007). Da mesma forma, Mafra (2009) relata teores de P disponível de até 57 mg kg⁻¹ de solo, considerado muito alto (classe textural 2, 60-41% de argila), em solos cultivados com videira no município de São Joaquim (SC). Assim, como se sabe que a adsorção do P aplicado ocorre inicialmente nos sítios mais ávidos e de maior força de ligação e, posteriormente, o P remanescente é redistribuído em frações com menor energia de ligação (RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001), espera-se que quanto maior for à quantidade aplicada de fertilizantes fosfatados ao longo dos anos em vinhedos, maior será a saturação dos sítios de maior energia de ligação e, por consequência, mais biodisponível será o P. Mas, também acredita-se que ao longo dos anos aconteça a saturação das superfícies de adsorção das partículas reativas do solo (BOLLAND et al., 1996; BERWANGER et al., 2008), especialmente em solos com textura arenosa e com baixos teores de óxidos de Fe (NOVAIS & SMYTH, 1999), como aqueles cultivados com videiras na região da Campanha do RS e Sul de SC, o que diminui a energia de adsorção do P. Com isso, espera-se maior disponibilidade de P para as plantas, como a videira ou até para as plantas que co-habitam os vinhedos, mas por outro lado, maior será o potencial de transferência do nutriente pela solução escoada na superfície do solo ou percolada no perfil do solo, causando a contaminação das águas (JORDAN et al., 2000; RAMOS & MARTÍNEZ-CASASNOVAS, 2006).

A estimativa da disponibilidade, assim como da probabilidade de transferências de P são melhoradas aliando-se aos resultados do fracionamento químico de P no solo, a sua capacidade máxima de adsorção no solo (CMAP), que é estabelecida pelas isotermas de adsorção, ajustadas pelo modelo matemático proposto por Langmuir, que relacionam o P sorvido e na solução (BARROW, 1983; NOVAIS & SMYTH, 1999). Por esse modelo é possível observar a diminuição da CMAP com a adição de P, especialmente, nas camadas mais superficiais de solos com histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados, como os de vinhedos, que recebem a adição de P ao longo dos anos na superfície do solo. Os valores de CMAP são dependentes da quantidade de sítios adsorptivos, estabelecidos pela composição mineralógica do solo, pela área superficial específica das partículas e pela cristalinidade dos constituintes minerais do solo, bem como pelos valores de pH do solo, da quantidade de P previamente sorvida e da presença de ânions orgânicos, dentre outros fatores de menor importância (SPOSITO, 1989; BERWANGER et al., 2008).

De acordo com Boschetti et al. (2009), um solo com 900 g kg^{-1} de areia apresentou uma CMAP de $157 \text{ mg de P kg}^{-1}$ de solo, muito abaixo dos valores normalmente encontrados em solos com textura argilosa, o que concorda com os dados obtidos por Hernández & Meurer (1998), que avaliaram a CMAP em 10 diferentes solos do Uruguai e também com Bubba et al. (2003) em solos da Dinamarca. Isso pode ser atribuído aos baixos teores de óxidos de Fe e de Al presentes nesses solos.

Os ajustes da isoterma de adsorção de P por outros modelos, como o proposto por Koski-Vähälä & Hartikainen (2001), agregam a quantidade de P desorvida em água destilada (Q_o), permitindo calcular a concentração necessária de P na solução para a metade da adsorção máxima (km) e a concentração de equilíbrio de P (CEP) (KOSKI-VÄHÄLÄ & HARTIKAINEN, 2001; SINAJ et al., 2002). Esse último parâmetro pode ser usado como indicador ambiental (BERWANGER et al., 2008; PELLEGRINI et al., 2008), tanto para prever a possibilidade de percolação de P no perfil do solo até águas subsuperficiais, quanto pela solução escoada até corpos de águas superficiais (AJMONE-MARSAN et al., 2006; GATIBONI et al., 2007; GATIBONI et al., 2008; CHIEN et al., 2011).

Por fim, com base nos resultados de frações de P em solos, como aqueles de textura arenosa cultivados com videira em duas importantes regiões vitivinícolas do RS e SC, bem como os

parâmetros relacionados à isoterma de Langmuir e de Koski-Vähälä & Hartikainen (2001), espera-se inferir sobre a disponibilidade de P para as videiras e plantas que co-habitam os vinhedos, mas especialmente, sobre o real potencial de contaminação de recursos naturais, como as águas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Estudo 1 - Acúmulo de fósforo e potencial contaminante em solos com textura arenosa e cultivados com videira na região da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil.

5.1.1 Descrição do experimento

O presente Estudo foi realizado no Laboratório de Solos, Água e Tecido Vegetal do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis (SC), região Sul do Brasil, com amostras de solos derivadas de vinhedos comerciais, localizados no município de Santana do Livramento, região da Campanha do Estado do Rio Grande do Sul (RS). Um dos solos predominantes na região, normalmente sob campo nativo e submetido ao cultivo de videiras é o Argissolo Vermelho (EMBRAPA, 2006), com textura superficial arenosa, substrato granito e com predomínio de argila 1:1. O clima da região é subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de 18,2°C e precipitação anual média de 1.400 mm.

Em Dezembro de 2010, foi selecionada uma área de campo nativo, sem histórico de cultivo e aplicação de fertilizantes fosfatados, que foi utilizado como referência e dois vinhedos com idades distintas e, por consequência, com diferentes históricos de adubação com fontes de P. O vinhedo 1 (latitude 30°46'50" S e longitude 55°23'22" W) era formado pela cultivar Tannat, enxertada sobre o porta-enxerto SO4, implantado em 1996, na densidade de 2.525 plantas por hectare (1,2 x 3,3 m), no sistema de condução espaldeira e ocupava uma área de, aproximadamente, seis hectares. O vinhedo 2 (latitude 30°47'12" S e longitude 55°22'25" W) era formado pela cultivar Tannat, enxertada sobre o porta-enxerto SO4, implantado em 1980, na densidade de 1.429 plantas por hectare (2,2 x 3,5 m), no sistema de condução espaldeira e ocupava uma área de cerca de cinco hectares. Nos dois vinhedos, antes do plantio das videiras foi aplicado calcário para elevar o pH em água até 6,0, na superfície do solo, seguido de incorporação. No vinhedo 1, na adubação de pré-plantio foi aplicado 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na superfície do solo, com posterior incorporação. No vinhedo 2, na adubação de pré-plantio foi aplicado 145 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na

superfície do solo, com posterior incorporação. No vinhedo 1 e 2, a partir do terceiro ano depois do plantio, quando iniciou a produção de uva e, por consequência, a adubação de manutenção (CQFS-RS/SC, 2004) foi aplicado anualmente cerca de, 50 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano⁻¹ na superfície do solo, sem incorporação. A fonte de P_2O_5 usada ao longo dos anos, em geral, foi o superfosfato triplo. Ao longo dos anos, as linhas de plantio das videiras foram submetidas a aplicações periódica do herbicida para o controle de plantas invasoras. Já nas entrelinhas foi mantida a vegetação espontânea, composta de *Lolium perenne*, *Paspalum notatum* e *Trifolium repens*. Periodicamente essa vegetação foi submetida a roçadas, sendo os seus resíduos depositados na superfície do solo.

5.1.2 Coleta de solo, análise das propriedades do solo, fracionamento de fósforo e isotermas de adsorção de fósforo.

Em janeiro de 2011, 14 anos após a implantação do vinhedo 1 e anos depois da instalação do vinhedo 2, seis trincheiras (0,3 x 0,5 x 0,5 m) foram abertas em cada vinhedo, aleatoriamente, em linhas de plantio e em na área de campo nativo adjacente aos vinhedos. Em seguida, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e reservadas. Logo depois, o solo foi seco em estufa com ar forçado com temperatura de 45°C. Em seguida, o solo foi moído, passado em peneira com malha de 2 mm e reservado em três partes. A primeira parte do solo foi submetida à análise da distribuição granulométrica dos constituintes do solo, pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Além disso, foi determinado os valores de pH em água (1:1), os teores de alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis (extrator KCl 1 mol L⁻¹) e K trocável (extrator Mehlich 1), seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995) (Tabela 1). A determinação do carbono orgânico total (COT) foi realizada conforme metodologia proposta pela Embrapa (1997). Também foram determinados os teores de Fe extraído por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (MEHRA & JACKSON, 1960) e por oxalato de amônio (TEDESCO et al., 1995). Com os dados obtidos foram calculados os valores de H+Al, com a equação proposta por Kaminski et al. (2001) e adotada pela CQFS-RS/SC (2004). A capacidade de troca de cátion a pH 7,0 (CTC_{pH7,0}) e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_{efetiva}), a saturação da CTC_{pH 7,0} por

bases e a saturação da $CTC_{efetiva}$ por alumínio foram calculadas pelas equações estabelecidas pela CQFS-RS/SC (2004).

A segunda parte das amostras de solos reservadas foi submetida ao fracionamento químico de P, conforme metodologia proposta por Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condrón et al. (1985), descrita resumidamente a seguir: amostras de 0,5 g de solo foram submetidas à extração seqüencial com resina trocadora de ânions (fração Pi_{RTA}); $NaHCO_3$ 0,5 mol L^{-1} (fração Pi_{bic} e Po_{bic}); $NaOH$ 0,1 mol L^{-1} (fração Pi_{hid} e Po_{hid}); HCl 1 mol L^{-1} (fração Pi_{HCL}) e $NaOH$ 0,5 mol L^{-1} (fração Pi_{hid05} e Po_{hid05}). Após as extrações, o solo remanescente foi seco em estufa a 50 °C e submetido à digestão com $H_2SO_4 + H_2O_2 + MgCl_2$ ($P_{residual}$), conforme descrito por Gatiboni (2003). O P inorgânico dos extratos alcalinos de $NaHCO_3$ e $NaOH$ foi determinado pelo método proposto por Dick & Tabatabai (1977). Nesses extratos alcalinos, o P total foi determinado por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico, em autoclave, sendo o P orgânico obtido pela diferença entre P total e o P inorgânico. O P dos extratos ácidos foi determinado conforme Murphy & Riley (1962). As formas de P do fracionamento de Hedley et al. (1982) foram agrupadas em P geoquímico e biológico (CROSS & SCHLESINGER, 1995). O P geoquímico foi obtido pela soma das frações inorgânicas mais o P residual ($Pi_{RTA} + Pi_{bic} + Pi_{hid} + Pi_{hid05} + Pi_{HCL} + P_{residual}$) e o P biológico pela soma das frações orgânicas ($Po_{bic} + Po_{hid} + Po_{hid05}$).

Tabela 1 Atributos físicos e químicos de um solo Argissolo Vermelho em área de campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo), em três camadas na região da Campanha do Estado do RS.

Atributos do solo	Campo nativo (0 anos de cultivo)			Vinhedo 1 (14 anos de cultivo)			Vinhedo 2 (30 anos de cultivo)		
	cm			cm			cm		
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Argila ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	36,0	135,0	81,0	132,0	112,0	119,0	47,0	72,0	100,0
Areia ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	825,0	826,0	804,0	764,0	764,0	735,0	793,0	799,0	786,0
Silte ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	139,0	39,0	116,0	104,0	124,0	146,0	160,0	130,0	114,0
COT ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	7,0	5,0	2,0	9,0	4,0	4,0	8,0	4,0	4,0
pH - H ₂ O ⁽³⁾	4,0	4,0	4,2	5,9	5,3	5,3	6,0	5,8	5,7
P ⁽⁴⁾ (mg kg ⁻¹)	11,5	7,5	5,0	45,9	31,4	15,8	70,2	58,5	57,6
K ⁽⁵⁾ (mg kg ⁻¹)	27,0	27,0	22,0	90,3	52,6	34,9	60,0	43,3	36,2
Ca ⁽⁶⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	1,3	0,6	0,4	1,8	1,1	0,8	2,3	1,3	1,0
Mg ⁽⁶⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	0,7	0,4	0,3	0,7	0,5	0,4	0,8	0,5	0,5
Al ⁽⁶⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	0,2	0,4	0,4	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
H + Al ⁽⁷⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	2,3	2,1	2,0	3,0	2,9	3,3	2,1	2,5	2,3
CTC _{pH7,0} ⁽⁸⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	4,4	3,2	2,8	5,7	4,6	4,6	5,4	4,4	3,9
CTC _{efetiva} ⁽⁹⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	2,3	1,5	1,2	2,7	2,2	2,0	3,3	1,9	1,6
Fe DCB ⁽¹⁰⁾ (g kg ⁻¹)	4,6	4,9	5,4	10,8	10,7	10,4	5,1	4,6	5,1
Fe oxalato ⁽¹¹⁾ (g kg ⁻¹)	0,4	0,5	0,6	1,5	1,4	1,2	0,6	0,5	0,6

⁽¹⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Embrapa (1999); ⁽³⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995); ⁽⁴⁾ P disponível : Extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁵⁾ K trocável: Extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁶⁾ Ca, Mg, Al trocáveis: Extraído por KCl 1 mol L⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁷⁾ H+Al = $e^{10,665 - 1,1483 \cdot \text{pH SMP}} / 10$; ⁽⁸⁾ CTC_{pH 7,0} = H + Al + (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺); ⁽⁹⁾ CTC_{efetiva} = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺ + Al³⁺; ⁽¹⁰⁾ Fe extraído por ditionito-citrato bicarbonato (MEHRA & JACKSON, 1960); ⁽¹¹⁾ Fe extraído por oxalato de amônio (TEDESCO et al., 1995).

As amostras de solo reservadas referentes às camadas de 0-5 e 10-20 cm foram submetidas à determinação dos parâmetros das isotermas de adsorção de P. Assim, 1,0 g de solo seco foi adicionado em tubos *falcon* de 15 mL. Em seguida, foi adicionado 10 mL da solução de CaCl_2 $0,001 \text{ mol L}^{-1}$, contendo 7 concentrações de P (0; 0,5; 1; 2; 5; 10 e 20 mg L^{-1}), equivalendo a 0; 5; 10; 20; 50; 100 e $200 \text{ mg de P kg}^{-1}$ de solo, respectivamente. Logo depois, os tubos foram submetidos, durante 16 h, à agitação contínua em agitador “end-over-end” com 33 rpm em temperatura de $\pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 1350 g por 10 minutos e no extrato foi determinado o teor de P remanescente na solução, pelo método de Murphy & Riley (1962). O P sorvido foi estimado pela diferença entre a quantidade adicionada e a recuperada na solução de equilíbrio. Posteriormente, os dados foram ajustados pelo modelo matemático de Langmuir de um sítio de adsorção (Equação 1), descrito por Barrow (1983):

$$P_{\text{sorvido}} = (k \text{ CMAP} * P_{\text{solução}}) / (1 + k P_{\text{solução}}) \quad \text{Equação 1}$$

onde: *CMAP* é a capacidade máxima de adsorção de P; *k* é uma constante que fornece informações sobre a afinidade do adsorbato pela superfície do substrato e $P_{\text{solução}}$ é a concentração de P na solução de equilíbrio.

A concentração de equilíbrio de P (CEP) foi obtida pelo ajuste dos dados pelo modelo matemático proposto por Koski-Vähälä & Hartikainen (2001). Esses autores introduziram a quantidade de P dessorvido em água destilada (Q_o) que é visualmente representada pelo ponto da intersecção no eixo das ordenadas, e a CEP, pela intersecção no eixo *x* (Equação 2):

$$P_{\text{sorvido}} = (\text{CMAP} * P_{\text{solução}}) / (km + P_{\text{solução}}) - Q_o \quad \text{Equação 2}$$

onde: *CMAP* é a capacidade máxima de adsorção de P; $P_{\text{solução}}$ é a concentração de P na solução de equilíbrio; Q_o é a quantidade de P dessorvido em água destilada e *km* é a concentração de P na solução que permite a metade da adsorção máxima de P.

5.2 Estudo 2 - Acúmulo de fósforo e potencial contaminante em solos com textura arenosa e cultivados com videira na região Sul do Estado de Santa Catarina, Brasil.

5.2.1 Descrição do experimento

O presente Estudo, como o Estudo 1, foi realizado no Laboratório de Solos, Água e Tecido Vegetal do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis (SC), com amostras de solos derivadas de vinhedos comerciais, localizados no município de Urussanga, região Sul de SC. O solo predominante na região e normalmente cultivado com videira é o Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006), com textura superficial arenosa, substrato granito e com predomínio de argila 1:1 (UBERTI, 2005). O clima da região, segundo classificação proposta por Köppen-Geiger é subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de 19,4 °C e precipitação anual média de 1.619 mm.

Em dezembro de 2010 foram selecionados dois vinhedos com idades distintas e, por consequência, com diferentes históricos de adubação com fertilizantes fosfatados. O vinhedo 1 (latitude 28°34'34,2'', longitude 49° 16' 07'' e altitude de 29 m) era formado pela cultivar Niágara Rosada, enxertada sobre o porta-enxerto Paulsen 1103, implantado em 2006, na densidade de 3.333 plantas por hectare (1,0 m x 3,0 m), no sistema de condução latada e ocupava uma área de, aproximadamente, um hectare. O vinhedo 2 (latitude 28°33'49,5'', longitude 49° 15'50,2'' e altitude de 24 m) era formado pela cultivar Niágara Rosada, enxertada sobre o porta-enxerto Paulsen 1103, implantado em 1995, na densidade de 3.030 plantas por hectare (1,1 m x 3,0 m), no sistema de condução latada e ocupava uma área de, aproximadamente, um hectare. Nos dois vinhedos, antes do plantio das videiras foi aplicado calcário para elevar o pH em água até 6,0, na superfície do solo, seguido de incorporação. Em seguida foram aplicados 400 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na superfície, com posterior incorporação. Além disso, a partir do segundo ano após o plantio, quando iniciou a produção de uva e, por consequência, a adubação de manutenção (CQFS-RS/SC, 2004) foram aplicados anualmente, aproximadamente, 90 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 60 kg

de $K_2O\ ha^{-1}$, na superfície do solo, sem incorporação. Geralmente a fonte de adubação usada foi o superfosfato triplo e a de K o cloreto de potássio. Ao longo dos anos, as linhas de plantio das videiras foram submetidas a aplicações periódicas de herbicidas para o controle de plantas invasoras. Já nas entrelinhas foi mantida a vegetação espontânea, composta de *Lolium perenne*, *Amaranthus deflexus*, *Paspalum notatum* e *Trifolium repens*. Periodicamente essa vegetação foi submetida a roçadas, sendo os seus resíduos depositados na superfície do solo. Neste estudo não foi inserido os resultados do solo de área de mata nativa, sem histórico de cultivo, que serve de comparação. Esses dados não foram inseridos porque o solo de mata nativa foi coletado em área adjacente aos vinhedos, mas com possível histórico de inundações de águas derivadas do Rio Urussanga. Estas águas possuem histórico de transporte de resíduos de mineração, que aumentam consideravelmente os teores de óxidos de Fe no solo, que pode afetar a dinâmica do P no solo.

5.2.2 Coleta de solo, análise das propriedades do solo, fracionamento de P e isotermas de adsorção de P

Em dezembro de 2010, 4 anos após a implantação do vinhedo 1 e 15 anos depois da instalação do vinhedo 2, seis trincheiras (0,3 x 0,5 x 0,5 m) foram abertas em cada vinhedo, aleatoriamente, em linhas de plantio das videiras. Em seguida, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e reservadas. Logo depois, o solo foi seco em estufa com ar forçado com temperatura de 45° C. Em seguida, o solo foi moído, passado em peneira com malha de 2 mm e reservado em três partes. A primeira parte do solo foi submetida à análise da distribuição granulométrica dos constituintes do solo conforme descrito no material e métodos do Estudo 1 (Tabela 2).

A segunda parte das amostras de solos reservadas foi submetida ao fracionamento químico de P, conforme metodologia de Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condrón et al. (1985), como detalhado no Estudo 1. Já as amostras de solo reservadas das camadas de 0-5 e 10-20 cm foram submetidas à determinação dos parâmetros das isotermas de adsorção de P. Assim, 1,0 g de solo seco foi adicionado em tubos *falcon* de 15 ml. Em seguida, foram adicionados 10 ml da solução de $CaCl_2\ 0,001$

mol L⁻¹, contendo 11 concentrações de P (0; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200 e 300 mg L⁻¹), equivalendo a 0; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000 e 3000 mg de P kg⁻¹ de solo, respectivamente. Logo depois, os tubos foram submetidos, durante 16 h, à agitação contínua em agitador “end-over-end” com 33 rpm em temperatura de ±25°C. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 1350 g por 10 minutos e no extrato foi determinado o teor de P remanescente na solução pelo método de Murphy & Riley (1962). O P sorvido foi estimado conforme relatado no Estudo 1.

Tabela 2 Atributos químicos e físicos em diferentes camadas (cm), em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.

Atributos do solo	Vinhedo 1 (4 anos de cultivo)			Vinhedo 2 (15 anos de cultivo)		
	cm			cm		
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Argila ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	96,5	111,6	104,8	88,0	135,0	202,1
Areia ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	623,0	614,0	604,1	586,0	560,8	523,4
Silte ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	280,7	274,3	291,1	323,3	303,8	274,7
COT ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	18,1	14,9	15,9	26,7	19,4	16,6
pH - H ₂ O ⁽³⁾	5,3	5,3	5,4	6,3	6,4	6,2
P disponível ⁽⁴⁾ (mg kg ⁻¹)	82,3	48,3	22,7	483,0	424,6	196,0
K trocável ⁽⁴⁾ (mg kg ⁻¹)	249,9	157,1	129,8	275,6	237,6	257,2
Ca trocável ⁽⁵⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	3,7	4,1	3,8	5,5	4,9	4,1
Mg trocável ⁽⁵⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	3,4	3,1	2,9	3,3	3,2	3,2
Al trocável ⁽⁵⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	0,5	0,6	0,7	0,0	0,0	0,0
H + Al ⁽⁶⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	5,2	5,0	5,1	2,5	2,6	3,1
CTC _{pH 7,0} ⁽⁷⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	12,9	12,6	12,1	12,0	11,3	11,1
CTC _{efetiva} ⁽⁸⁾ (cmol _c kg ⁻¹)	8,2	8,2	7,7	9,5	8,7	8,0
Fe DCB ⁽⁹⁾ (g kg ⁻¹)	27,1	28,0	29,6	17,5	21,5	27,7
Fe oxalato ⁽¹⁰⁾ (g kg ⁻¹)	6,9	6,9	7,0	2,8	3,1	3,3

⁽¹⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Embrapa (1999); ⁽³⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995); ⁽⁴⁾ Extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁵⁾ Extraído por KCl 1 mol L⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁶⁾ $H+Al = e^{10,665 - 1,1483 \cdot pH \cdot SMP} / 10$; ⁽⁷⁾ $CTC_{pH 7,0} = H + Al + (Ca^2 + Mg^2 + K^+)$; ⁽⁸⁾ $CTC_{efetiva} = Ca^2 + Mg^2 + K^+ + Na^+ + Al^+$; ⁽⁹⁾ Fe extraído por ditionito-citrato bicarbonato (MEHRA & JACKSON, 1960); ⁽¹⁰⁾ Fe extraído por oxalato de amônio (TEDESCO et al., 1995).

6 Análise estatística

Os teores de P obtidos no fracionamento químico das amostras de solo do Estudo 1 e 2 foram submetidos à análise de variância e quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha= 5\%$), usando o SAS 9.1.3 (SAS, 2003).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Acúmulo de fósforo e potencial de contaminação em solos com textura arenosa e cultivados com videira na região da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil.

7.1.1 Fracionamento de fósforo no solo

O P inorgânico extraído pela resina trocadora de íons (RTA) e pelo NaHCO_3 (Pi_{bic}), bem como o P orgânico extraído por NaHCO_3 (Po_{bic}) são os primeiros extratores utilizados no fracionamento químico de P (HEDLEY et al., 1982). Esses extratores acessam frações de P lábeis que podem contribuir ativamente no suprimento do nutriente para as plantas e parte desse P pode ser transferidos pela solução escoada na superfície do solo até espelhos de águas superficiais, mas também por percolação no perfil do solo, potencializando a contaminação de águas subterrâneas (GRAETZ & NAIR 1995; GATIBONI et al., 2008; PIZZEGHELLO et al., 2011). No solo sob campo nativo e do vinhedo 1 e 2, os maiores teores de Pi_{RTA} foram encontrados na camada superficial do solo (0-5 cm) (Tabela 3), diminuindo em profundidade. No entanto, nas camadas 5-10 e 10-20 cm do solo do vinhedo 2, o teor de P extraído pela resina trocadora de ânions foi maior que o encontrado no solo do vinhedo 1, sendo maiores que os observados no solo do campo nativo.

Tabela 3 Frações de fósforo inorgânico extraído por resina trocadora de ânions (P_{iRTA}) e $NaHCO_3$ (P_{ibic}) e fósforo orgânico extraído por $NaHCO_3$ (P_{obic}), em um Argissolo Vermelho em área de Campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo), em três camadas na região da Campanha do Estado do RS.

Frações de P	Camada	Campo nativo	Vinhedo 1	Vinhedo 2	CV
	cm	-----mg kg ⁻¹ -----			%
Fósforo inorgânico extraído pela RTA (P_{iRTA})	0-5	7,7 a ¹ B ²	22,1 aA	23,2 aA	2,3 7
	5-10	3,6 bC	16,2 bA	17,3 bA	3,0 9
	10-20	2,3 cC	5,4 cB	13,2 cA	2,3 2
	CV %	4,33	2,54	1,52	
Fósforo inorgânico extraído por $NaHCO_3$ 0,5 mol L ⁻¹ (P_{ibic})	0-5	3,1 aC	18,2 aB	21,7 aA	2,6 9
	5-10	2,7 aB	14,0 bA	15,0 bA	8,7 4
	10-20	2,3 aC	9,1 cB	13,5 bA	14, 27
	CV %	26,50	9,39	5,02	
Fósforo orgânico extraído por $NaHCO_3$ 0,5 mol L ⁻¹ (P_{obic})	0-5	1,7 bB	9,6 aA	8,7 aA	14, 69
	5-10	2,4 bB	8,6 aA	5,0 bAB	24, 95
	10-20	5,2 aA	2,1 bB	5,4 bA	8,4 2
	CV %	19,04	22,72	13,97	

⁽¹⁾⁽²⁾ Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Já os maiores teores de P_{ibic} no solo do vinhedo 1 e 2 foram encontrados na camada de 0-5 cm, mas no solo sob campo nativo os teores ao longo do perfil foram iguais. Porém, os maiores teores de P_{ibic} , em todas as camadas foram encontrados no vinhedo 2,

comparativamente ao solo do campo nativo e do vinhedo 1, com exceção dos teores observados na camada de 5-10 cm, onde os valores foram iguais entre o solo do vinhedo 2 e 1. Os maiores teores de Pi_{RTA} e Pi_{bic} nas camadas do solo do vinhedo 2, especialmente em relação ao vinhedo 1, podem ser atribuídos ao maior histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados e reforçam a idéia que as quantidades de fertilizantes fosfatados aplicados, durante a adubação de pré-plantio e de manutenção foram acima da demanda das plantas e, por isso, podem claramente potencializar o risco de transferência do elemento via solução escoada na superfície do solo e/ou até por percolação, uma vez que o solo dos vinhedos possuem textura arenosa e baixos teores de óxidos de Fe (Tabela 1). Além disso, o teor de P total nas folhas completas das videiras ao longo dos anos foi interpretado, em geral, como normal (0,12-0,40%) (dados não publicados) (CQFS-RS/SC, 2004) e, com isso, não era recomendada a aplicação de P. Porém, os vinhedos ao longo dos anos receberam a adição de 50 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1} . Assim, constata-se que a quantidade de P aplicada via adubação de manutenção está acima da necessidade do solo e das videiras, e pode ser uma das explicações para os altos teores de Pi_{RTA} e Pi_{bic} nos solos dos vinhedos.

No entanto, convém relatar que as quantidade de P detectadas nas frações RTA e Pi_{bic} , especialmente nas camadas 5-10 e 10-20 cm do vinhedo 2, que possui um histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados de 30 anos não foram muito superiores as observadas no vinhedo 1, submetido a aplicação de fertilizantes fosfatados durante 14 anos e isso pode ser atribuído a migração do P para camadas inferiores do solo (Tabela 3).

Os resultados de Pi_{RTA} e Pi_{bic} no solo concordam com os obtidos em outros trabalhos (ARAÚJO & SALCEDO 1997; OBERSON et al., 1999; DOBERMANN et al., 2002; ZHANG et al., 2004; HERLIHY & MCGRATH, 2007; BOSCHETTI et al., 2009; TOKURA et al., 2011), que também usaram a técnica do fracionamento químico de P e relatam que os teores destas duas frações aumentam com a dose de fertilizantes fosfatados solúveis aplicados ao longo do tempo.

No solo do vinhedo 1 e 2, os maiores teores de Po_{bic} foram encontrados nas camadas mais superficiais do solo, no vinhedo 1 até 10 cm e no vinhedo 2 até 5 cm (Tabela 3). No entanto, os maiores teores de Po_{bic} até a camada de 10-20 cm foram observados no solo do vinhedo 2, comparativamente ao solo do vinhedo 1 e do campo nativo, com exceção do solo da camada de 10-20 cm do campo nativo. Os maiores teores de Po_{bic} , especialmente nas camadas de 0-

5 e 5-10 cm dos solos dos vinhedos 1 e 2 podem ser atribuídos a deposição, com posterior decomposição, de resíduos vegetais derivados da parte aérea de espécies de plantas de cobertura que coabitam os vinhedos, bem como de ramos podados, folhas senescentes das videiras e, inclusive, de raízes senescentes, tanto das plantas de cobertura, quanto das videiras (BRUNETTO et al., 2008; BRUNETTO et al., 2009; BRUNETTO et al., 2011b), que colaboram na ciclagem de P (MARTINAZO et al., 2007).

As frações de P inorgânico extraídas por NaOH 0,1 mol L⁻¹ (P_{hid}) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (P_{hid05}) representam em geral, o P inorgânico ligado aos óxidos e às argilas silicatadas com energia de ligação intermediária, assim como o P orgânico extraído por NaOH 0,1 mol L⁻¹ (P_{hid}) e por 0,5 mol L⁻¹ (P_{hid05}) representam o P orgânico de média e baixa labilidade, respectivamente (CROSS & SCHLESINGER, 1995) (Tabela 4). As frações de P_{hid} no solo da área de campo nativo foram iguais até a profundidade de 20 cm, mas nos solos do vinhedo 1 e 2 os maiores teores foram encontrados na camada de 0-5 cm. Os maiores teores de P_{hid} e P_{hid05} em todas as camadas avaliadas foram encontrados no solo do vinhedo 1 e 2, o que pode ser atribuído em parte ao histórico de aplicação de fertilizantes. Por outro lado, os teores de P_{hid} no solo da área de campo nativo, foram maiores até a profundidade de 10 cm, mas no solo do vinhedo 1, os maiores teores foram encontrados até a camada de 0-5cm e no solo do vinhedo 2 foram iguais até a profundidade de 20 cm (Tabela 4).

Tabela 4 Fósforo inorgânico e orgânico extraído por NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pi_{hid} e Po_{hid}) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pi_{hid05} e Po_{hid05}) em um Argissolo Vermelho em área de campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo), em três camadas na região da Campanha do Estado do RS.

Frações de P	Camada	Campo Nativo	Vinhedo 1	Vinhedo 2	CV	
			mg kg ⁻¹			%
	cm		-----			
P inorgânico extraído por NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (Pi _{hid})	0-5	11,9 a ¹ B ²	34,6 aA	32,3 aA	6,72	
	5-10	7,6 aB	29,2 bA	25,3 bA	4,10	
	10-20	11,4 aB	20,5 cA	23,0 cA	5,88	
	CV %	16,85	4,03	2,77		
		0-5	8,9 abB	29,4 aA	25,8 aA	15,90
P orgânico extraído por NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (Po _{hid})	5-10	10,0 aB	18,9 bA	25,9 aA	2,19	
	10-20	6,2 bB	19,9 bA	20,8 aA	6,20	
	CV %	12,15	5,09	13,57		
		0-5	7,2 aB	18,7 aA	14,5 aA	4,72
	P inorgânico extraído por NaOH 0,5 mol L ⁻¹ (Pi _{hid05})	5-10	4,6 bB	14,7 bA	12,5 bA	9,20
10-20		6,7 aB	11,8 cA	12,0 bA	4,38	
CV %		9,23	2,70	4,30		
		0-5	2,1 aC	4,5 aB	9,4 aA	5,29
P orgânico extraído por NaOH 0,5 mol L ⁻¹ (Po _{hid05})		5-10	3,7 aA	2,6 bA	2,9 bA	14,07
	10-20	0,2 bB	0,2 cB	1,3 cA	13,96	
	CV %	19,18	13,19	4,26		

⁽¹⁾⁽²⁾ Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No entanto, os maiores teores de Po_{hid} para todas as camadas do solo foram encontrados no solo dos vinhedos 1 e 2. Esses dados concordam com os obtidos por Araújo et al. (1993), que em um solo Argissolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e com histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados solúveis ao longo de 25 anos, observaram acúmulo de Po_{hid} no perfil do solo, comparativamente ao solo de referência, uma área de mata nativa sem histórico de adubação fosfatada. Esses autores atribuem esse acúmulo de Po_{hid} ao acúmulo de Pi acima da capacidade de absorção da planta, fazendo com que o Po seja acumulado no solo. Os teores de Pi_{hid05} e Po_{hid05} acumularam-se até a camada de 0-5 cm e 5-10 cm respectivamente no solo da área de campo nativo do Estudo 1. Enquanto, nos solos do vinhedo 1 e 2, os maiores teores de Pi_{hid05} e Po_{hid05} foram encontrados na camada de 0-5 cm. Os teores de Pi_{hid05} foram similares, em todas as camadas avaliadas, nos vinhedos 1 e 2, mas foram maiores que os encontrados no solo de campo nativo. Já os teores de Po_{hid05} foram maiores na camada 0-5 e 10-20 cm no vinhedo 2, comparativamente ao solo do vinhedo 1 e campo nativo. Estes maiores teores de Po_{hid} e Po_{hid05} nos vinhedos 1 e 2 pode estar associado à sucessivas deposições de resíduos culturais na superfície do solo, tanto no vinhedo 1, quanto no vinhedo 2, principalmente nesse, que possui 30 anos de cultivo, comparativamente ao vinhedo 1, o qual tem 14 anos de idade (BRUNETTO et al., 2008; BOSCHETTI et al., 2009; BRUNETTO et al., 2009; BRUNETTO et al., 2011b).

O teor de P inorgânico extraído por HCl 1 mol L⁻¹ (Pi_{HCL}), segundo Cross & Schlesinger (1995), extrai preferencialmente as frações ligadas ao cálcio. Os maiores teores de Pi_{HCL} foram encontrados na camada mais superficial do solo (0-5 cm), na área de campo nativo, no vinhedo 1 e 2 (Tabela 5). Mas em todas as camadas os maiores teores de Pi_{HCL} foram encontrados no vinhedo 2, que possui maior tempo de cultivo e maior histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados, seguido pelo solo do vinhedo 1. Convém relatar que o Pi_{HCL} , ligado ao cálcio é normalmente derivado de minerais primários apatíticos, contudo nos solos medianamente intemperizados, como os encontrados na região da Campanha Gaúcha do RS, onde localiza-se a cidade de Santana do Livramento, a ocorrência de apatitas é rara, não sustentando esta hipótese. Mas Rheinheimer & Anghinoni (2001) comentam que em solos sob sistema plantio direto do Sul do Brasil, pode ocorrer o incremento das frações de P-cálcio no solo submetido a aplicação contínua de

adubos fosfatados na camada superficial do solo. Assim, é provável que fenômeno semelhante tenha ocorrido nestes dois vinhedos, especialmente, no vinhedo 2, porque normalmente os vitivinicultores nem sempre definem a necessidade e a dose de P em solos de vinhedos com base em critérios técnicos estabelecidos para a cultura e, por isso, as quantidades do nutriente são aplicadas acima da necessidade da cultura. Somado a isso é baixa a exportação de P via cacho de uva e, por tudo isso, espera-se o acúmulo de P em várias frações de P no solo, inclusive permitindo a manutenção de parte do P ligado ao cálcio, derivado do próprio fosfato (como fosfato apatítico, dicálcico e octacálcico) ou do calcário (Tabela 1), adicionado para corrigir a acidez do solo, especialmente antes do plantio das videiras.

O teor de P extraído por $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{MgCl}_2$ ($\text{P}_{\text{residual}}$), que é uma fração recalcitrante de P de difícil acesso pelos extratores químicos seletivos no solo e que pode contribuir para a nutrição das plantas apenas em situações de extrema carência do nutriente no solo (GATIBONI et al., 2007), foram iguais entre as profundidades no solo da área de campo nativo (Tabela 5). Já no solo dos vinhedos 1 e 2, os maiores teores foram encontrados na camada de 0-5cm. No entanto, os maiores teores de $\text{P}_{\text{residual}}$, em todas as camadas do solo foram encontrados no solo do vinhedo 1. Isso pode ser devido aos maiores teores de argila e óxidos de ferro extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato e por oxalato de amônio (Tabela 1). Esses dados concordam com os obtidos por Santos et al. (2008), que em um Argissolo Vermelho distrófico, com textura argilosa e com histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados ($180 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) durante três anos de cultivo com milho, encontraram predomínio da fração residual P na camada de 0-20 cm.

Tabela 5. Fósforo inorgânico extraído por HCl 1,0 mol L⁻¹ (P_{HCL}) e fração residual de fósforo (P_{residual}) em um Argissolo Vermelho em área de campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo) em três camadas na região da Campanha do Estado do RS.

Frações de P	Camada	Campo nativo	Vinhedo 1	Vinhedo 2	CV
	cm	-----mg kg ⁻¹ -----			%
P inorgânico extraído por HCl 1,0 mol L ⁻¹ (P _{HCL})	0-5	2,0 aC	16,4 aB	17,3 aA	2,22
	5-10	0,7 bC	5,4 bB	11,8 bA	4,02
	10-20	0,6 bC	3,3 cB	5,2 cA	5,84
	CV %	16,08	3,86	1,21	
Fósforo residual (P _{residual})	0-5	25,7 aC	64,1 aA	42,9 aB	4,25
	5-10	23,7 aC	39,7 bA	30,0 bB	3,11
	10-20	24,8 aB	35,3 bA	26,3 bB	4,26
	CV %	4,01	4,79	4,02	

(1) (2) Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de P geoquímico obtidos pela soma das frações (P_{RTA} + P_{bic} + P_{hid} + P_{hid05} + P_{HCL} + P_{residual}) foram maiores na camada de 0-5 cm, no solo do vinhedo 1 e 2 e também do campo nativo (Tabela 6). Porém, os maiores teores foram encontrados nas camadas de 0-5 e 5-10 cm no solo do vinhedo 1 e na camada de 10-20 cm no solo do vinhedo 2. Além disso, os teores de P geoquímico em todas as camadas dos solos do vinhedo 1 e 2 foram maiores que os observados no solo do campo nativo. Os teores P biológico (P_{bic}+P_{hid}+P_{hid05}) no solo sob campo nativo foram maiores até a camada de 5-10 cm. Já no solo do vinhedo 1 e 2, os maiores teores foram encontrados na camada de 0-5 cm, onde foi encontrado o maior valor de COT (Tabela 1). No entanto, em todas as camadas, os maiores valores de P biológico foram encontrados no solo dos vinhedos 1 e 2. Isso pode ser explicado em parte ao não

revolvimento do solo ao longo dos anos e a deposição de resíduos culturais na superfície do solo (TOKURA et al., 2002), mas somado a isso, é importante relatar que geralmente, em solos com elevado acúmulo de P em frações inorgânicas, como é o caso dos solos dos vinhedos em estudo, ocorre uma menor utilização de P em frações orgânicas (GATIBONI et al., 2008). Os maiores teores de P total, que representa a soma dos teores de todas as frações de P foram observadas na camada de 0-5 cm, nos solos dos dois vinhedos e de campo nativo (Tabela 6). Mas em todas as camadas os maiores teores foram encontrados nos solos dos vinhedos 1 e 2, comparativamente ao solo de campo nativo, concordando com os dados obtidos de P geoquímico e P biológico.

Tabela 6. Fósforo geoquímico, fósforo biológico e a soma de suas frações em um Argissolo Vermelho em uma área de Campo nativo, vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo), em três camadas na região da Campanha do Estado do RS.

Frações de Fósforo	Camada	Campo nativo	Vinhedo 1	Vinhedo 2	CV
	cm	-----mg kg ⁻¹ -----			%
P geoquímico	0-5	57,6 a ¹ C ²	174,1 aA	151,8 aB	2,40
	5-10	42,9 bC	119,2 bA	112,0 bB	1,01
	10-20	48,2 bC	85,5 cB	93,1 cA	2,55
	CV %	3,75	2,19	1,06	
P Biológico	0-5	12,6 abB	43,6 aA	44,0 aA	9,38
	5-10	16,1 aB	30,1 bA	33,9 bA	6,50
	10-20	11,6 bC	22,1 cB	27,6 bA	5,92
	CV %	10,88	5,44	7,48	
Soma de todas as frações	0-5	70,2 aC	217,7 aA	195,8 aB	2,50
	5-10	59,0 bB	149,3 bA	145,9 bA	1,96
	10-20	59,8 bC	107,6 cB	120,7 cA	2,70
	CV %	2,48	1,13	2,48	

(1)(2) Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

7.1.2 Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo

Na figura 1 verifica-se que a aplicação no solo de fertilizantes fosfatados no pré-plantio e de manutenção nos vinhedos 1 e 2 e, por consequência, a adsorção de parte desse P pelos grupos funcionais das partículas reativas nas camadas de 0-5 e 10-20 cm, alteraram a

curvatura da isoterma de adsorção de P no solo. Os maiores valores de capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), parâmetro ajustado pela equação de Langmuir, na camada de 0-5 cm, foram maiores no solo de campo nativo com 104,5 mg kg⁻¹. Esses maiores valores de CMAP do solo de Campo nativo, pode ser devido aos menores valores de P disponível (Tabela 1). Os menores valores de CMAP na camada de 0-5 cm no solo do vinhedo 1 e 2 podem ser explicados pelo longo histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados que recebeu aproximadamente 790 kg de P₂O₅ ha⁻¹ aplicados no vinhedo 1 durante 14 anos e 1640 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ao longo de 30 anos, maior que os, o que favoreceu a ocupação dos sítios de adsorção pelo elemento, especialmente, aqueles localizados em partículas inorgânicas reativas do solo (BARROW et al., 1998; NWOKE et al., 2003). Além disso, esses valores de CMAP são condizentes com esse tipo de solo, que possui baixa quantidade de sítios de adsorção de fosfatos, decorrente dos baixos teores de argila (Tabela 1) e também pela presença de argila do tipo 1:1 (RHEINHEIMER et al., 2003; UBERTI, 2005). Por outro lado, os valores de CMAP na camada de 10-20 cm no solo de campo nativo e dos vinhedos 1 e 2 foram de 82,3, 80,8 e 70,0 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 7). Não houve diferença estatística na CMAP entre as camadas amostradas no solo do vinhedo 1 e 2 e no campo nativo, somente entre os três solos avaliados (Tabela 7). Os valores da constante relacionada à afinidade do adsorbato na superfície do substrato (*k*) na camada de 0-5 e 10-20 cm, foram maiores no solo do vinhedo 1 (Tabela 7). No entanto, os maiores valores foram encontrados na camada de 10-20 cm em todos os solos avaliados. Os maiores valores de *k* no solo do vinhedo 1 podem ser causados pelos maiores valores de óxidos de Fe extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato e por oxalato de amônio (Tabela 1). Os menores valores de *k*, na camada de 0-5 cm dos solos avaliados, comparativamente aos obtidos na camada de 10-20 cm podem estar associados à ocupação dos sítios de adsorção das partículas reativas do solo pelos íons fosfatos (BOLLAND et al., 1996; NWOKE et al., 2003).

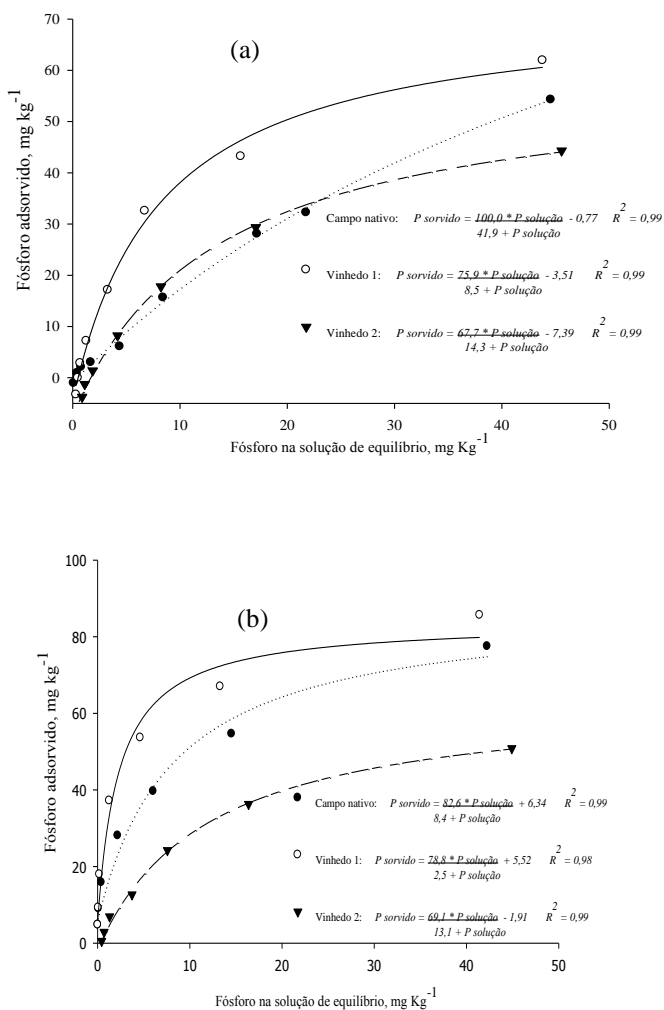


Figura 1. Relação entre o fósforo adsorvido e o fósforo na solução de equilíbrio nas camadas de 0-5 cm (a) e 10-20 cm (b), em um solo Argissolo Vermelho com campo nativo e cultivado com videiras, e ajustes de equação pelo modelo de Langmuir em cada camada na região da Campanha do Estado do RS.

Nos parâmetros da isoterma de adsorção ajustados pela equação proposta por Koski-Vähälä & Hartikainen (2001), os teores de CMAP no solo da camada de 0-5 cm e 10-20 cm foram semelhantes aos encontrados pela equação de Langmuir (Tabela 7). Já o maior valor da concentração de P na solução que permite a metade da adsorção máxima de P (k_m) na camada de 0-5 cm foi encontrado no solo de campo nativo. No entanto, as maiores concentrações de P desorvido em água (Q_0) foram encontradas no solo da camada de 0-5 cm, sendo que o solo do vinhedo 2 apresentou os maiores teores em comparação ao vinhedo 1 e ao solo de campo nativo. Já na camada de 10-20 cm, os maiores valores de Q_0 foram encontrados no solo do vinhedo 2, sendo que os valores encontrados no solo do campo nativo e do vinhedo 1 foram similares. No parâmetro concentração de equilíbrio de P (CEP), observou-se os maiores valores na camada 0-5 e 10-20 cm no solo do vinhedo 2. Esses resultados podem estar relacionados à maior quantidade aplicada de P no solo do vinhedo 2, especialmente pelas adubações de manutenção ao longo de 30 anos. A CEP é um parâmetro teórico importante no estudo do potencial poluente do solo, pois esse valor indica que, no caso de transferência do solo rico em P (sedimento) via erosão para um ambiente aquático, haverá potencial de liberação do elemento para as águas sempre que o teor de P solúvel na água do ambiente aquático for menor que a CEP. Dessa maneira, o solo da camada de 0-5 cm do vinhedo 2 possui um maior potencial contaminante para um sedimento, em comparação ao vinhedo 1 e ao solo de campo nativo.

Tabela 7 Parâmetros relacionados às isotermas de adsorção nas camadas de 0-5 e 10-20 cm de um Argissolo Vermelho sob campo nativo e vinhedo 1 (14 anos de cultivo) e vinhedo 2 (30 anos de cultivo) na região da Campanha do Estado do RS.

	camada (cm)	Campo nativo	Vinhedo 1	Vinhedo 2	CV %
Parâmetros ajustados pela equação de Langmuir					
CMAP ⁽¹⁾ (mg kg ⁻¹)	0-5	104,5 aA	77,0 aB	80,4 aB	9,59
	10-20	82,3 bA	80,8 aA	70,0 aA	12,06
	CV %	7,89	10,3	14,33	
k ⁽²⁾ (L mg ⁻¹)	0-5	0,0213 bB	0,1173 bA	0,0317 bB	37,37
	10-20	0,1993 aB	0,6789 aA	0,0731 aB	26,83
	CV %	42,07	23,99	30,72	
Parâmetros ajustados pela equação de Koski-Vähälä & Hartikainem					
CMAP (mg kg ⁻¹)	0-5	100,0 aA	75,9 aB	67,7 aB	7,26
	10-20	82,6 aA	78,8 aA	69,1 aA	13,20
	CV %	8,69	10,08	13,28	
km ⁽³⁾ (mg L ⁻¹)	0-5	41,9 aA	8,5 aB	14,3 aB	11,30
	10-20	8,4 bAB	2,5 bB	13,1 aA	36,91
	CV %	9,10	29,85	27,39	
Q _o ⁽⁴⁾ (mg L ⁻¹)	0-5	0,77 aC	3,51 aB	7,39 aA	17,90
	10-20	-6,34 bB	-5,52 bB	1,91 bA	18,08
	CV %	10,88	11,98	17,56	
CEP ⁽⁵⁾ (mg L ⁻¹)	0-5	0,32 aC	0,70 aB	1,78 aA	11,09
	10-20	-0,60 bC	-0,17 bB	0,33 bA	16,12
	CV %	15,43	13,92	14,26	

⁽¹⁾ Capacidade máxima de adsorção de fosfato. ⁽²⁾ Constante que pode fornecer informações sobre a afinidade do adsorbato para a superfície do substrato. ⁽³⁾ Concentração de P na solução que permite a metade da adsorção máxima de P. ⁽⁴⁾ Quantidade de P desorvida com água. ⁽⁵⁾ Concentração de equilíbrio de P. ^{ns} = não significativo. * Significativo a 5% de probabilidade de erro; ** Significativo a 1% de probabilidade de erro. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e na mesma profundidade, e maiúsculas em um mesmo tratamento, mas entre as profundidades, não diferem entre si pelo teste e Tukey ($\alpha = 5\%$).

7.2 Acúmulo de frações e potencial contaminante do fósforo em solos com textura arenosa e cultivados com videira na região Sul do Estado de Santa Catarina, Brasil.

7.2.1 Frações de fósforo no solo

No solo do vinhedo 1, com cinco anos de cultivo, os maiores teores de P_{iRTA} e P_{iBic} foram encontrados na camada de 0-5 cm (Tabela 8). Já no vinhedo 2, com dezesseis anos de cultivo, os maiores teores de P_{iRTA} foram encontrados até a camada de 5-10 cm e os maiores teores de P_{iBic} foram observados na camada de 0-5 cm. No entanto, em todas as camadas, o solo do vinhedo 2 apresentou os maiores teores de P_{iRTA} e P_{iBic} , comparativamente ao solo do vinhedo 1. Isso ocorre porque, o solo do vinhedo 2 possui dezesseis anos de histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados, 400 kg de P_2O_5 ha^{-1} na adubação de pré-plantio mais, aproximadamente, 90 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1} na adubação de manutenção. Convém ressaltar que, caso o teor de P no solo antes do plantio das videiras no vinhedo 1 e 2 fosse interpretado como muito baixo ($<7,0$ mg de P dm^{-3} , considerando na camada de 0-20 cm o teor médio de argila $<20\%$) (CQFS-RS/SC, 2004), a dose máxima recomendada seria de 150 kg de P_2O_5 ha^{-1} , para aumentar o teor de P no solo até o nível de suficiência. Isso mostra que as quantidades de P aplicadas foram superiores à necessidade da cultura. Além disso, o teor de P total nas folhas completas das videiras ao longo dos anos foi interpretado, em geral, como normal (0,12-0,40%) (dados não publicados) (CQFS-RS/SC, 2004) e, com isso, não era recomendada a aplicação de P, porém, os vinhedos ao longo dos anos receberam a adição de 90 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1} . Assim, constata-se que a quantidade de P aplicado via adubação de pré-plantio e de manutenção está acima da necessidade do solo e das videiras, e pode ser uma das explicações para os elevados teores de P_{iRTA} e P_{iBic} nos solos dos vinhedos, especialmente no vinhedo 2. Somado a isso, os dados de P_{iRTA} e P_{iBic} no solo concordam com os obtidos no estudo 1 e também em outros trabalhos (OBERSON et al., 1999; DOBERMANN et al., 2002; ZHANG et al., 2004; HERLIHY & McGRATH, 2007; BOSCHETTI et al., 2009; TOKURA et al., 2011), que usando a técnica do fracionamento químico de P, relatam que os teores destas duas frações do nutriente no solo aumentam com a dose aplicada de fertilizantes fosfatados

solúveis e elas tendem a ser maiores que outras frações acessadas por outros extratores ao longo do fracionamento.

Tabela 8. Frações de fósforo inorgânico extraído por resina trocadora de ânions (Pi_{RTA}) e $NaHCO_3$ (Pi_{bic}) e fósforo orgânico extraído por $NaHCO_3$ (Po_{bic}), em um Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.

Frações de P	Camada	Vinhedo 1 (4 anos de cultivo)	Vinhedo 2 (15 anos de cultivo)	CV
	cm	-----mg kg ⁻¹ -----		%
Fósforo inorgânico extraído pela RTA (Pi_{RTA})	0-5	56,7 aB	169,1 aA	1,49
	5-10	28,4 bB	171,0 aA	0,81
	10-20	18,4 cB	116,3 bA	0,57
	CV %	1,33	1,23	
Fósforo inorgânico extraído por $NaHCO_3$ 0,5 mol L ⁻¹ (Pi_{bic})	0-5	46,6 aB	94,4 aA	8,54
	5-10	28,2 bB	85,5 bA	1,37
	10-20	20,7 bB	73,5 cA	3,75
	CV %	18,95	2,54	
Fósforo orgânico extraído por $NaHCO_3$ 0,5 mol L ⁻¹ (Po_{bic}),	0-5	29,6 aA	46,2 aA	7,10
	5-10	13,6 bB	54,0 aA	2,74
	10-20	6,7 cB	21,2 bA	6,35
	CV %	11,71	5,33	

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste e Tukey ($\alpha = 5\%$).

No vinhedo 2, o teor de Pi_{RTA} na camada de 10-20 cm foi de 116,3 mg de P kg⁻¹, que é maior que o teor de 18,4 mg de P kg⁻¹ encontrado no solo do vinhedo 1 (Tabela 9) e, conforme a CQFS-RS/SC (2004), este valor é interpretado como muito alto (>40 mg dm⁻³). O aumento do teor de P nas camadas superficiais dos solos dos vinhedos, mas também em profundidade, especialmente no solo do vinhedo 2, reforçam a idéia que as quantidades de fertilizantes fosfatados aplicados, durante a adubação de pré-plantio e de manutenção foram acima da demanda das plantas e, por isso, podem

claramente potencializar o risco de transferência do P, via escoamento superficial e/ou até por percolação, uma vez que o solo dos vinhedos possuem textura arenosa e baixos teores de óxidos de ferro (Tabela 2).

No solo do vinhedo 1, os maiores teores de $P_{O_{bic}}$ foram encontrados na camada mais superficial do solo (0-5 cm), de acordo com a distribuição da matéria orgânica nas camadas amostradas (Tabela 9), mas no solo do vinhedo 2 os maiores teores de $P_{O_{bic}}$ foram observados até a profundidade de 10 cm. Neste mesmo vinhedo 2, em todas as camadas foram encontrados os maiores teores de $P_{O_{bic}}$, concordando com os valores obtidos no estudo 1, onde o solo com maior histórico de cultivo com videiras apresentou maiores teores de $P_{O_{bic}}$. Isto pode ser atribuído, provavelmente, a deposição, com posterior decomposição, de resíduos vegetais derivados da parte aérea de espécies de plantas de cobertura na superfície do solo, nas linhas e entrelinhas das videiras, bem como de ramos podados, folhas senescentes das videiras e, inclusive, de raízes senescentes, tanto das plantas de cobertura, como das videiras (BRUNETTO et al., 2008; BRUNETTO et al., 2009; BRUNETTO et al., 2011b), que colaboram na ciclagem de P (MARTINAZO et al., 2007).

As frações de P inorgânico extraídas por NaOH 0,1 mol L⁻¹ ($P_{i_{hid}}$) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ ($P_{i_{hid05}}$) representam em geral, o P inorgânico ligado aos óxidos e às argilas silicatadas com energia de ligação intermediária, assim como o $P_{O_{hid}}$ e $P_{O_{hid05}}$ representam o P orgânico de média e baixa labilidade, respectivamente (CROSS & SCHLESINGER, 1995) (Tabela 9). Os maiores teores de $P_{i_{hid}}$ e $P_{O_{hid}}$ no solo do vinhedo 1 e 2 foram encontrados na camada de 0-5 cm. Mas, os maiores teores de P inorgânico extraídos por NaOH 0,1 mol L⁻¹ em todas as camadas avaliadas foram observados no solo do vinhedo 2, com exceção na camada de 0-5 cm, em que os valores foram idênticos ao do vinhedo 1. Isso pode ser atribuído em parte ao maior histórico de cultivo do solo e as aplicações de fertilizantes realizadas anualmente nos solos do vinhedo 2, se comparado aos encontrados no solo do vinhedo 1. Os maiores teores de $P_{O_{hid}}$ em todas as camadas do solo foram encontrados no vinhedo 2, comparativamente ao solo do vinhedo 1. Isso pode ser atribuído ao acúmulo de material orgânico na superfície do solo, como as raízes das plantas e também da parte aérea de espécies de cobertura (BOSCHETTI et al., 2009; BRUNETTO et al., 2008; BRUNETTO et al., 2009; BRUNETTO et al., 2011b), assim como os ramos e as folhas senescentes de videiras, bem como a renovação de suas raízes

(BRUNETTO et al., 2008; BRUNETTO et al., 2009; BRUNETTO et al., 2011b). Já os teores de Pi_{hid05} dos vinhedos 1 e 2, tenderam a ser maiores na camada de 0-5 cm, mas os seus teores foram similares na mesma camada entre o solo dos dois vinhedos (Tabela 9), semelhante ao encontrado no estudo 1 (Tabela 4). Por outro lado, os teores de Po_{hid05} , do vinhedo 2 tenderam a ser similares entre as camadas, sendo maiores que os teores observados no vinhedo 1, indicando que em solo de textura arenosa e com alta adição de fertilizantes ao longo do tempo, o P orgânico se acumula não só na camada superficial, mas também nas sub-superficiais.

Tabela 9. Frações de fósforo extraídas pelo extrator NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pi_{hid} e Po_{hid}) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pi_{hid05} e Po_{hid05}), em um Argissolo Vermelho amarelo sob solo cultivado com videiras na região Sul de SC.

Frações de P	Camada	Vinhedo 1 (4 anos de cultivo)	Vinhedo 2 (15 anos de cultivo)	CV
	cm	-----mg kg ⁻¹ -----		%
	0-5	111,6 aA	131,1 aA	5,34
Fósforo inorgânico extraído por NaOH 0.1 mol L ⁻¹ (Pi _{hid})	5-10	74,6 bB	114,0 bA	0,36
	10-20	57,0 cB	74,6 cA	0,89
	CV %	6,10	1,43	
	0-5	113,2 aB	148,3 bA	1,04
Fósforo orgânico extrapido por NaOH 0.1 mol L ⁻¹ (Po _{hid})	5-10	100,4 bB	197,1 aA	2,87
	10-20	86,4 cB	146,5 bA	3,36
	CV %	3,85	2,06	
	0-5	62,1 aB	72,8 aA	3,78
Fósforo inorgânico extraído por NaOH 0.5 mol L ⁻¹ (Pi _{hid05})	5-10	46,4 bA	51,3 bA	6,34
	10-20	42,8 bA	45,5 bA	10,74
	CV %	4,83	5,34	
	0-5	33,4 aB	61,1 bA	4,32
Fósforo orgânico extraído porNaOH 0.5 mol L ⁻¹ Po _{hid05})	5-10	18,8 abB	75,4 aA	14,56
	10-20	7,4 bB	64,2 bA	8,43
	CV %	12,39	2,67	

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste e Tukey ($\alpha = 5\%$).

O teor de P inorgânico extraído por HCl 1 mol L⁻¹ (Pi_{HCL}), conforme Cross & Schlesinger (1995), extrai preferencialmente as frações ligadas ao cálcio. Os maiores teores de Pi_{HCL} foram encontrados na camada superficial do solo do vinhedo 1 e 2 (Tabela

10). Mas em todas as camadas os maiores teores de P_{iHCL} foram encontrados no vinhedo 2, com resultados semelhantes ao estudo 1, que possui maior histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados. Convém relatar que o P da fração de P_{iHCL} , ligado ao cálcio é normalmente derivado de minerais primários apatíticos, contudo nos solos medianamente intemperizados, como os encontrados na Região Sul do Brasil, a ocorrência de apatitas é rara, não sendo provável esta hipótese. Por outro lado, Rheinheimer & Anghinoni (2001) relatam que em solos sob sistema plantio direto do Sul do Brasil, aconteceu o incremento das quantidades de frações de P-cálcio pela adição continuada de adubos fosfatados e calcário na camada superficial do solo. É provável que fenômeno semelhante tenha ocorrido nestes vinhedos, especialmente no vinhedo 2, onde a adição de fosfatos e calcário ao longo dos anos na camada superficial do solo, como nas adubações de manutenção, somada a baixa exportação de P via cacho de uva, proporcionou o acúmulo do nutriente em várias frações, permitindo inclusive a manutenção de parte do P ligados a cálcio, oriundos do próprio fosfato e do calcário (Tabela 8) adicionado para corrigir a acidez do solo.

O teor de $P_{residual}$, que é uma fração recalcitrante de P de difícil acesso pelos extratores químicos seletivos no solo e que pode contribuir para a nutrição das plantas apenas em situações de extrema carência do nutriente no solo, foram similares entre as camadas no solo do vinhedo 1 e 2. No entanto, os maiores teores de $P_{residual}$, em todas as camadas do solo foram encontrados no solo do vinhedo 1, semelhante ao vinhedo 2. Isso pode ser devido aos maiores teores de óxidos de ferro extraídos por ditiononito-citrato-bicarbonato e por oxalato de amônio (Tabela 2) no vinhedo 1 e, estes minerais, são conhecidos como sorvedores de P com alta energia de ligação e baixa reversibilidade.

Tabela 10. Fósforo inorgânico e residual, extraídos pelos extratores HCL 1 mol L⁻¹ (P_{HCL}) e H₂SO₄ + H₂O₂ + MgCl₂ (P_{residual}), respectivamente, em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.

Frações de P	Camada	Vinhedo 1 (4 anos de cultivo)	Vinhedo 2 (15 anos de cultivo)	CV
	cm	-----mg kg ⁻¹ -----		%
P _{HCL}	0-5	25,3 a ¹ B ²	167,6 aA	2,81
	5-10	19,5 bB	108,9 bA	0,59
	10-20	15,5 cB	19,5 cA	5,51
	CV, %	1,73	2,31	
P _{Residual}	0-5	137,7 abA	120,8 aB	0,61
	5-10	142,2 aA	114,6 aB	3,45
	10-20	136,1 bA	109,6 aB	0,90
	CV, %	1,44	3,67	

⁽¹⁾⁽²⁾Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste e Tukey ($\alpha = 5\%$).

Os teores de P geoquímico, que é a soma de P_{RTA}+P_{bic}+P_{hid}+P_{hid05}+P_{HCL}+P_{residual} foram maiores na camada de 0-5 cm, no solo do vinhedo 1 e 2 (Tabela 11). Porém, os maiores teores de P geoquímico foram encontrados no vinhedo 2 em todas as camadas, o que pode ser associado, como já relatado, ao maior histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados. Além disso, os teores de P geoquímico em todas as camadas dos solos do vinhedo 1 e 2 foram maiores que os de P biológico (P_o_{bic}+P_o_{hid}+P_o_{hid05}) (Tabela 11). Geralmente, as frações de P orgânico têm maior importância em solo com baixa disponibilidade de P, fazendo com que os baixos teores de Pi na solução do solo desencadeiem um processo de mineralização do P orgânico (GATIBONI et al., 2008), porém quando há acúmulo de P inorgânico a fração de P orgânica é utilizada em menor escala. O teor de P biológico no vinhedo 1 foi maior na camada de 0-5 cm, onde também foi encontrado o maior teor de carbono orgânico total (COT). Já no solo do vinhedo 2, os maiores teores de P biológicos foram verificados na camada de 5-10

cm. Os maiores teores da soma de todas as frações de P foram observados na camada de 0-5 cm, nos solos dos dois vinhedos (Tabela 11). Mas em todas as camadas os maiores teores foram encontrados no solo do vinhedo 2, comparativamente ao solo do vinhedo 1, o que tendeu a acompanhar os valores de P geoquímico e P biológico e também os resultados do Estudo 1.

Tabela 11. Fósforo geoquímico, biológico e total em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.

Frações de P	Camada	Vinhedo 1 (4 anos de cultivo)	Vinhedo 2 (15 anos de cultivo)	CV
	cm	-----mg kg ⁻¹ -----		%
P geoquímico	0-5	440,0 a ¹ B ²	755,9 aA	1,01
	5-10	339,2 bB	645,4 bA	0,83
	10-20	290,5 cB	438,9 cA	0,88
	CV %	1,37	0,52	
P biológico	0-5	176,2 aB	245,7 bA	2,37
	5-10	132,7 bB	326,4 aA	1,26
	10-20	100,5 cB	232,02 cA	1,85
	CV %	4,26	1,51	
Soma de todas as frações	0-5	616,2 aB	1001,6 aA	1,36
	5-10	471,9 bB	971,8 bA	0,96
	10-20	391,0 cB	671,0 cA	1,04
	CV %	1,98	0,70	

⁽¹⁾⁽²⁾Fósforo geoquímico, soma das frações inorgânicas e residual; fósforo biológico, soma das frações orgânicas; fósforo total, soma das frações inorgânicas, orgânicas e residual.⁽²⁾Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

7.2.2 Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo

Na figura 2 verifica-se que a adição no solo de fertilizantes fosfatados na adubação de pré-plantio e de manutenção nos solos dos vinhedos 1 e 2 e, por consequência, a adsorção de parte desse P pelos grupos funcionais das partículas reativas na camadas de 0-5, alteraram a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) da isoterma de adsorção de P no solo. Os maiores valores da CMAP, parâmetro ajustado pela equação de Langmuir, na camada de 0-5 cm, foram encontrados no solo do vinhedo 1 (Tabela 12). Esse maior valor de CMAP na camada de 0-5 cm no solo do vinhedo 1 comparativamente ao solo do vinhedo 2 (Tabela 12), indica que o solo está menos saturado com P no vinhedo 1 em relação ao vinhedo 2, com resultado semelhante ao Estudo 1. Os menores valores de CMAP no solo do vinhedo 2 podem ser atribuídos ao maior histórico de aplicação de P, o que favoreceu a ocupação dos sítios de adsorção do elemento, especialmente aqueles localizados em partículas inorgânicas reativas do solo (NWOKE et al., 2003). Esses valores de CMAP são condizentes com esse tipo de solo, que possui baixa quantidade de sítios de adsorção de fosfatos, decorrente dos baixos teores de argila (Tabela 8) e também pela presença de argilominerais do tipo 1:1 (RHEINHEIMER et al., 2003; UBERTI, 2005). Por outro lado, os valores de CMAP na camada de 10-20 cm no vinhedo 1 e 2 foram de 366,7 e 333,7 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 12). Convém destacar que não houve diferença na CMAP no solo da camada de 0-5 cm e 10-20 cm nos dois vinhedos, o que pode estar associado pelo acúmulo de P pelas adições de P₂O₅ ao longo dos anos, observados pelos altos teores de P disponível (Tabela 2). Visto que ao longo da adubação de manutenção os fertilizantes fosfatados foram aplicados na superfície do solo, sem incorporação, o que pode causar a ocupação dos sítios de adsorção ao longo do tempo (PARFITT, 1978; BARROW et al., 1998), inclusive na camada de 10-20 cm

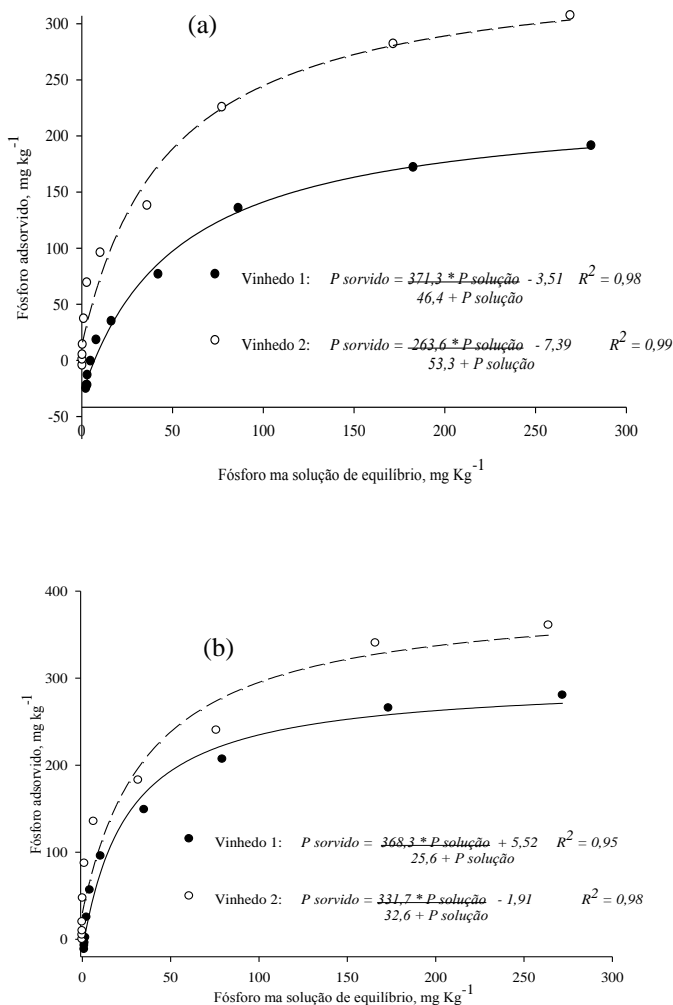


Figura 2. Relação entre o fósforo adsorvido e o fósforo na solução de equilíbrio nas camadas de 0-5 cm (a) e 10-20 cm (b), em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras, e ajustes de equação pelo modelo de Langmuir em cada camada na região Sul de SC.

Os valores da constante relacionada à afinidade do adsorbato na superfície do substrato (k) na camada de 0-5 e 10-20 cm, tenderam a ser maiores no solo do vinhedo 1 (0,0290 mg L⁻¹ e 0,0796 mg L⁻¹ respectivamente), comparativamente ao solo do vinhedo 2 (0,0086 mg L⁻¹ e 0,0258 mg L⁻¹) (Tabela 12). Os menores valores de k , na camada de 0-5 cm do vinhedo 2, comparativamente aos obtidos na camada de 10-20 cm podem estar associados à ocupação dos sítios de adsorção das partículas reativas do solo pelos íons fosfatos (BOLLAND et al., 1996; NWOKE et al., 2003). Somado a isso, os maiores valores de k na camada de 10-20 cm, indicam a maior avidéz dos sítios de adsorção por P nesta camada, o que poderia ser esperado, uma vez que existe uma menor quantidade do elemento em camadas mais profundas, como foi diagnosticado ao longo do fracionamento químico de P, especialmente pelas frações lábeis e moderadamente lábeis (Tabela 7).

Nos parâmetros da isoterma de adsorção ajustados pela equação proposta por Koski-Vähälä & Hartikainen (2001), os teores de CMAP no solo da camada de 0-5 cm foram de 371,3 e 263,6 mg kg⁻¹, nos vinhedos 1 e 2, respectivamente, praticamente idênticos aos obtidos no modelo proposto por Langmuir (Tabela 12). Já o maior valor da concentração de P na solução que permite a metade da adsorção máxima de P (km), não teve diferença entre as duas camadas, tanto no vinhedo 1 quanto no vinhedo 2. No entanto, as maiores concentrações de P desorvido em água (Q_0) na camada de 0-5 e 10-20 cm, foram encontradas no solo do vinhedo 2 com resultado semelhante ao estudo 1 (Tabela 6). Já no parâmetro concentração de equilíbrio de P (CEP), observou-se os maiores valores na camada 0-5 e 10-20 cm no solo do vinhedo 2, o que indica um maior potencial contaminante para um sedimento, em comparação ao vinhedo 1. Esses resultados podem estar relacionados à maior adição de P no solo do vinhedo 2, especialmente pelas adubações de manutenção (90 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹) ocorridas ao longo do tempo.

Tabela 12. Parâmetros relacionados às isotermas de adsorção de fósforo nas camadas de 0-5 e 10-20 cm, em um solo Argissolo Vermelho amarelo cultivado com videiras na região Sul de SC.

	Camada(cm)	Vinhedo 1	Vinhedo 2	CV %
Parâmetros ajustados pela equação de Langmuir				
CMAP ⁽¹⁾ (mg kg ⁻¹)	0-5	368,9 aA	283,5 aB	11,89
	10-20	366,7 aA	333,7 aA	9,79
	CV %	10,2	11,52	
k ⁽²⁾ (L mg ⁻¹)	0-5	0,0290 aA	0,0086 bB	32,36
	10-20	0,0796 aA	0,0258 aB	43,19
	CV %	42,76	23,14	
Parâmetros ajustados pela equação de Koski-Vähälä & Hartikainen				
CMAP (mg kg ⁻¹)	0-5	371,3 aA	263,6 bB	10,37
	10-20	368,3 aA	331,7 aA	7,97
	CV %	8,89	9,4	
km ⁽³⁾ (mg L ⁻¹)	0-5	46,4 ns	53,3	27,07
	10-20	25,6	32,6	32,29
	CV %	36,48	27,57	
Qo ⁽⁴⁾ (mg L ⁻¹)	0-5	3,51 aB	7,39 aA	12,3
	10-20	-5,52 aB	1,91 bA	27,66
	CV %	53,56	15,23	
CEP ⁽⁵⁾ (mg L ⁻¹)	0-5	0,70 aB	1,78 aA	5,31
	10-20	-0,17 aB	0,33 bA	37,22
	CV %	77,01	3,43	

⁽¹⁾ Capacidade máxima de adsorção de fosfato. ⁽²⁾ Constante que pode fornecer informações sobre a afinidade do adsorbato para a superfície do substrato. ⁽³⁾ Concentração de P na solução que permite a metade da adsorção máxima de P. ⁽⁴⁾ Quantidade de P desorvida com água. ⁽⁵⁾ Concentração de equilíbrio de P ^{ns} = não significativo. * Significativo a 5% de probabilidade de erro; ** Significativo a 1% de probabilidade de erro. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e na mesma profundidade, e maiúsculas em um mesmo tratamento, mas entre as profundidades, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

8 CONCLUSÕES

- As aplicações excessivas de fertilizantes fosfatados na adubação de pré-plantio e de manutenção em vinhedos, principalmente nos vinhedos com maior tempo de cultivo, 30 anos na região da Campanha do RS e 15 anos, na região Sul de SC, aumentaram o teor de fósforo inorgânico até a camada 20 cm, preferencialmente nas frações lábeis extraídas pela resina trocadora de ânions e por NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$; e na fração não lábil extraída por HCL 1 mol L^{-1} .
- As aplicações excessivas de fertilizantes fosfatados na adubação de pré-plantio e de manutenção em vinhedos, principalmente no vinhedo com maior tempo de cultivo, 15 anos, na região Sul de SC, aumentaram o teor de fósforo orgânico até 20 cm de profundidade, na fração lábil e não-lábil.
- A maior quantidade de fósforo aplicado no solo em vinhedos com maior tempo de cultivo, 30 anos na região da Campanha do RS e 15 anos, na região Sul de SC, diminuiu o valor de capacidade máxima de adsorção de fósforo, indicando a saturação de parte dos sítios de adsorção das partículas reativas; e aumentou a quantidade de fósforo desorvido em água, o que representa maior potencial de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJMONE-MARSAN, F., CÔTÉ, D. & SIMARD, R.R. Phosphorus transformations under reduction in long-term manured soils. **Plant and Soil**, v.282, p.239–250, 2006.

ANDRASKI, T. W.; BUNDY, L. G. Relationship between phosphorus levels in soil and in runoff from corn production systems. **Journal Environment Quality**. v.32, p.310-316, 2003.

ARAÚJO, M. S. B.; SALCEDO, I. H. & SAMPAIO, E. V. S. V. Efeitos de fertilizações fosfatadas anuais em solos cultivado com cana-de-açúcar I. Intensidade e formas de acumulação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.389-396, 1993.

ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.643-650, 1997.

ARAÚJO, M.S.B. SCHAEFER, E.R. SAMPAIO, E.V.S.B. Soil phosphorus fractions from toposequences of semi-arid Latosols and Luvisols in northeastern Brazil. **Geoderma**, v.119, p.309-321, 2004.

BARROW, N. J.; BOLLAND, M. D. A. & ALLEN, D. G. Effect of addition of superphosphate on sorption of phosphate. **Australian Journal Soil Research**. v36, p.359-372, 1998.

BARROW, N.J. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. **Journal Soil Science**. v.34, p.733-750, 1983.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. & CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais & Subtropicais**. Porto Alegre, 2008. p. 7-18.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A. & RHEINHEIMER, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos

líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p.2525-2532, 2008.

BOLLAND, M.D.A.; GILKES, R.J.; BRENNAN, R.F. & ALLEN, D.G. Comparison of seven phosphorus sorption indices. **Australian Journal of Soil Research**, v.34, p.81-89, 1996.

BOSCHETTI, N.G.; QUINTERO, C.E. & GIUFFRE, L. Phosphorus fractions of soils under *Lotus corniculatus* as affected different phosphorus fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, v.45, p.379-384, 2009.

BRUNETTO, G. ; VENTURA, M. ; SCANDELLARI, F. ; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. B. & TAGLIAVINI, M. Nutrients release during the decomposition of mowed perennial ryegrass and white clover and its contribution to nitrogen nutrition of grapevine. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.90, p.299-308, 2011b.

BRUNETTO, G., CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. B.; GIROTTO, E. TRENTIN, E. E.; LOURENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B. & GATIBONI, L. C. Produção e composição química da uva em videiras submetidas à adubação nitrogenada na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.39, p.2035-2041, 2009.

BRUNETTO, G.; BORGIGNON, C.; MATTIAS, J.L. ; DEON, M.; MELO, G. W. B.; KAMINSKI, J.& CERETTA, C. A. Produção, composição da uva e teores de nitrogênio na folha e no pecíolo em videiras submetidas à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v.38, p.2622-2625, 2008.

BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. B.; LOURENZI, C. R.; FURLANETTO, V. & MORAES, A. Aplicação de nitrogênio em videiras na Campanha Gaúcha: Produtividade e características químicas do mosto da uva. **Ciência Rural**, v. 37, p.389-393, 2007.

BRUNETTO, G.; KAMINSKIM, J.; MELO, G. W. B.; BRUNING, F. S.& MALLMANN, F. Destino do nitrogênio em videiras 'Chardonnay' e 'Riesling Renano' quando aplicado no inchamento

das gemas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, p.497-500, 2006.

BRUNETTO, G.; MELO, G.W.B.; KAMINSKI, J. Critérios de predição da calagem e da adubação em frutíferas. **Boletim informativo da SBCS**, 2011a.

BUBBA, M.O.; ARIAS, C.A. & PORIX, H. Phosphorus adsorption maximum of sands for use as media in subsurface flow cultivated reed beds as measured by the Langmuir adsorption isotherms. **Water Research**, v.37, p.3390-3400. 2003.

CASALI, C. A.; MORTELE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G.; CORSINI, A. L. M. & KAMINSKI, J. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p.1479-1487, 2008.

CERETTA, C. A., LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. L.; CONTI, L.; TRENTIN, G. & MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.593-602, 2010.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; TU, S. & SNYDER, C.S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.89, p.229-255, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre:SBCS/NRS, 2004. 400p.

CONDON, L. M.; GOH, K. M. & NEWMAN, R. H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ^{31}P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal Soil Science**, v.36, p.199-207, 1985.

CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato

no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.893-900, 2003.

CROSS, A.F. & SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v.64, p.197-214, 1995.

DAROUB, S. H.; PIERCE, F. J. & ELLIS, B. G. Phosphorus fractions and fate of phosphorus-33 in soils under plowing and no-tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.170-176, 2000.

DELGADO, A.; SCALENGHE, R. Aspects of phosphorus transfer from soils in Europe. **Journal of Plant Nutrient Soil Science**. v.171, p.552-575, 2008.

DICK, W. A. & TABATABAI, M. A. determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **Journal of Environmental Quality**, v.6, p.82-85, 1977.

DOBERMANN, A.; GEORGE, T. & THEVS, N. Phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus pools in acid upland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.652-660, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CNPS. **Manual de métodos de análise de solos**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370p.

ERNANI, P.R. **Adubação e calagem para frutíferas de clima temperado**. Palestra, 2003.

GATIBONI, L. C., BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A. & BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1753-1761, 2008.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.691-669, 2007.

GATIBONI, L.C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. 2003, 231f. **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GONÇALVES, G.K. & MEURER, E.J. Frações de fósforo no solo e sua relação com a absorção pelas plantas de arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.357-362, 2009.

GRAETZ, D. A. & NAIR, V. D. Fate of phosphorus in Florida Spodosols contaminated with cattle manure. **Ecological Engineering**, v.5, p.163-181, 1995.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B. & CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.970-976, 1982.

HERLIHY, M., & McGRATH, D. Phosphorus fractions and adsorption characteristics in grassland soils of soil phosphorus status. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.77, p.15-27, 2007.

HERNÁNDEZ, J. & MEURER, E.J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.223-230, 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil.**

Disponível em: <http://www.ibge.com.br/> Acesso em: 08 novembro de 2011.

JORDAN C.; MCGUCKIN, S.O.; SMITH, R.V.; Increased predicted losses of phosphorus to surface waters from soils with high Olsen-P concentrations. **Soil Use and Management**, v.16, p.27-35, 2000.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. **Boletim Técnico** n°3, Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 31 p., 1997.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BARTZ, H. R. 2001. Proposta de nova equação para determinação do valor de H+Al pelo uso do índice SMP em solos do RS e SC. **ANAIS: Reunião Anual da ROLAS**, 23, 2001, Frederico Westphalen, Brasil.

KOSKI-VÄHÄLÄ, J. & HARTIKAINEN, H. Assessment of the risk of phosphorus loading due to resuspended sediment. **Journal Environmental Quality**, v.30, p.960-966, 2001.

MAFRA, S. H. Estado nutricional, rendimento e qualidade de uva *Cabernet sauvignon* em solos da Serra Catarinense. 2009. 100f. **Dissertação** (Mestrado em Manejo do Solo), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. & KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.563-570, 2007.

MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays & Clay minerals**, v.7, p.317-327, 1960.

MELLO, L.M.R. Vitivinicultura brasileira: Panorama 2010. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2010, 4 p. (**Comunicado Técnico 111**).

MELO, G. W. Recomendações de fertilizantes e corretivos para a cultura da videira na Serra Gaúcha (Safrá 2002/2003). Bento

Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2002. 4 p. (**Circular Técnica, 40**).

MURPHY, J. & RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p.31-36, 1962.

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

NWOKE, O.C.; VANLAUWE, B.; DIELS, J.; SANGINGA, N.; OSONUBI, O. & MERCKX, R. Assessment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West African savanna soils. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.100, p.285-294, 2003.

OBERSON, A.; FRIESEN, D. K.; TIESSEN, H.; MOREL, C. & STAHEL, W. Phosphorus status and cycling in native savanna and improved pastures on an acid low-P Colombian Oxisol. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.55, p.77-88, 1999.

OTABBONG, E.; PERSSON, J.; IAKIMENKO, O. & SADOVNIKOVA, L. The ultuna long-term soil organic matter experiment. **Plant and Soil**, v.195, p.17-93, 1997.

PAGANI, T. B. Rendimento e qualidade de uva e teores de nutrientes em solo e tecido vegetal em vinhedo cultivado na serra catarinense sob adubação com N, K, cama de suíno e serragem. Lages, 2008. 76 p. **Dissertação** (Mestrado em Manejo do Solo), Universidade do Estado de Santa Catarina.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, v.30, p.01-46, 1978.

PAUTLER, M. C.; SIMS, T. J. Relationship between soil test phosphorus, soluble phosphorus, and phosphorus saturation in Delaware soils. **Soil Science Society of America Journal**. v.64, p.765-773, 2000.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A. & ROSOLEN, C. A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. **Soil & Tillage Research.**, v.105: p149-155. 2009.

PELLEGRINI, J. B.; RHEINHEIMER, D.S; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C. Adsorção de fósforo em sedimentos e sua relação com a ação antrópica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2639-2646, 2008.

PIZZEGHELLO, D.; BERTI, A.; NARDI, S. & MORARI, F. Phosphorus forms and P-sorption properties in three alkaline soils after long-term mineral and manure applications in north-eastern Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.141, p.58–66, 2011.

RAMOS, M.C.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterranean Alt Penede`s region (NE Spain). **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.113, p.356–363, 2006.

REIS, T.H.P.; GUIMARÃES, P.T.G.; FURTINI NETO, E.; GUERRA, A.F. & CURTI, N. Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.503-512, 2011.

RHEINHEIMER, D. S. & ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & CONTE, E. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.41-49, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; CASSOL, P.C.; KAMINSKI, J.; ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo IN: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**, Porto Alegre, p. 101-112, 2008a.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C. & KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade de fósforo e o manejo da adubação

fosfatada em solos sob sistema de plantio direto, **Ciência Rural**, v.38, p.576-586, 2008b.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI, A. E. N.; RESENDE, Á. V.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F. & COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.705-714, 2008.

SAS Institute Inc®. 2003. **SAS Ver. 9.1.3** SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA. Lic. UDESC.

SINAJ, S.; STAMM, C.; TOOR, G.S.; CONDRON, L.M.; HENDRY, T.; DI, H.J.; CAMERON, C.K. & FROSSARD, E. Phosphorus exchangeability and leaching losses from two grassland soils. **Journal Environmental Quality**, v.31, p.319-330, 2002.

SPOSITO, G. **The chemistry of soil**. New York: Oxford University Press, 1989. 277p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. 1995. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil.

TIESSSEN, H.; STEWART, J. W. B. & COLE, C. V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v 48, p. 853-858, 1984.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, F. C.; CURI, N.; LOPES SANTOS, J. Z. & ALOVISI, A. A. Dinâmica das formas de fósforo em solos de textura e mineralogia contrastantes cultivados com arroz. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, p. 171 – 170. 2011.

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H. & ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1467-1476, 2002.

UBERTI, A.A.A. Santa Catarina: proposta de divisão territorial em regiões edafambientais Homogêneas. 2005, 185 f. **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VINCENT, A. G.; TURNERB, B. L.& TANNER, E. V. J. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist Forest. **European Journal of Soil Science**, v. 61, p. 48–57, 2010.

ZHANG, T. Q.; MACKENZIE, A. F.; LIANG,B. C. & DRURY, C. F. Soil test phosphorus and phosphorus fractions with long-term phosphorus addition and depletion. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.519-528, 2004.