



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
CURSO DE AGRONOMIA

Douglas Weber

**Formas da calagem e adubação de fósforo e potássio no desempenho da soja (*Glycine max*) e aveia preta (*Avena strigosa*)**

Curitibanos

2024

Douglas Weber

**Formas da calagem e adubação de fósforo e potássio no desempenho da soja (*Glycine max*) e aveia preta (*Avena strigosa*)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Agronomia do Centro de Ciências Rurais do Campus de Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Djalma Eugênio Schmitt, Dr.

Curitibanos

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.  
Dados inseridos pelo próprio autor.

Weber, Douglas

FORMAS DA CALAGEM E ADUBAÇÃO DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO DESEMPENHO DA SOJA (*Glycine max*) e AVEIA PRETA (*Avena strigosa*) / Douglas Weber ; orientador, Djalma Schmitt, 2024.

47 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2024.

Inclui referências.

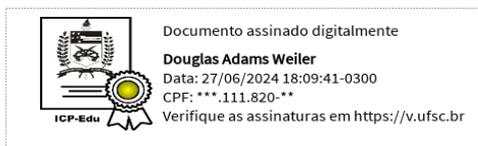
1. Agronomia. 2. Calagem. 3. Adubação. 4. Soja. 5. Aveia preta. I. Schmitt, Djalma. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Agronomia. III. Título.

Douglas Weber

**Formas da calagem e adubação de fósforo e potássio no desempenho da soja (*Glycine max*) e aveia preta (*Avena strigosa*)**

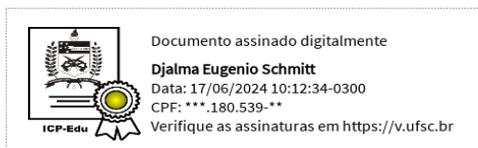
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Agronomia.

Curitiba, 03 de junho de 2024.

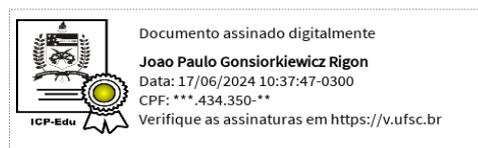


Coordenação do Curso

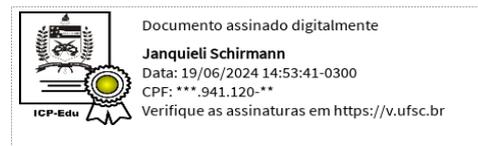
Banca examinadora



Prof. Djalma Eugenio Schmitt, Dr.  
Orientador



Prof. João Paulo Gonsiorkiewicz Rigon, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.(a) Janquieli Schirmann, Dr.(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina

Curitiba, 2024.

## RESUMO

A produção de grãos é realizada predominantemente em sistema plantio direto (SPD), onde a aplicação de calcário pode ser realizada de forma incorporada ou em superfície. Porém, pouco se sabe sobre a influência da aplicação superficial de calcário na correção da acidez do perfil do solo. Além disso, após a calagem é recomendado a correção dos teores de fósforo (P) e potássio (K) e a manutenção desses nutrientes acima do teor crítico, que pode ser realizado de diversas maneiras. O objetivo desse estudo foi avaliar os diferentes métodos de aplicação de calcário e fertilizantes em SPD na produtividade de soja (*Glycine max*) e aveia preta (*Avena strigosa*) e sobre atributos físicos e químicos do solo. O experimento foi conduzido na fazenda experimental da UFSC Campus Curitibanos, com delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdividas 3x3+2 com 3 repetições. Os tratamentos foram compostos pelo modo de aplicação de calcário, sendo incorporado, superficial e sem calcário (testemunha) e as subparcelas, compostas pelo método de aplicação de fertilizantes, A = sem P correção e sem manutenção de P e K; B = correção P e manutenção de P e K em superfície; C = correção P e manutenção de P e K em linha. Na parcela com calcário incorporado, foram adicionados os tratamentos: D = correção P incorporado e manutenção P e K linha; E = correção P incorporado e manutenção P e K superfície. A adubação de correção foi realizada com fertilizante superfosfato triplo (STP) e a manutenção com cloreto de potássio (KCl) e (STP) de acordo com a recomendação para produção de 4 ton ha<sup>-1</sup> de soja e aveia preta. Foi cultivado soja entre os meses dezembro de 2022 a maio de 2023, utilizando a cultivar Soytech 580 xtend e aveia ucraniana entre junho a outubro de 2023. A aplicação de calcário foi realizada em outubro de 2020, após 32 meses coletou-se solo em amostras com estrutura preservada para análise física e indeformada para análise química nas camadas 0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20, 20 – 25, 25 – 30, 30 – 40 cm. Foi avaliado a produtividade da soja, biomassa da aveia, densidade do solo (Ds), resistência a penetração do solo, pH em água, H+Al, P e K disponível. Não houve restrição física quanto a compactação do solo. Os valores de H+Al foram maiores no solo sem calcário na camada de 0-5 cm em relação a aplicação em superfície e incorporado de calcário. A incorporação de calcário elevou o pH até 15 cm, enquanto que a aplicação em superfície apenas na camada de 0-5 cm em relação ao solo sem calcário. Entretanto, o pH não influenciou na produtividade da soja e da aveia ucraniana após 32 meses da calagem, mas a adubação de correção de P e manutenção de P e K aplicado em linha de semeadura e em superfície incrementaram a produtividade da soja em relação ao solo sem adubação. Em relação aos teores de P e K no solo, a aplicação em linha e em superfície aumentaram a disponibilidade de K até 10 cm em relação ao solo sem adubação. Somente onde foi incorporado o calcário, a correção incorporada de P com manutenção na linha e manutenção em superfície aumentou a disponibilidade de P em até 15 cm.

**Palavras-chave:** Acidez do solo, fósforo, potássio, métodos de aplicação.

## ABSTRACT

Grain production is carried out predominantly in a direct planting system (SPD), where the application of limestone can be carried out embedded or on the surface. However, little is known about the influence of surface application of limestone on correcting the acidity of the soil profile. Furthermore, after liming, it is recommended to correct the phosphorus (P) and potassium (K) levels and maintain these nutrients above the critical level, which can be achieved in several ways. The objective of this study was to evaluate the different methods of applying lime and fertilizers in the direct planting system on the productivity of soybeans (*Glycine max*) and black oats (*Avena strigosa*) and on physical and chemical attributes of the soil. The experiment was conducted on the experimental farm of the UFSC Campus Curitibanos, with an experimental design in randomized blocks in a 3x3+2 split plot scheme with 3 replications. The treatments were composed by the lime application method, being incorporated, superficial and without lime (control) and the subplots, composed by the fertilizer application method, A = without P correction and without maintenance of P and K; B = P correction and maintenance of P and K on the surface; C = P correction and maintenance of P and K in line. In the plot with incorporated limestone, the following treatments were added: D = Incorporated P correction and P and K maintenance; E = P built-in correction and maintenance P and K surface. Correction fertilization was carried out with triple superphosphate fertilizer (STP) and maintenance with potassium chloride (KCl) and (STP) in accordance with the recommendation for the production of 4 tons ha<sup>-1</sup> of soybeans and black oats. Soybeans were cultivated between December 2022 and May 2023, using the cultivar Soytech 580 xtend and Ukrainian oats between June and October 2023. The application of limestone was carried out in October 2020, after 32 months, soil was collected in samples with a preserved structure for physical analysis and undisturbed for chemical analysis in layers 0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20, 20 – 25, 25 – 30, 30 – 40 cm. Soybean productivity, oat biomass, soil density (Ds), resistance to soil penetration, pH in water, H+Al, P and available K were evaluated. The Ds was higher with the incorporated application of limestone in a layer of 10-15 cm in relation to limestone on the surface. The H+Al values were higher in the soil without limestone in the 0-5 cm layer compared to the surface application and incorporated limestone. The incorporation of lime raised the pH up to 15 cm, while application on the surface only in the 0-5 cm layer in relation to the soil without lime. However, pH did not influence the productivity of soybeans and Ukrainian oats after 32 months of liming, but P correction fertilization and maintenance of P and K applied in the sowing line and on the surface increased soybean productivity in relation to the soil without fertilizer. In relation to P and K contents in the soil, row and surface application increased the availability of K by up to 10 cm in relation to the soil without fertilization. Only where limestone was incorporated did incorporated P correction with in-line maintenance and surface maintenance increase P availability by up to 15 cm.

**Keywords:** Soil acidity, phosphorus, potassium, application methods.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
1.1 OBJETIVOS.....	10
<b>1.1.1 Objetivos geral .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.2Objetivos específicos .....</b>	<b>10</b>
1.2 JUSTIFICATIVA.....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1 ACIDEZ DO SOLO.....	13
2.2 MANEJO DA CALAGEM.....	14
2.3 MANEJO DE ADUBAÇÃO EM PLANTAS DE LAVOURA.....	16
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DO EXPERIMENTO.....	20
2.2 DELIAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	20
2.3 SEMEADURA E ADUBAÇÃO DE SOJA.....	23
2.4 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E COLETA DE SOLOS.....	24
2.5 SEMEADURA E ADUBAÇÃO DA AVEIA.....	25
2.6 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA AVEIA.....	27
2.7 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS.....	27
2.8 ANALISE ESTATÍSTICA.....	29
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>30</b>
3.1 PARÂMETROS DE ACIDEZ DO SOLO.....	30
3.2 PARÂMETROS DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO.....	32
3.3 PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO.....	35
3.4 PRODUTIVIDADE DA SOJA.....	38
3.5 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA AVEIA.....	40
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira tem alcançado elevados patamares de produtividade de grãos e a cada vez demanda mais tecnologias e manejos para garantir o desenvolvimento econômico, social e ambiental de diversas regiões brasileiras. Espera-se um volume de 299,8 milhões de toneladas para a produção de grãos da safra 2023/24 (CONAB, 2024). Sendo que a soja, principal cultura de verão produzida, representa 149,4 milhões toneladas, enquanto a aveia cultura de inverno representa um volume de 1,15 milhões de tonelada. Esses incrementos na produtividade das culturas de grãos estão relacionados a maior tecnologia aplicado nas lavouras, principalmente em estratégia de correção e manutenção da acidez e da fertilidade do solo.

Os solos tropicais e subtropicais em sua maioria são ácidos, o que faz com que o solo apresente teores de alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ) que podem afetar o desenvolvimento radicular das culturas. Para corrigir a acidez, é necessário a utilização de corretivos de acidez, sendo os mais comuns os chamados calcários agrícolas. Quando o cultivo é realizado em Sistema Plantio Direto (SPD), no qual só ocorre o revolvimento do solo na linha de plantio, existe algumas dúvidas sobre a melhor maneira de realizar a aplicação de calcário, que pode ser incorporando o corretivo no solo ou aplicando superficialmente. Deve ser realizado a análise de solo na camada de 0 a 10 cm e monitorado a camada de 10 a 20 cm de profundidade no solo, para a tomada de decisão de aplicação de calcário em superfície o pH do solo deve estar abaixo de 5,5 na camada superficial, enquanto que para a incorporação de calcário deve haver acidez em subsuperfície, conforme o manual de calagem e adubação (CQFS, RS/SC, 2016). Quando manejada de forma incorporada se obtém uma maior área de contato solo-corretivo, tendo uma aplicação mais homogênea em profundidade. Entretanto, no SPD, alguns produtores têm realizado a aplicação superficial de calcário sem o revolvimento do solo, diminuindo os custos de aplicação e mitigando os riscos de erosão do solo e mantendo as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo. No entanto, a aplicação superficial pode diminuir a eficiência da correção da acidez ao longo do perfil do solo, o que pode afetar a produtividade de grãos.

Os valores de pH do solo estão interligados com a disponibilidade e aproveitamento de nutrientes no solo pelas plantas. A grande maioria das culturas agrícolas tem seu melhor desenvolvimento na faixa de pH entre 6,0 e 6,5, que é onde o  $Al^{3+}$  fica ausente, melhora a disponibilidade de nutrientes como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio

(Malavolta et al., 1980). Possibilitando assim, um melhor desenvolvimento radicular e aproveitamento de nutrientes e água pelas plantas.

A adubação fosfatada (P) e potássica (K) em SPD, pode ser feito de duas maneiras, na linha de semeadura ou de forma superficial. A recomendação técnica (CQFS, 2016) para adubação de correção é elevar os teores de P e K do solo acima do teor crítico da cultura, para possibilitar o máximo rendimento da cultura. Já a adubação de manutenção P e K, que é a reposição de fertilizantes que serão exportados pelas culturas para manter os níveis de nutrientes em valores adequados, a quantidade varia conforme a cultura agrícola e a expectativa de rendimento. Essa adubação pode ser realizada na linha de semeadura, no momento do plantio, ou em superfície. Conforme (CQFS, RS/SC, 2016) a recomendação para as culturas de grãos é que seja feita a adubação de manutenção de P e K em linha de semeadura. A eficiência da adubação fosfatada e potássica podem ser influenciadas pela forma de aplicação, principalmente em função das características físicas e químicas do solo, como matéria orgânica, teor e tipo de argila e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo. Segundo Rheinheimer e Silva (2010) ressaltam que quanto mais argiloso e mais intemperizado for o solo, maiores serão os teores de caulinita e óxidos de ferro no solo e maior será a capacidade do solo em adsorver fosfato. Apesar de se apresentar em sua forma orgânica e inorgânica, o fósforo (P) é o nutriente menos acessível as plantas em virtude da sua interação com os atributos do solo, principalmente com os óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) presentes nos minerais de argila que são capazes de reter o fósforo na fração sólida do solo por meio dos seus sítios de adsorção, deixando-o indisponível para serem absorvidos pelos vegetais na solução do solo (Osorno et al, 2018). Da mesma forma, a CTC de um solo representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$ ) e está diretamente associado aos teores de argila e matéria orgânica do solo. Um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions em forma trocável, desta forma, cuidados devem ser tomados para que se evite perdas por lixiviação ou salinização.

A aplicação superficial de K pode ser recomendável principalmente em situações de pré-plantio ou adubação parcelada em coberturas (Batista et al., 2018). Isso traz como vantagem o menor tempo de semeadura, aumentando a eficiência de plantio, como também os custos operacionais. Entretanto, levando em consideração os solos do Planalto Catarinense que em geral são mais declivosos, a aplicação superficial de fertilizantes pode incrementar os teores nos primeiros centímetros do solo e isso pode favorecer perdas por

escoamento superficial. Desta forma, o transporte desse solo rico em nutrientes e matéria orgânica, além de causarem problemas para a produção agrícola, também podem ocasionar problemas ambientais, podendo chegar aos cursos d'água.

Na busca de se ter mais entendimento no manejo da fertilidade e da acidez do solo nos sistemas de produção de grãos, o presente trabalho visa avaliar a produção de soja e aveia sob diferentes formas de aplicação de calcário e adubação no Planalto Catarinense.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVOS GERAL

Avaliar o efeito dos métodos de aplicação de calcário e adubação no desempenho da soja e aveia preta no Planalto Catarinense.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito da forma de aplicação de calcário (incorporado ou superficial) na produtividade da soja e aveia preta em um Cambissolo Háptico de textura argilosa.
- Avaliar o efeito da forma de aplicação de adubação (na linha ou em superfície) na produtividade da soja e aveia preta em solo com alto teor de argila e matéria orgânica.
- Avaliar os efeitos da calagem e modos de aplicação de adubação de P e K nas propriedades físicas (densidade e resistência a penetração do solo), químicas (pH em água e acidez potencial) e disponibilidade de P e K no perfil de um Cambissolo Háptico.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A produtividade das culturas agrícolas em solos brasileiros é limitada principalmente pela acidez e baixa disponibilidade de nutrientes no solo. Quando diagnosticada a acidez do solo, é recomendável realizar a aplicação de corretivos de acidez do solo para neutralizar a presença de  $Al^{3+}$  e  $Mn^{2+}$  (Tiritan et al., 2016; Rheinheimer et al., 2018), além de fornecer cálcio e magnésio para as plantas, o que pode proporcionar maior crescimento radicular e

podendo incrementar a produtividade. Entretanto há alguns cuidados que se deve ter no manejo da calagem, como a quantidade e a forma de aplicação no solo. Nos sistemas convencionais de preparo do solo, o calcário é incorporado ao solo por aração e gradagem, porém, em sistemas consolidados de plantio direto a aplicação superficial do calcário pode ser utilizada para controlar a acidez do solo, preservando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, pelo mínimo revolvimento do solo.

O calcário tem baixa mobilidade no perfil solo (Castro, 2012), desta forma a distribuição de calcário em superfície pode causar correção da acidez apenas na camada superficial sendo limitante no subsolo. Corroborando com este comportamento do calcário aplicado superficialmente, Kaminski (2005) em um Argissolo Acinzentado Distrófico plíntico, observou após sete anos que o pH aumentou na camada superficial até 10cm de profundidade, enquanto que a aplicação incorporada houve um aumento do pH até 25cm de profundidade. Este comportamento do calcário aplicado em superfície, faz com que o sistema radicular apresente dificuldade para explorar áreas mais profundas do solo, o que pode afetar a absorção de nutrientes e água. Isso pode causar a diminuição da produtividade das culturas. Desta forma, a incorporação de calcário é recomendada principalmente em áreas com elevada acidez. A calagem além de reduzir a acidez do solo, aumenta a saturação por bases, os teores de cálcio e magnésio no solo (Bortoluzzi et al. 2014; Rheinheimer et al. 2018). Pouco se sabe sobre a eficácia da aplicação superficial na dinâmica da acidez em profundidade no Sul do Brasil, principalmente em solos argilosos e com altos teores de matéria orgânica como os do presente estudo.

Além da correção do solo, a correção da fertilidade do solo proporciona para as plantas de lavoura condições químicas adequadas para altas produtividades. As formas de aplicação de adubação mineral de fósforo e potássio ao solo pode ser feita de forma superficial ou na linha de plantio, podendo haver diferentes respostas quanto a produtividade da cultura e o aproveitamento do nutriente no solo. No manejo da adubação fosfatada, é necessário que o fósforo esteja disponível próximo as raízes da planta, pois este nutriente é absorvido por meio de difusão, que é um processo lento (Novais et al., 2007). Desta forma, a aplicação em linha de semeadura pode favorecer a difusão e possibilitar menor contato do fósforo com os grupos funcionais dos argilominerais, reduzindo a adsorção (Resende et al., 2016). Entretanto, o uso de elevadas doses de fertilizantes pode ocasionar o atraso da semeadura e também o encarecimento da aplicação, pelos vários reabastecimentos do adubo na semeadora, diferentemente da aplicação em superfície que pode facilitar esse processo, reduzindo custos e tempo de operações.

Por outro lado, o uso da adubação superficial do fósforo pode incrementar os teores nos primeiros centímetros do solo, diminuindo a difusão para as raízes e aumentando o potencial poluente dos recursos hídricos, onde o fósforo pode ser carregado pela erosão do solo e atingir cursos de água, acarretando sua eutrofização (Prochnow; Casarin; Stipp, 2010). Além disso, quando os adubos fosfatados são aplicados em superfície, o fósforo tende a ficar restrito apenas nas primeiras camadas e isso pode favorecer o crescimento radicular na superfície do solo. Com isso, as plantas podem ficar mais suscetíveis à estresse hídrico, podendo ser uma prática restritiva ao fornecimento de P às plantas em condições de estiagens (Hansel, 2013). Isso pode ocasionar a redução da produtividade das culturas, principalmente em anos com baixos índices pluviométricos (Tomé, 2015).

A adubação potássica no solo merece uma atenção especial em relação a sua alta salinidade e solubilidade (Malavolta et al., 2006). A aplicação em superfície pode não fornecer a quantidade de nutriente necessária ao desenvolvimento inicial das plantas da mesma forma que a aplicação em linha de semeadura e em doses elevadas podem resultar em danos ao sistema radicular (Salton et al., 2002). Além disso, a dinâmica do potássio pode variar de acordo com a textura do solo e conseqüentemente com a capacidade de troca de cátions (CTC), condições edafoclimáticas do local e se há ou não cobertura do solo. Assim, na região do Planalto Catarinense e em solos com alto teor de argila e matéria orgânica do solo podem apresentar efeitos na produtividade de soja em função da dinâmica de correção do solo e da adubação fosfatada e potássica no solo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

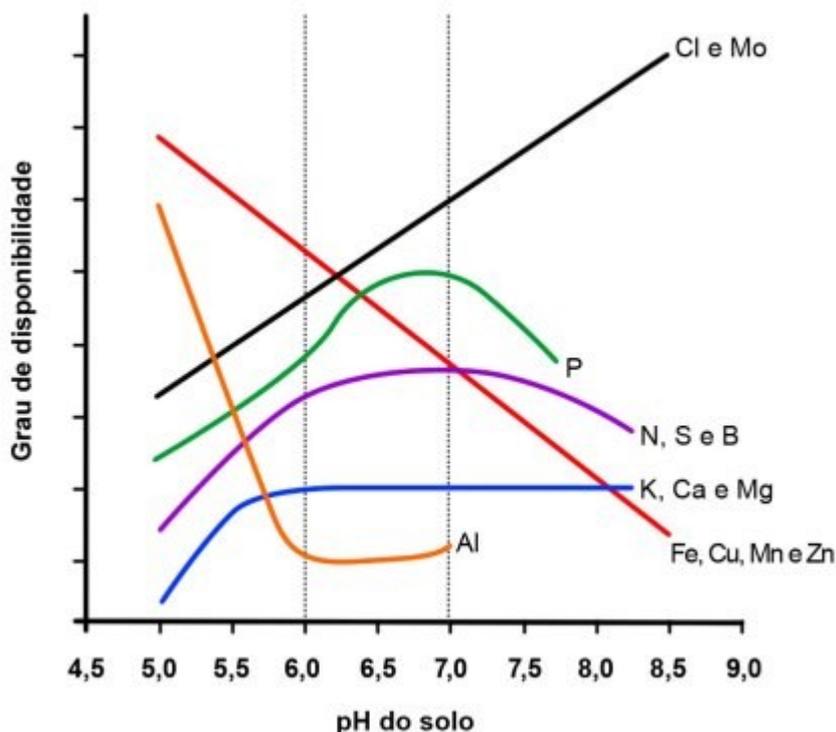
### 2.1 ACIDEZ DO SOLO

A região Sul do Brasil tem por característica seus solos predominantemente ácidos, o que prejudica o desenvolvimento das culturas agrícolas da região, interferindo na produtividade de grãos (CQFS, RS/SC, 2016). A acidez presente no solo é representada em valor de pH, que demonstra a atividade iônica de  $H^+$ . Em termos técnicos, a acidez ativa representa a concentração  $H^+$  na solução do solo, afeta o desenvolvimento das plantas e quase todas as reações no solo relacionadas com a disponibilidade de nutrientes, enquanto que a acidez potencial representa a soma de todas as fontes  $H^+$  nos componentes sólidos do solo, incluindo, matéria orgânica,  $Al^{3+}$  e argila (Ernani, 2016).

Os solos ácidos são decorrentes do processo de intemperismo, que se forma pela decomposição do material de origem. Agronomicamente, o resultado desse processo gera solos com alta acidez ativa e potencial, alta saturação da CTC por Al e baixa saturação da CTC por bases. Conforme a profundidade do perfil do solo aumenta, conseqüentemente o potencial de toxidez para as raízes aumenta, pois há uma menor complexação de Al pela matéria orgânica, devido ao baixo teor de MO, Ca, Mg e K. A acidificação do solo também faz com que os colóides do solo (óxidos de Fe e caulinita) tenham uma alta capacidade de adsorção de P, fator extremamente prejudicial para alcançar altos rendimentos de produtividade nas plantas de lavoura. Desta forma, a acidificação do solo torna-se um local desfavorável para o crescimento e desenvolvimento radicular das plantas, sendo um limitador para altas produtividades das culturas, sendo necessário a utilização de calcário para a neutralização da acidez do solo, afim de buscar melhores resultados agronômicos (CQFS, RS/SC, 2016).

Os valores de pH do solo estão interligados com a disponibilidade e aproveitamento de nutrientes no solo pelas plantas de lavoura. A grande maioria das culturas agrícolas tem seu melhor desenvolvimento na faixa de pH acima de 5,5, principalmente entre 6,0 e 6,5, que é onde se atinge a neutralização do  $Al^{3+}$  e melhora aproveitamento de nutrientes como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, assim possibilitando um melhor desenvolvimento radicular e aproveitamento de nutrientes pelas plantas (Figura 1).

**Figura 1:** Relação entre o pH e a disponibilidade dos elementos químicos no solo



Fonte: Malavolta (1980)

## 2.2 MANEJO DA CALAGEM

A aplicação de calcário no solo é uma prática comum na agricultura para corrigir a acidez do solo elevando o pH e neutralizando o  $\text{Al}^{3+}$  que prejudica o desenvolvimento radicular das plantas. Além disso, a aplicação de calcário fornece um aporte de cálcio e magnésio e melhor aproveitamento dos nutrientes, como o nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, molibdênio e entre outros, que em conjunto aumentam a produtividade e sustentabilidade das lavouras.

O calcário ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ) pode reduzir o  $\text{Al}^{3+}$  presente no solo e torná-lo mais propício ao crescimento das plantas, mas também aumenta a disponibilidade de nutrientes e melhora a estrutura do solo (Pessoni, 2012). Segundo Souza et al. (2007), o uso de corretivos para neutralizar a acidez do solo, quando em contato com a água no solo, libera íons hidroxila  $\text{OH}^-$ , que por sua vez reagem com íons  $\text{H}^+$  presentes na solução do solo para

formar H<sub>2</sub>O. Esse mecanismo contribui para elevar o pH do solo e neutralizar sua acidez, fazendo com que a CTC efetiva aumente, reduzindo a possibilidade de lixiviação de bases.

O calcário possui baixa mobilidade e solubilidade no solo fazendo com que seja necessário a aplicação antecipada no solo de maneira uniforme e profunda (Silva et al., 2015). O manejo da calagem é realizado normalmente de 3 a 6 meses antes do plantio da cultura agrícola, para que atinja sua maior eficiência no solo, sendo feita de forma incorporada ou superficial. Sua eficiência aumenta quando incorporado ao solo, melhorando os atributos físicos e químicos do solo, alcançando melhores resultados (Blum et al., 2013), devido a distribuição uniforme ao longo do perfil do solo diferentemente da aplicação superficial que o calcário fica na superfície do solo. O calcário aplicado em superfície apresenta certas vantagens, como a ausência do revolvimento do solo, tendo uma redução do tempo e do custo de aplicação, bem como a manutenção da qualidade biológica do solo, pois mantém o solo coberto constantemente com uma cobertura vegetal.

A Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina em seu Manual de Calagem e Adubação (CQFS RS/SC, 2016) recomenda na implantação do SPD a incorporação do corretivo ao solo na camada de 0-20cm revolvendo com aração e gradagem, na dose total para elevar o pH do solo, juntamente com outros nutrientes que estão em faltando no solo. Porém, após instalado o sistema conservacionista, quando ocorre a reacidificação do solo, não haverá necessidade de revolver o solo para correção da acidez. A recomendação no Manual para este cenário é aplicar o corretivo de acidez na superfície do solo, pois a reacidificação ocorre a partir da superfície.

A aplicação de calcário em superfície tem se tornado uma técnica muito utilizada pelos produtores, principalmente pelo aspecto financeiro. A incorporação de calcário no solo demanda operações mecanizadas com alto consumo de combustível, desgaste de maquinários e implementos agrícolas, o que acarreta os custos das operações agrícolas. Segundo o estudo de Ormond et al. (2013), avaliando o consumo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas, concluíram que os sistemas com menor número de operações por hectare obtiveram menor consumo de combustível, destacando a semeadura direta, seguida pelo cultivo mínimo com gradagem leve, vibro escarificador e o preparo convencional.

O revolvimento do solo também pode diminuir o teor de matéria orgânica no solo e prejudicar o sequestro de carbono, pois expõe parte do CO<sub>2</sub> armazenado no solo, liberando

para a atmosfera e a matéria orgânica fica suscetível a degradação pelos microrganismos, assim como favorece a erosão em solos declivosos e diminuição da fertilidade do solo devido ao escoamento superficial dos nutrientes ali presentes. A presença de agregação no solo é fundamental para o bom funcionamento do mesmo, pois confere ao ambiente edáfico diversas propriedades benéficas. Propriedades relativas à aeração, permeabilidade, taxas de infiltração, retenção de água e nutrientes ao solo, atividade microbiana edáfica, bem como no sequestro de carbono (Mergen, 2019).

O não revolvimento pode evitar esses fatores, mas em contrapartida, a aplicação superficial da calagem pode gerar uma correção inadequada do perfil do solo, visto a dificuldade do calcário migrar para camadas mais profundas, provocando a acidez em subsuperfície e o enraizamento superficial das plantas. Esse fator vem devido à baixa solubilidade do calcário, a calagem nem sempre é eficiente na correção da acidez em subsuperfície, principalmente em solos de baixa qualidade estrutural (Rheinheimer et al., 2018).

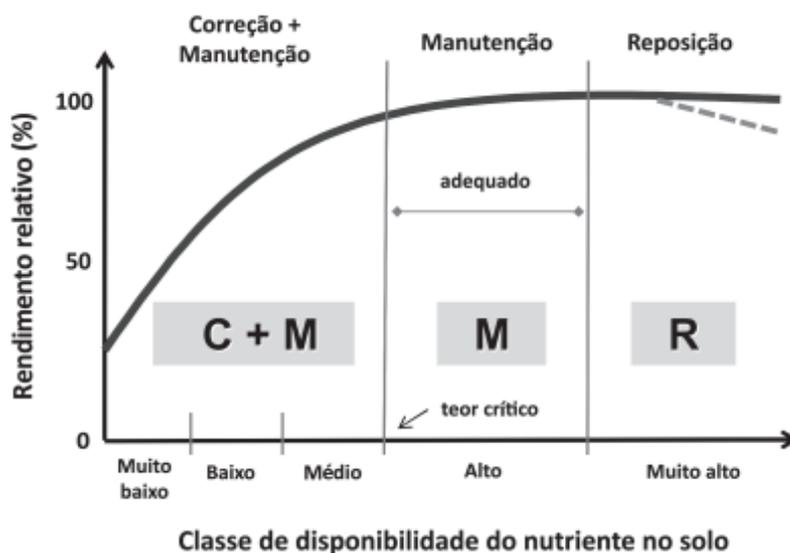
A eficácia do corretivo está intrinsecamente ligada tanto à sua qualidade física quanto à sua qualidade química. O conteúdo e o tipo de compostos capazes de neutralizar a acidez do solo são determinantes, pois influenciam diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Além disso, a velocidade de reação do processo de neutralização desempenha um papel crucial, impactando na rapidez com que os nutrientes se tornam disponíveis para as plantas (CQFS-RS/SC, 2016).

De modo geral, o monitorar o manejo da calagem quanto as modificações químicas e físicas do solo enquanto as opções forem incorporar ou não o corretivo, se torna uma ferramenta útil para o entendimento da dinâmica de sua movimentação no perfil do solo e do processo de reacidificação.

### 2.3 MANEJO DE ADUBAÇÃO EM PLANTAS DE LAVOURA

Conforme o Manual de Calagem e Adubação para os estados de RS e SC (CQFS – RS/SC, 2016), no Planalto Catarinense pode ser realizada a adubação de três formas, sendo a de correção, manutenção e reposição (Figura 2).

**Figura 2.** Relação entre o rendimento relativo das culturas em função do teor de P ou K no solo e as indicações de adubação para cada faixa de teor no solo.



Fonte: Autor 2023, CQFS-RS/SC 2016.

A adubação de correção é somente utilizada quando os teores de P e K do solo estão na faixa entre (Muito baixo, Baixo e Médio). É necessário a correção para elevar os teores de P e K até o teor crítico da cultura, para assim possibilitar o máximo rendimento da cultura, podendo ser realizada a adubação de correção de forma total ou gradual, sendo a total, recomendada para a implantação do sistema plantio direto.

A adubação de manutenção consiste na aplicação de quantidades de P e K correspondentes as exportadas nos grãos mais as perdas estimadas desses nutrientes no solo. A dosagem varia conforme a cultura agrícola e a expectativa de rendimento, sendo assim, necessária para manter os teores de fósforo e potássio em níveis adequados. A adubação de reposição também é aplicada para suprir as quantidades de nutrientes exportados nos grãos, mas sua utilização é feita somente quando o teor do nutriente no solo for “Muito Alto”.

O sistema de plantio direto é baseado na manutenção da cobertura vegetal sobre o solo durante todo o ciclo da cultura, o que traz diversos benefícios para a qualidade do solo e para a produtividade das culturas. Segundo Machado et al. (2014), a utilização de espécies de cobertura do solo no sistema de plantio direto resulta em benefícios às propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo além de melhorar a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas de lavoura. Porém, fertilizantes aplicados em superfície e na linha apresentam respostas diferentes nesse sistema, devido ao não revolvimento do solo.

O fósforo é um dos principais nutrientes necessários para as plantas de lavoura, e seu manejo adequado no solo é fundamental para garantir uma boa produtividade das culturas. Segundo Tucher et al. (2018), o fósforo é um nutriente que apresenta baixa mobilidade no solo e é fortemente impactado com o pH do solo. Por isso, é necessário adotar práticas de manejo que favoreçam a disponibilidade do fósforo para as plantas.

Tradicionalmente, P e K são aplicados na linha de semeadura, e essa prática é baseado na distribuição do fertilizante o mais próximo possível do sistema radicular das plantas, favorecendo a difusão até as raízes e consequente absorção, diminuindo a sua adsorção pelas partículas do solo, reduzindo as perdas de P e K por escoamento (Nkebiwe, 2016). As vantagens da aplicação na linha de semeadura são perceptíveis na cultura a campo, promovendo um melhor arranque da cultura, favorecendo alongação do mesocótilo, emergência de plântulas, absorção dos nutrientes e potencialização dos componentes de rendimento da planta (Teixeira et al., 2018).

A aplicação em superfície do fertilizante permite que o processo de semeadura ocorra de forma mais rápida, gerando um melhor aproveitamento da janela de semeadura, e a possibilidade da distribuição da dose total ou parcial antes ou depois da semeadura (Batista et al., 2018). Entretanto, como o adubo fica disposto sob a superfície, pode acabar ficando suscetível a perdas por erosão.

As formas de aplicação de K no solo é de grande relevância para alcançar bons resultados de produtividade, visto a razão do elevado grau de salinidade do cloreto de potássio (KCl). A aplicação em superfície pode acabar não favorecendo a quantidade de nutriente necessária ao desenvolvimento inicial das plantas de lavoura, da mesma forma que a aplicação em linha, em quantidades elevadas, pode acarretar em danos ao sistema radicular (Salton et al., 2002), podendo variar conforme o tipo de solo, CTC, pH, quantidade de água disponível e sistema de produção adotado.

De acordo com o Batista et al. (2018) o manejo de adubação de manutenção pode ser realizado tanto em superfície quanto na linha de semeadura. Entretanto é necessário adotar algumas técnicas de precaução para aplicação de altas dosagens na linha de semeadura, principalmente em solos com baixa CTC, visto que o KCl possui uma alta salinidade. Diante desse fator, não são recomendadas aplicações acima de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, principalmente em solos arenosos e com baixa CTC (CQFS/RS-SC, 2016).

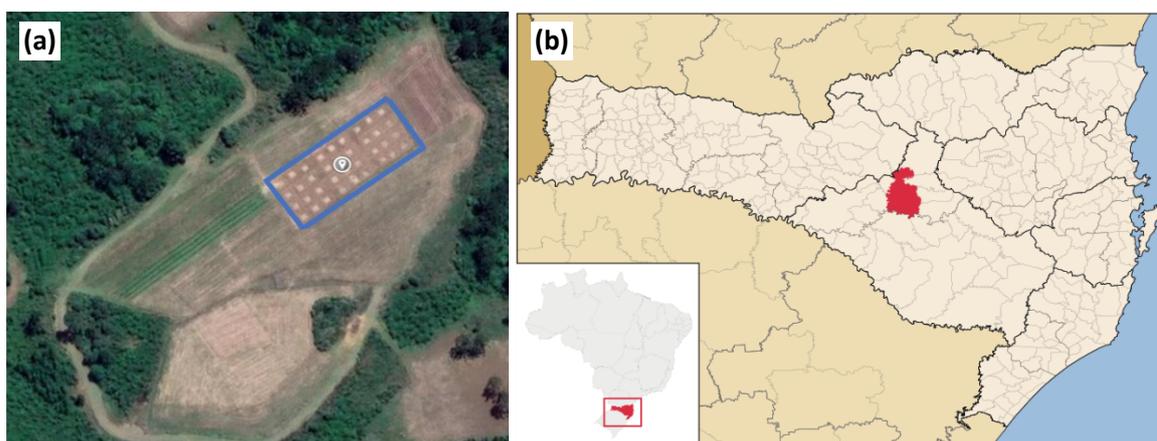
Em lavouras onde vem sendo cultivado soja há vários anos com a aplicação de adubação potássica correta, normalmente os teores de K no solo tende a alcançar níveis adequados. Neste caso, os principais cuidados se ressaltam na quantidade de K exportado na colheita do grão que, segundo Zancanaro et al. (2009), é aproximadamente 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para cada 1 ton ha<sup>-1</sup> de grãos. Além da perda por exportação, deve ser considerado as perdas por erosão e lixiviação, assim sendo necessário a adubação de manutenção para repor as quantidades de K no solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no município de Curitibanos - SC (27°16'44.3''S e 50°30'05.8''O), durante a safra 2022/2023 (Figura 3ab). O clima da região segundo Köppen está classificado como Cfb – subtropical úmido e verão ameno, com uma temperatura média anual de 16,5 °C e uma pluviosidade média de 1479,7 mm (Wrege *et al.*, 2012). O solo é classificado como Cambissolo Háplico (SiBCS, 2018) com textura argilosa.

**Figura 3.** Localização da área experimental (a) e localização do município de Curitibanos – SC (b).



Fonte: Autor 2023, Google Maps.

### 2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Foram avaliados onze tratamentos em parcelas subdivididas (Tabela 1), em um delineamento de blocos ao acaso, com 3 repetições cada, totalizando 33 unidades experimentais. Sendo as parcelas principais com 3 modos de calagem (incorporado, superfície e sem calcário) e as subparcelas com 3 modos de adubação (em linha, superfície e sem adubação). Nas parcelas com calcário incorporado foram adicionados dois tratamentos adicionais: Correção de fertilidade com P incorporado e adubação de manutenção de P e K realizada em linha e com correção de P incorporado e adubação de P e K realizada em superfície. As parcelas possuem uma área de 64 m<sup>2</sup> (8 x 8m), com espaçamento entre blocos

de 3 m, totalizando uma área total de 2.496,00 m<sup>2</sup>. A adubação de correção foi realizada no início do experimento (outubro de 2020) e as adubações de manutenção são realizadas em cada cultura de acordo com a expectativa de produção (Tabela 2).

**Tabela 1.** Descrição dos tratamentos utilizados com dois fatores, combinando os métodos de aplicação de calagem e adubação do solo; Somente onde foi incorporado calcário com os métodos de adubação, em um Cambissolo Háplico em Curitiba-SC.

<b>Tratamentos</b>	<b>Modo de calagem</b>	<b>Modo de adubação de correção</b>	<b>Modo de adubação de manutenção</b>
1	Calcário incorporado	Sem P	Sem P e K
2	Calcário incorporado	P superficial	P e K superficial
3	Calcário incorporado	P linha	P e K linha
4	Calcário superficial	Sem P	Sem P e K
5	Calcário superficial	P superficial	P e K superficial
6	Calcário superficial	P linha	P e K linha
7	Sem calcário	Sem P	Sem P e K
8	Sem calcário	P superficial	P e K superficial
9	Sem calcário	P linha	P e K linha
10	Calcário incorporado	P incorporado	P e K linha
11	Calcário incorporado	P incorporado	P e K superficial

*Fonte: Autor, 2023.*

Antes da instalação do experimento a área era conduzida com cultivo de pinus até 2009, e em seguida pousio. A partir de 2016 a área passou a ser cultivada com grãos, aveia preta no inverno e milho/soja no verão. Em outubro de 2020, antes da instalação do experimento, foi realizada uma análise de solo na camada de 0-20 cm. Os resultados foram os seguintes: pH H<sub>2</sub>O = 5,2; pH SMP = 5,2; CTC pH 7,0 = 15,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 42,54 %; Al<sup>3+</sup> = 0,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 9,01 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Argila = 58,75 %; P = 7,56 mg dm<sup>-3</sup>; K = 152,10 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>: 3,54 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 2,74 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Matéria orgânica (MO) = 4,6%. Para a interpretação foi utilizado o Manual de Calagem e Adubação para os estados do RS e SC (CQFS – RS/SC, 2016).

Para a correção da acidez do solo foi utilizado o índice SMP, para pH 6,0 de referência das culturas de grãos. Como o pH SMP foi 5,2, foi utilizado a dose de 8,3 ton ha<sup>-1</sup>

de calcário dolomítico, mas como o PRNT tinha 80%, foi aplicado 10,4 ton ha<sup>-1</sup>. Nas parcelas com calagem superficial o calcário foi aplicado em toda a superfície da parcela. Já nas parcelas com corretivo incorporado, o mesmo foi aplicado em superfície e incorporado na camada de 0-20 cm com uma aração e duas gradagens, e em seguida um preparo secundário com uma grade niveladora. Os teores de P foram considerados baixos, enquanto que os teores de K alto. Assim, foi realizado a correção dos teores de P do solo com 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. A fonte de P foi superfosfato triplo, com 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, equivalente a 177,78 kg de STP ha<sup>-1</sup>. Anualmente são realizadas as adubações de manutenção em cada cultivo (Tabela 2). No estudo vamos apresentar somente os dados de soja implantados em dezembro de 2022 e de aveia preta implantada em junho de 2023.

**Tabela 2.** Doses de calcário e fertilizantes utilizados ao longo dos cultivos agrícolas no experimento instalado em 2020 em um Cambissolo Háplico em Curitiba-SC.

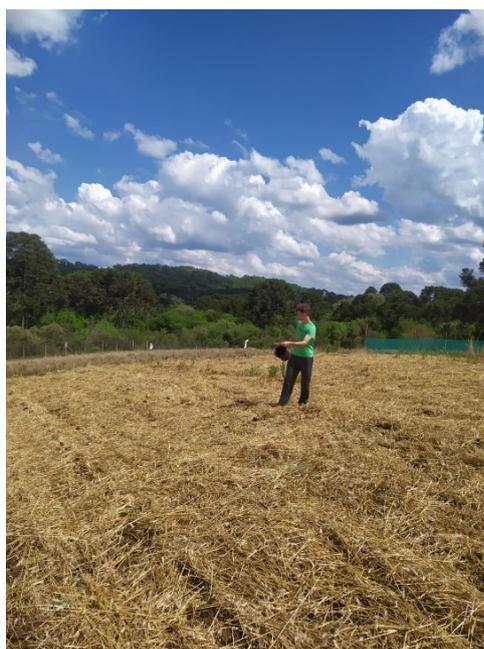
Data	Cultura	Correção da	Adubação de correção			Adubação de		
		acidez (ton/ha <sup>-1</sup> )	(kg/ha)			manutenção (kg/ha)		
		Calcário	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		dolomítico						
28-10-2020	Soja	10,4	-	80	-	-	60	100
09-07-2021	Trigo	-	-	-	-	60	60	45
03-12-2021	Soja	-	-	-	-	-	60	100
30-06-2022	Trigo	-	-	-	-	70	60	45
15-12-2022	Soja	-	-	-	-	-	60	100
07-06-2023	Aveia preta	-	-	-	-	80	60	40
<b>Total</b>						<b>210</b>	<b>440</b>	<b>430</b>

Fonte: Autor, 2023.

### 2.3 SEMEADURA E ADUBAÇÃO DE SOJA

Para a safra de 2022/2023, foi destinado a área para o plantio de soja (*Glycine max*) no verão e aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno. O plantio da soja foi realizado no dia 15 de dezembro de 2022 juntamente com a adubação de manutenção de P e K em linha, utilizando uma semeadora-adubadora para o manejo. A adubação de manutenção superficial foi feita no dia seguinte, realizada conforme o Manual de Calagem e Adubação para os estados do RS e SC (CQFS, RS/SC, 2016), para uma expectativa de rendimento de 4 ton ha<sup>-1</sup> de soja. O espaçamento de plantio foi de 45 cm entre fileiras com uma densidade de 300.000 plantas ha<sup>-1</sup>, equivalente a 13,5 plantas por metro linear. Para a manutenção de P, aplicou-se 60kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, usando como fonte o Superfosfato Triplo (STP) a 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, equivalente a 133,33 kg ha<sup>-1</sup> de STP. Enquanto que o K, foi aplicado 100kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, usando como fonte o Cloreto de Potássio (KCl) a 60% de K<sub>2</sub>O, equivalente a 166,66 kg de KCl ha<sup>-1</sup> (Figura 3).

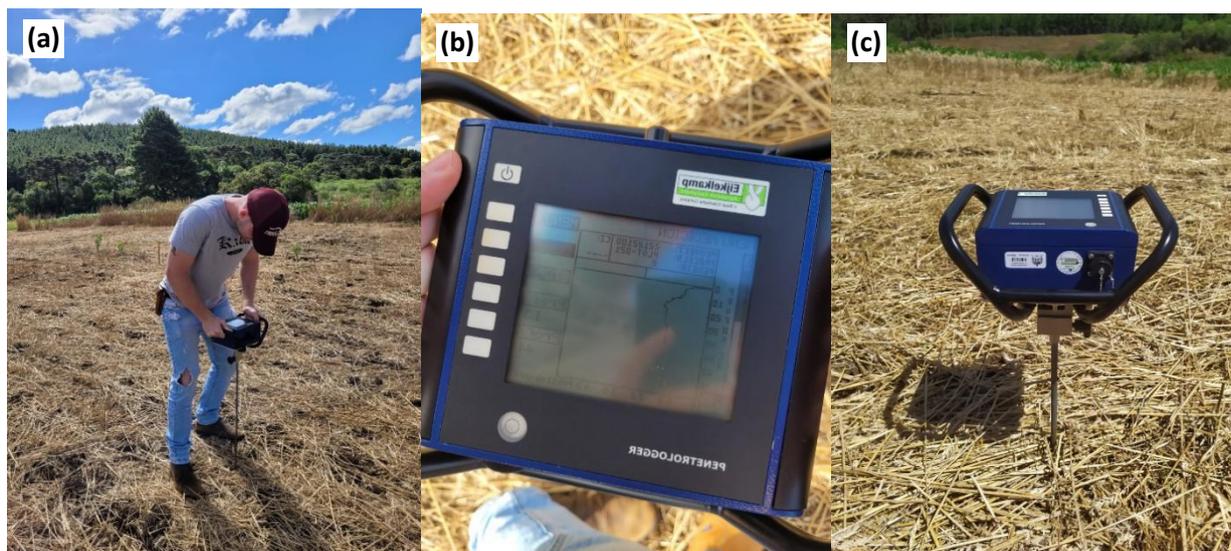
**Figura 3.** Aplicação de P e K para manutenção da adubação superficial.



Fonte: Autor, 2023.

Foi realizado no dia 21 de dezembro de 2022, 2 anos após a instalação do experimento, o teste de resistência a penetração do solo, utilizando o equipamento penetrômetro para a avaliação da compactação do solo, foi penetrado até uma profundidade de 60 cm, com 3 testes cada parcela (Figura 4). Também foi feito a coleta de solo nas camadas 0-10, 10-30 e 30-50 cm em 3 pontos diferentes da unidade experimental para a avaliação da umidade do solo.

**Figura 4.** Teste de resistência a penetração do solo (a) Penetrômetro (b, c)

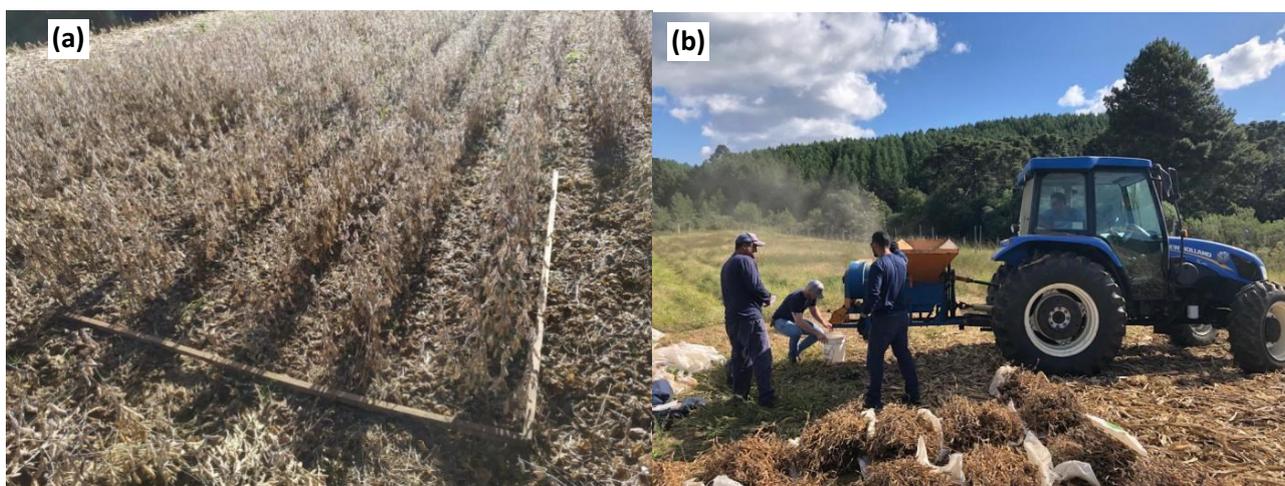


*Fonte: Autor, 2023.*

#### 2.4 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E COLETA DE SOLOS

A avaliação da produtividade de soja foi realizada no dia 12 de maio de 2023, onde foi feito o corte das plantas de soja dentro de uma área de 4 m<sup>2</sup>, utilizando roçadeiras para o corte com disco e um implemento de bateadeira de cereais para a separação dos grãos (Figura 5). Após a colheita foi encaminhado as amostras de grãos para o laboratório e realizado as avaliações de umidade, peso de mil grãos de soja e pesagem dos grãos para cálculo da produtividade.

**Figura 5.** Colheita da soja (a) bateadeira de cereais (b)



*Fonte: Autor, 2023.*

Após a colheita de soja, foi feita a coleta de solos de cada unidade experimental, onde foi coletado amostras com estrutura preservada para análise física de densidade do solo com o método do cilindro volumétrico, onde envolve duas etapas, sendo a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação do volume do cilindro e para a coleta de solos para análise químicas de pH em água, H+Al, P e K, foi coletado entorno de 1 kg de solo em cada camada utilizando uma espátula (Figura 6a, 6b). A coleta foi feita nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 e 30-40 cm de profundidade (Figura 6b), posteriormente as amostras foram encaminhadas para uma estufa para o processo de secagem (Figura 6c) em uma temperatura entorno de 40°C, após isso foi direcionado para as análises de laboratório.

**Figura 6.** Coleta de solos estratificada até 40cm de profundidade (a) trincheira para coleta de solo (b) secagem em estufa a 40°C (c)



Fonte: Autor, 2023.

## 2.5 SEMEADURA E ADUBAÇÃO DA AVEIA

Após a coleta de solo, foi realizado o plantio de aveia preta (*Avena strigosa*), popularmente conhecida como aveia ucraniana ou crioula, que foi realizado no dia 7 de junho de 2023, de forma mecanizada com o auxílio de uma semeadora-adubadora. A cultivar utilizada foi a ucraniana bastante difundida pelos produtores da região. Foi realizado a regulagem da semeadora-adubadora (Figura 7b) para semear 100kg ha<sup>-1</sup> de sementes viáveis de aveia, com um espaçamento de 17 cm entre linhas, junto com a semeadura foi feito a adubação de manutenção nas parcelas que possuem tratamento com adubação em linha (Figura 7a) e nas parcelas com adubação superficial foi feito a lanço de forma manual,

gerando um bom manejo e controle de semeadura e adubação das parcelas do experimento. As adubações de manutenção foram realizadas conforme o Manual de Calagem e Adubação para os estados do RS e SC (CQFS, RS/SC, 2016), para uma expectativa de rendimento de 4 ton ha<sup>-1</sup> de aveia. Para a manutenção de P, aplicou-se 60kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, usando como fonte o Superfosfato Triplo (STP) a 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, equivalente a 133,33 kg ha<sup>-1</sup> de STP. Enquanto que o K, foi aplicado 40kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, usando como fonte o Cloreto de Potássio (KCl) a 60% de K<sub>2</sub>O, equivalente a 66,67 kg de KCl ha<sup>-1</sup>.

**Figura 7.** Plantio da aveia ucraniana (a) regulagem da semeadora-adubadora (b)



*Fonte: Autor, 2023.*

Após 45 dias do plantio foi realizado adubação de cobertura nitrogenada, aplicando 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando ureia como fonte de nitrogênio a 45% de N, equivalente a 177,78 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (Figura 8).

**Figura 8.** Adubação de cobertura nitrogenada na aveia preta em estágio de afilamento.

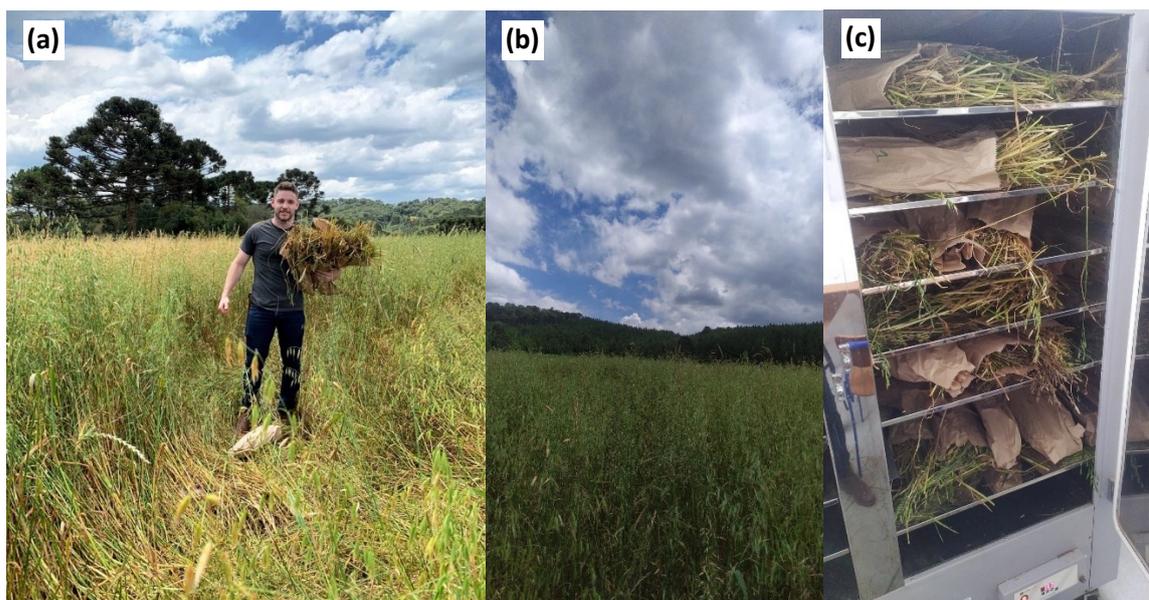


*Fonte: Autor, 2023.*

## 2.6 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA AVEIA

A colheita da aveia ucraniana foi realizada no dia 26 de outubro de 2023, onde foi feito o corte das plantas de aveia dentro de uma área de 0,25 m<sup>2</sup>. Após a colheita, foi encaminhado as amostras de cada parcela para a estufa, onde foi secado e obtido a massa seca da aveia para cálculo da produtividade por hectare (Figura 9).

**Figura 9.** Colheita da aveia ucraniana (a, b) secagem em estufa (c)



Fonte: Autor, 2023.

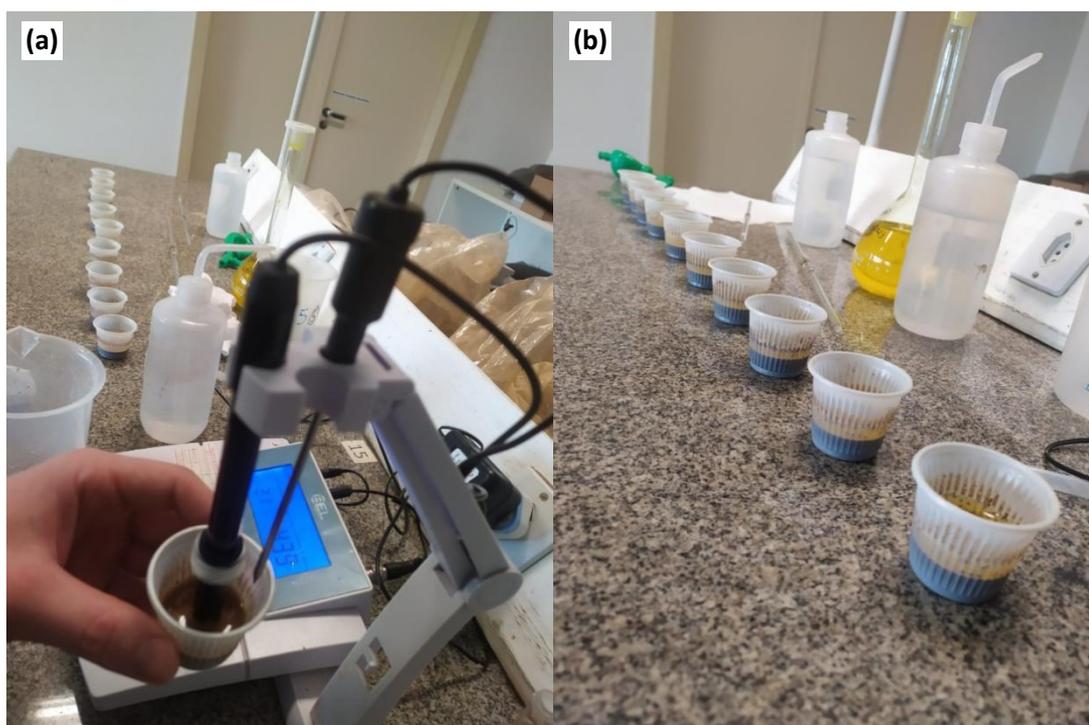
## 2.7 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

As análises de densidade do solo (Ds) foram realizadas através do método de anel, no qual a amostra de solo foi coletada em amostrador cilíndrico e seco em estufa a 105°C. Após a secagem, as amostras foram pesadas seguido da mensuração do volume do cilindro conforme a equação 1.

$$D_s \text{ (g cm}^3\text{)} = \text{massa do solo seco} / \text{volume cilindro} \quad \text{equação 1}$$

Para as amostras químicas de solo, o solo foi seco em estufa, moído e peneirado em malha de 2 mm e armazenado para análises. Em seguida, 10 g de solo foi pesado em copo descartável e adicionado 10 ml de água destilada, agitando e determinado o valor de pH após 30 minutos de repouso em pHmetro calibrado (Figura 10a). Após isso, foi adicionado 5ml da solução tamponada SMP pH 7,5, agitado e deixado em repouso por 20min e determinado o pH (Figura 10b).

**Figura 10.** Análise de acidez do solo pH em água (a) análise do pH SMP (b)



Fonte: Autor, 2023.

Com a avaliação do pH SMP, foi estimado o valor de  $H^+Al$  com a fórmula abaixo apresentado no manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016) (Equação 2).

$$H^+Al \text{ (cmolc dm}^{-3}\text{)} = \frac{e^{(10,665 - 1,1483 \times pH \text{ SMP})}}{10} \quad \text{equação 2}$$

Para a avaliação de P e K disponível no solo foi utilizado o método do extrator duplo ácido (Mehlich 1), que são ácidos fortes em baixas concentrações ( $H_2SO_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  e  $HCl$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ). Após a extração, o fósforo foi quantificado pelo método colorimétrico em espectrofotômetro de absorção molecular sob comprimento de onda de  $882 \text{ nm}$  (Murphy e Riley, 1962). Já o potássio foi determinado em espectrofotômetro de absorção atômica.

## 2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram avaliados estatisticamente em delineamento de blocos casualizados (DBC) esquema de parcelas subdivididas 3x3, com 3 formas de calagem (incorporada, superficial e sem calagem) e 3 modos de adubação, (em linha de cultivo, superficial e sem adubação). A análise dos dados foi realizada inicialmente através da verificação do cumprimento das pressuposições dos modelos, como a presença de distribuição normal dos dados (normalidade) e homogeneidade de variância (homocedasticidade). O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados, enquanto o teste de Bartlett foi empregado para verificar a homogeneidade das variâncias, ambos com um nível de confiança de 95%. Foi realizado o teste da ANOVA nos tratamentos e somente onde foi incorporado calcário além das três formas de adubação testadas anteriormente mais dois tratamentos adicionais: correção de P incorporado e manutenção P e K em linha e correção de P incorporado manutenção de P e K em superfície) em esquema de Blocos Casualizados. Quando significativo foi feito o teste de Tukey com 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 PARÂMETROS DE ACIDEZ DO SOLO

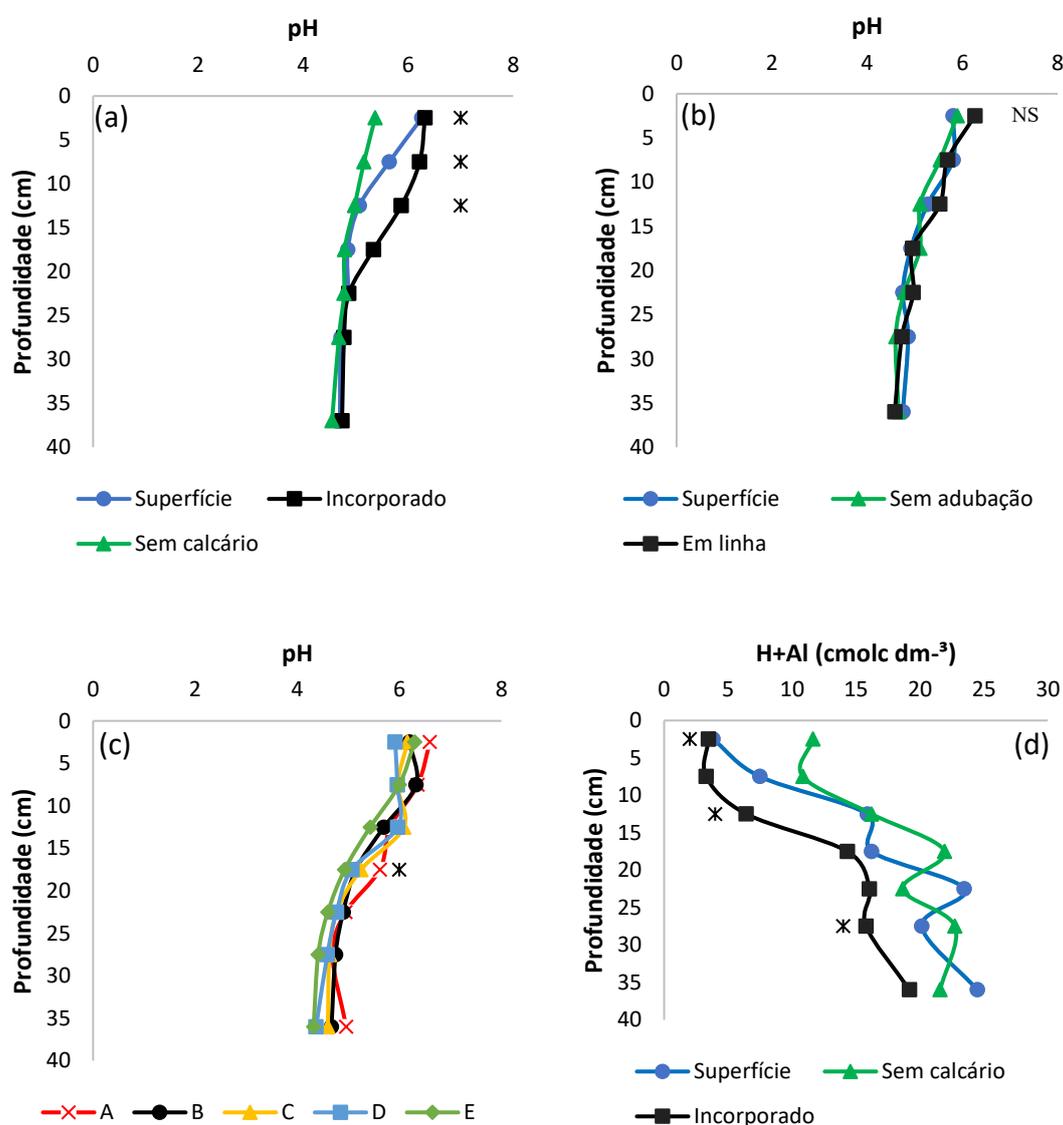
As formas de aplicação de calcário no solo influenciaram o pH em água, principalmente nas camadas superficiais (Figura 11a). A incorporação do calcário elevou o pH até 15 cm de profundidade em relação a testemunha, sem calagem. Já a aplicação superficial incrementou o pH somente até 5 cm de profundidade em relação a testemunha após 32 meses da aplicação. Nas camadas inferiores a 20 cm não houve incremento de pH em água em função da aplicação de calcário. Já em relação ao pH do solo em função das formas de aplicação de P e K somente com calcário incorporado, na camada de 15-20 cm o solo sem adubo obteve um pH maior em relação a correção de P incorporada e manutenção em superfície (Figura 11c). Quanto as formas de adubação em linha, superfície e sem adubação não houve diferença nos valores de pH em água em todas as camadas de solo (Figura 11b).

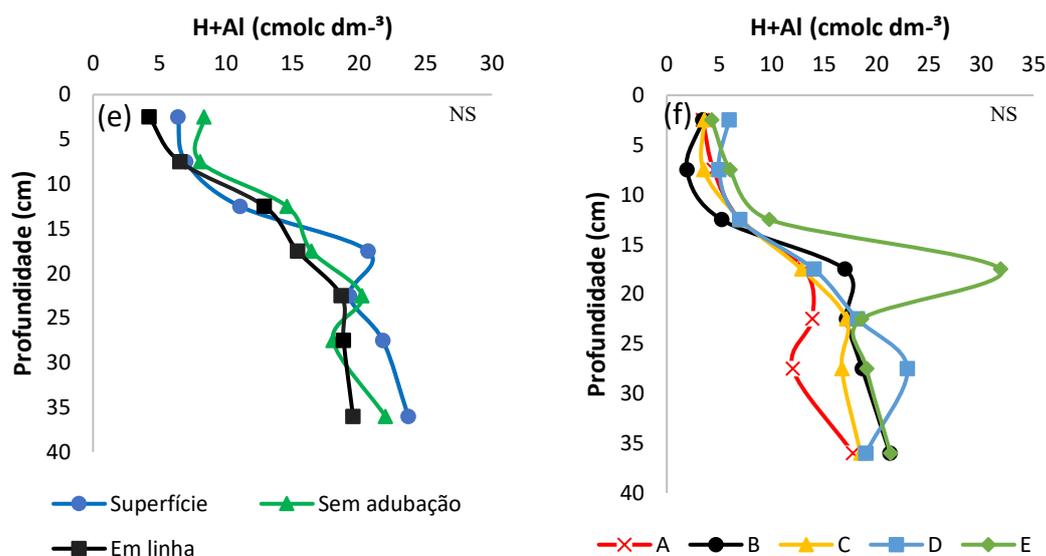
Já em relação aos valores de  $H+Al$ , esses apresentaram menores valores com a aplicação de calcário incorporado e em superfície na camada de 0-5 cm em relação a testemunha. Já na camada de 10-15 e 25-30 cm, o calcário incorporado apresentou os menores valores de  $H+Al$  em relação a aplicação superficial e a testemunha, sem calcário (Figura 11d). Quanto aos diferentes modos de aplicação de fertilizante no solo, semelhante aos valores de pH em água, não houve diferenças estatísticas nos valores de  $H+Al$  (Figura 11e, 11f).

A aplicação superficial de calcário corrigiu a acidez do solo apenas nos primeiros centímetros após 32 meses da aplicação do calcário. Isso ocorre principalmente pela baixa solubilidade do calcário e dos produtos de sua reação no solo, que faz com que a aplicação em superfície não apresente efeito rápido na redução da acidez em camadas do subsolo (Amaral e Anghinoni, 2001; Ernani et al., 2004). Corroborando com esse resultado, Rheinheimer (2018) avaliou após 12 anos o efeito residual da aplicação superficial de calcário em um Argissolo de textura média, e na maior dose aplicada de 6 Mg de calcário  $ha^{-1}$  (subdividido em 5 anos), o pH crítico de 5,5 foi satisfeito apenas nos primeiros centímetros de profundidade do perfil do solo. No entanto, isso pode estar diretamente associado com a dose aplicada. Já a incorporação do calcário proporcionou um maior contato do corretivo

com as partículas de solo, favorecendo, assim, a reação de neutralização da acidez em profundidade até 15 cm.

**Figura 11.** Efeito dos modos de aplicação de calcário nos valores de pH em água (a) em função dos modos de adubação de P e K do solo (b) e dos modos de adubação P e K somente com calcário incorporado (c). Efeito dos modos de aplicação de calcário nos valores de H+Al (d) em função dos modos de adubação de P e K do solo (e) e dos modos de adubação P e K somente com calcário incorporado (f) em um Cambissolo Háplico após 32 meses de aplicação de calcário.





As letras da legenda acima correspondem: A = sem correção de P e sem adubação de manutenção de P e K; B = correção superficial de P e adubação de manutenção de P e K em superfície; C = correção de P em linha e adubação de manutenção de P e K em linha; D = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em linha; E = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em superfície; \* = diferença estatística significativa pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ) e (NS) não significativo.

Fonte: Autor (2023)

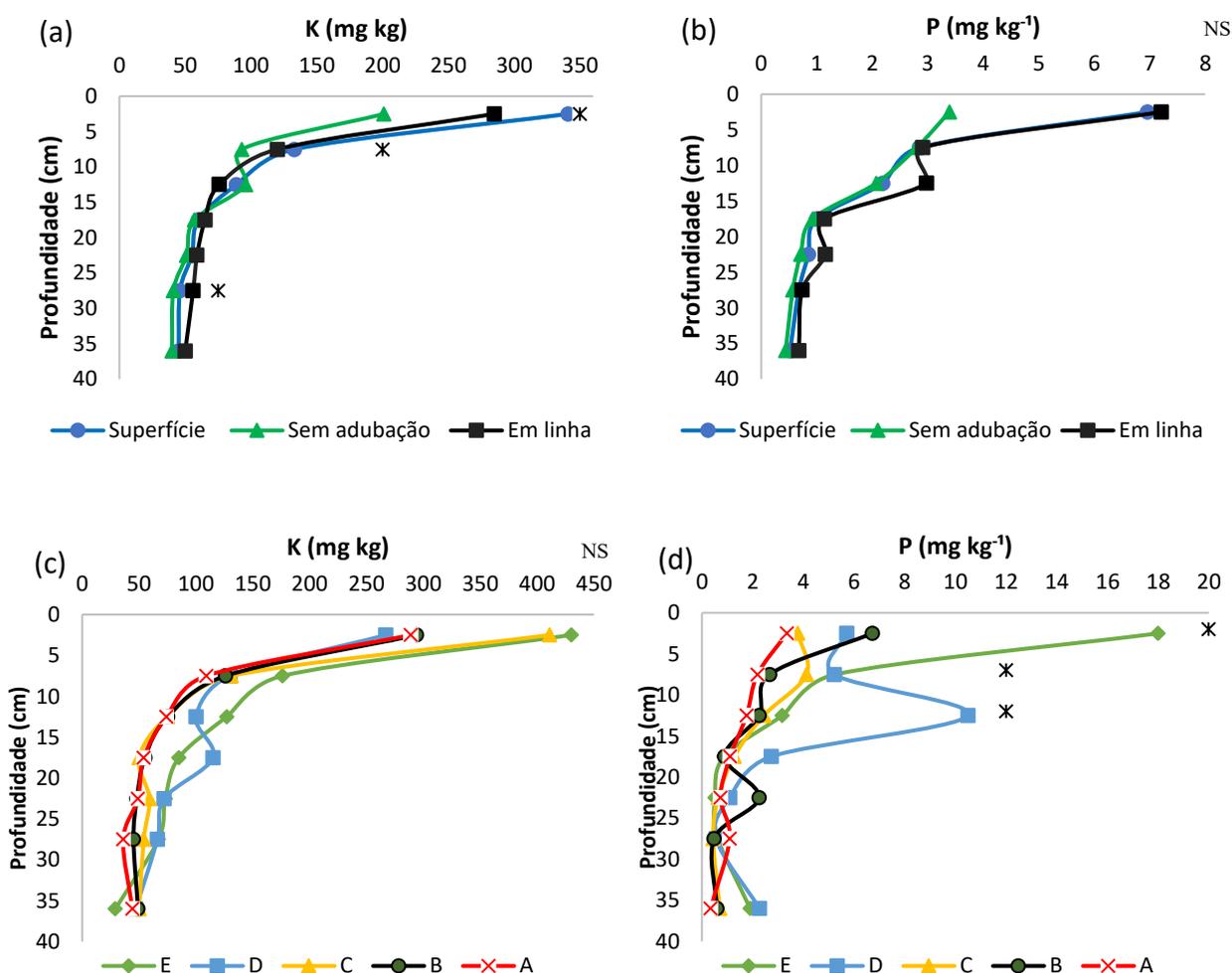
Os diferentes modos de adubação não ocasionaram alteração do pH do solo, porém a aplicação de superfosfato triplo (STP) pode provocar alterações no pH do solo (Merten et al., 2019). Entretanto, a área do experimento foi manejada com culturas de grãos por apenas 3 safras, onde foi aplicado  $380 \text{ kg de } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ , utilizando como fonte de P o fertilizante STP, sendo uma quantidade pequena de fertilizante. Além disso, os solos mais tamponados, como os da região do Planalto Catarinense, espera-se que estes efeitos sejam menores, tendo em vista os altos teores de matéria orgânica e argila presente. O Cambissolo avaliado apresenta alto teor de argila (58,75%) e matéria orgânica (4,6%), sendo considerado um solo com alto poder tampão, tornando o solo mais resistente as alterações de mudanças do pH.

### 3.2 PARÂMETROS DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO

A aplicação de P e K em linha e em superfície aumentou a disponibilidade de K em até 10 cm em relação a testemunha (Figura 12a). Já para o P não houve diferença significativa, porém é possível observar uma maior concentração do nutriente na camada de 0-5 cm do solo (Figura 12b) em relação as demais camadas do solo. Aonde o calcário foi

incorporado, o P incorporado no solo na correção e manutenção em superfície foi superior na camada 0-5cm em relação aos demais tratamentos, já na camada de 5-10 cm foi superior apenas ao solo sem adubação. Na camada de 10 a 15 cm o P incorporado na correção com manutenção na linha e manutenção em superfície foram superiores a correção e manutenção em linha e em superfície, e em relação ao solo sem adubação (Figura 12d), enquanto para o K não houve diferença significativa (Figura 12c).

**Figura 12.** Efeito no teor de K no solo sob diferentes formas de aplicação de adubo (a) teor de P no solo em função dos modos de adubação (b) teor de K no solo somente onde o calcário foi incorporado (c) teor de P no solo com calcário incorporado (d).



As letras da legenda acima correspondem: A = sem correção de P e sem adubação de manutenção de P e K; B = correção superficial de P e adubação de manutenção de P e K em superfície; C = correção de P em linha e adubação de manutenção de P e K em linha; D = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em linha; E = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em superfície. \* = diferença estatística significativa pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ) e (NS) não significativo.

Fonte: Autor (2024)

O fósforo apresenta os maiores teores nos primeiros centímetros do solo. Entretanto para uma melhor distribuição do P em subsuperfície seria com a incorporação no solo junto com a calagem (Figura 12d) onde observa-se uma maior concentração desse nutriente em até 15 cm de profundidade. A indisponibilidade de P gerada pela aplicação conjunta de corretivos e fertilizantes fosfatados é um tema amplamente debatido. Portanto, é crucial considerar não apenas a forma de aplicação dos fertilizantes, mas também as condições do solo (Kern & Leite, 2018). Ao aplicar calcário, uma explicação para o aumento da disponibilidade de P é a redução dos fosfatos de ferro e alumínio, que são mais abundantes em solos com pH mais baixo. O aumento do pH resulta em maior carga negativa nas superfícies dos colóides do solo, o que diminui a adsorção entre o fosfato e a superfície adsorvente, possibilitando maior disponibilidade de P no solo (Novais et al., 2007). Isso justifica os maiores valores de disponibilidade de P aonde o calcário foi incorporado.

A aplicação de P em linha e em superfície do solo apresentaram teores baixos de P ( $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e muito baixo ( $3,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) no controle (camada de 0-10 cm), (CQFS-RS/SC 2016). A quantidade de P adicionado durante o experimento (Tabela 2) até a coleta de solo totalizou  $380 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  ao longo de 3 safras. Isso mostra que a correção do P segundo recomendação oficial para os solos da região foi insuficiente para elevar os teores até o nível adequado. Isso pode ser devido as características intrínsecas do solo. Mumbach (2020) avaliou o poder tampão de P de solos do RS e SC e verificou que os valores são insuficientes para atingir o valor adequado. Pavinato (2010) ressalta que os fertilizantes fosfatados com maior solubilidade podem ser vistos como uma desvantagem em solos tropicais, pois aumentando o teor de fósforo na solução do solo (P lábil), a adsorção e precipitação (P não lábil) também são aumentadas, reduzindo deste modo a concentração do fósforo ao longo tempo. Da mesma forma, no início do experimento em 2020, o teor de P no solo era de ( $7,56 \text{ mg dm}^{-3}$ ), ocorrendo uma redução nesses últimos anos, devido provavelmente a exportação por parte do P adicionado, mas principalmente pelas reações que tendem a diminuir o P lábil (P disponível) e aumentar o P não lábil. Isso se deve principalmente à alta adsorção de íons fosfato pelos óxidos e hidróxidos de alumínio (Al) e ferro (Fe), abundantes em solos altamente intemperizados (Silva et al., 2018), fazendo com que solos com predomínio da fração argila tenha uma maior retenção de P diminuindo sua disponibilidade no solo.

Em todos os tratamentos é perceptível a formação de um gradiente de disponibilidade de P no solo, com maior concentração na camada superficial, diminuindo

abruptamente com a profundidade do solo, o que é característico do SPD (Tiecher et al., 2017). Apesar da maior disponibilidade de P para as plantas, o acúmulo de fosfato na superfície do solo representa um grande risco de eutrofização dos corpos d'água devido ao transporte de P pelo escoamento superficial (Panuelas et al., 2009). Ernani et al. (2001) obtiveram resultados semelhantes com maior concentração de P nos primeiros centímetros do solo atribuindo isto a baixa mobilidade do P, sendo favorecida pela aplicação de fertilizantes fosfatados solúveis e deposição do fertilizante fosfatado na superfície.

Costa (2009) ressalta que o fósforo é transportado por difusão, com alta precipitação durante o desenvolvimento da cultura o suprimento do P é favorecido, independente se for aplicado em superfície tendo maior concentração de P na camada superficial (0-5 cm), ou aplicado em linha favorecendo a concentração em (5-10 cm). Prochnow et al., (2017), relata que se o solo estiver com adequada fertilidade, da existência de um suprimento adequado de fósforo no solo, em anos com boa distribuição de chuvas, não se esperam diferenças significativas em relação as formas de aplicação do nutriente, corroborando com as informações observadas neste trabalho.

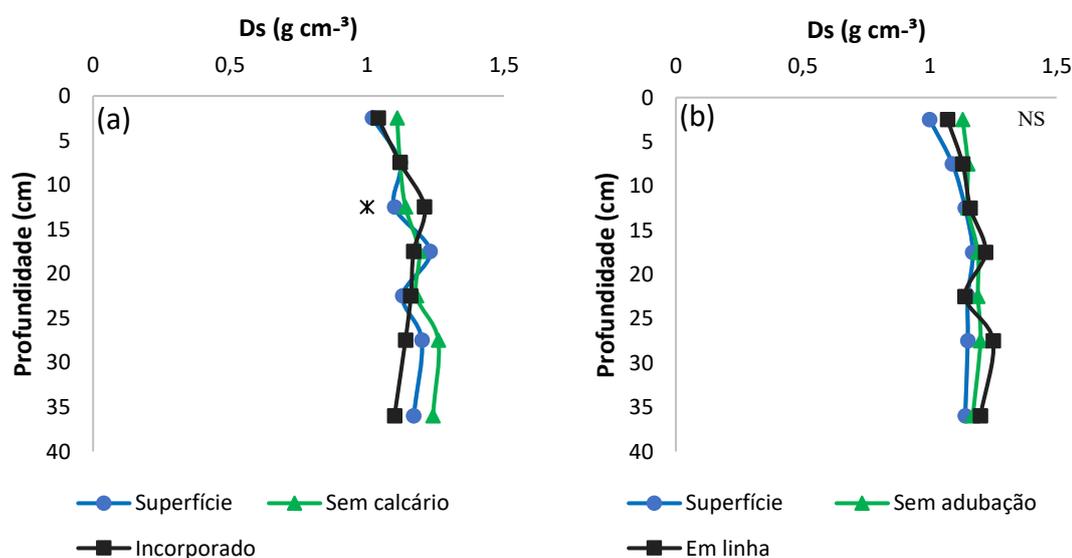
Quanto à disponibilidade do K no solo, é possível observar uma maior disponibilidade também nas camadas superficiais, com um abrupto decréscimo nos teores a partir dos 5 cm de profundidade (Figura 12a). Como acontece com o P, isso se deve a aplicação em superfície do fertilizante e a deposição de resíduos vegetais na superfície do solo (Joris et al., 2016; Martins et al., 2014).

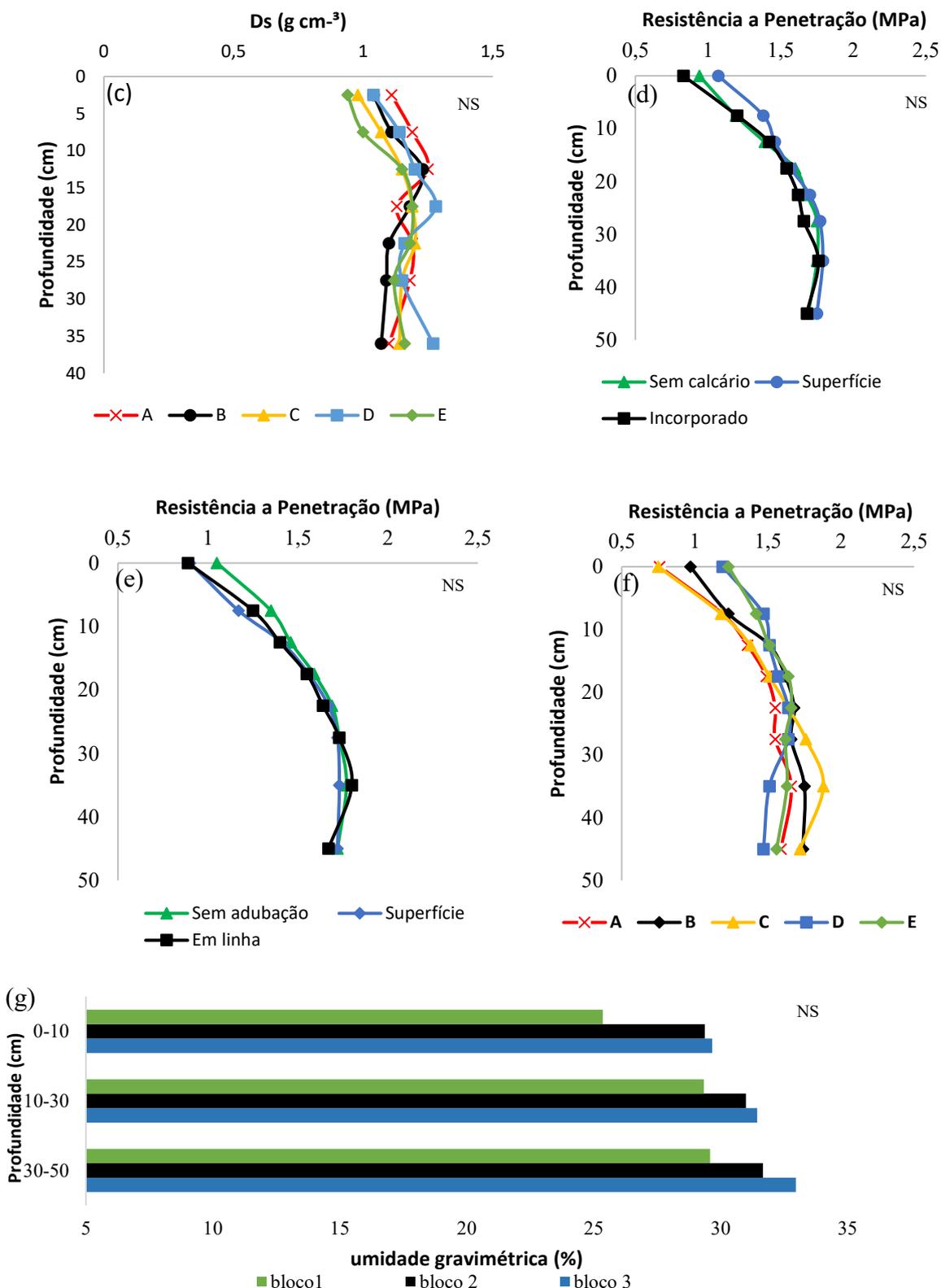
### 3.3 PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO

Os valores de densidade do solo (Ds) foram superiores no calcário incorporado em relação ao calcário superficial na camada 10-15 cm (Figura 13a). Já em relação as formas de adubação, não teve diferenças significativas nos valores de Ds (Figura 13b, 13c). Quanto a resistência a penetração do solo, os valores obtidos entre os modos de adubação e calagem não foram significativos (Figura 13d, 13e, 13f, 13g). Destaca-se que os valores estão abaixo do nível crítico (abaixo de 2,0 MPa) considerado restritivo para as plantas e que aparentemente não estão apresentando problemas por compactação superficial e subsuperficial.

A  $D_s$  variou entre 0,94 e 1,28  $\text{g dm}^{-3}$ , não ultrapassando os valores críticos acima de 1,40  $\text{g dm}^{-3}$ , conforme Reichert (2003) para solos argilosos, sendo ideal para o desenvolvimento radicular das plantas de lavoura. Avaliado a  $D_s$  e a resistência a penetração, pode se notar que o solo não apresenta problemas físicos aparente. Tiecher (2016) salienta que a compactação do solo pode afetar a adsorção e absorção de P e K pelas plantas que associado à baixa porosidade do solo pode diminuir a infiltração e retenção de água no solo. No entanto, no Cambissolo avaliado, as condições físicas adequadas provavelmente são relacionadas aos altos teores de matéria orgânica do solo (4,6%), que provavelmente proporciona boa estrutura do solo, propiciando aeração e adequada disponibilidade de água e nutrientes para as plantas. Além disso, cabe ressaltar que mesmo nas parcelas com aplicação de calcário incorporado e conseqüentemente revolvimento do solo, não houve diferenças significativas em comparação as parcelas sem revolvimento. Isso se deve provavelmente ao constante aporte de resíduos culturais, como palhada, raízes, restos de cultura realizados em SPD.

**Figura 13.** Efeito dos modos de aplicação de calcário nos valores de Densidade do solo ( $D_s$ ) (a) em função dos modos de adubação de P e K do solo (b) e dos modos de adubação P e K somente com calcário incorporado (c). Efeito dos modos de aplicação de calcário nos valores de resistência a penetração do solo (RP) (d) em função dos modos de adubação de P e K do solo (e) e dos modos de adubação P e K somente com calcário incorporado (f) umidade gravimétrica do solo no momento da avaliação da RP (g).





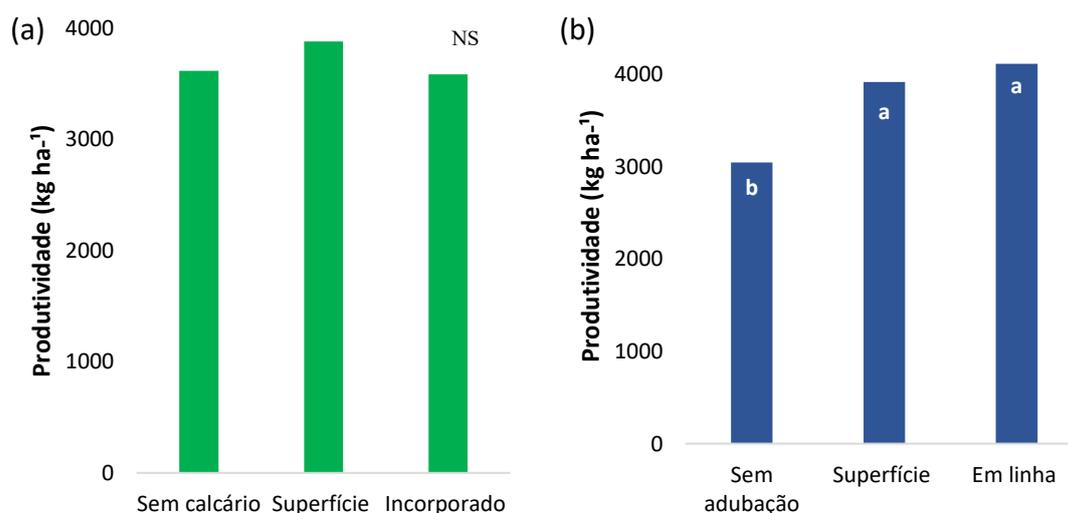
As letras da legenda acima correspondem: A = sem correção de P e sem adubação de manutenção de P e K; B = correção superficial de P e adubação de manutenção de P e K em superfície; C = correção de P em linha e adubação de manutenção de P e K em linha; D = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em linha; E = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em superfície; \* = diferença estatística significativa pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ) e (NS) não significativo.

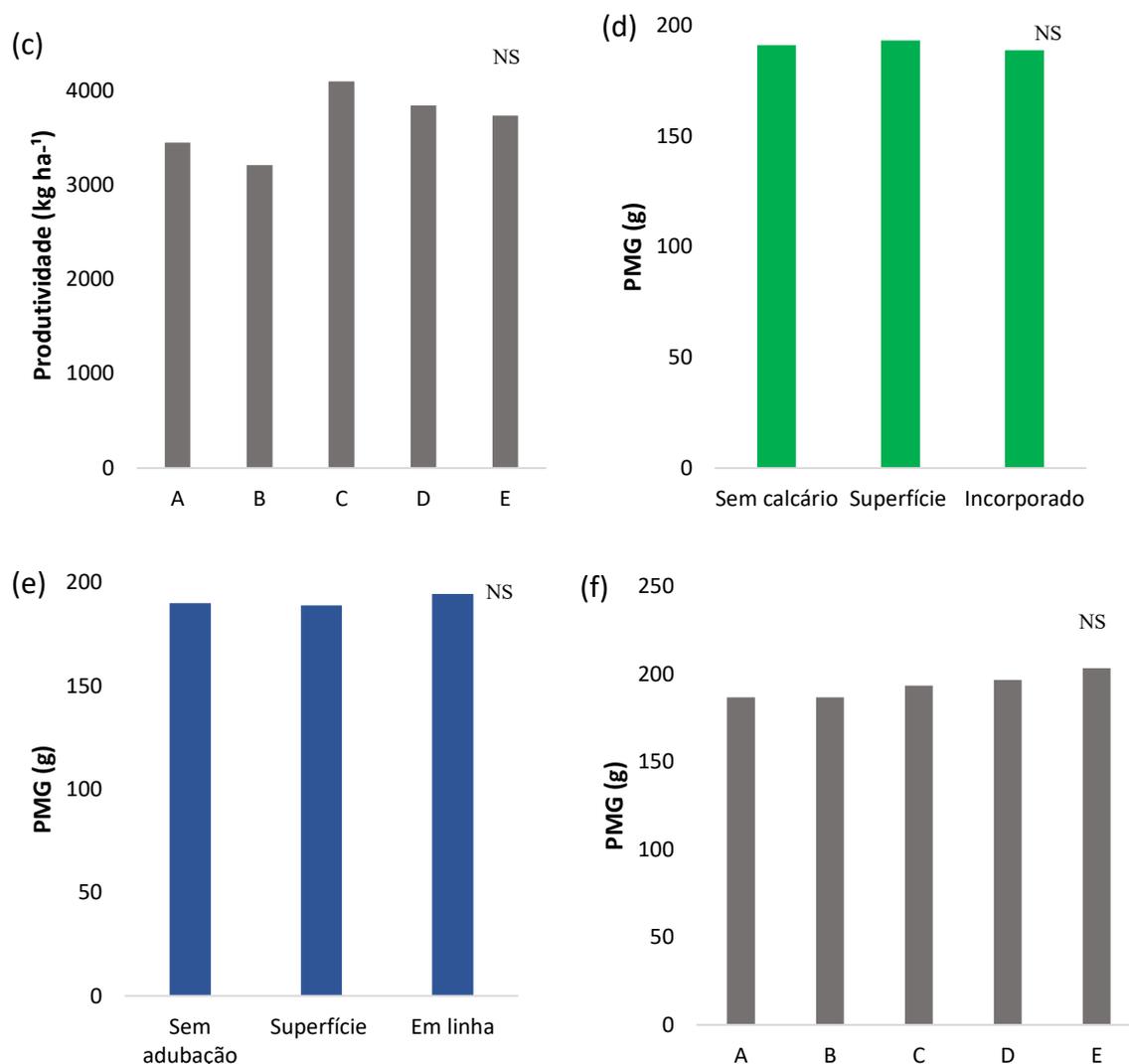
### 3.4 PRODUTIVIDADE DA SOJA

Os métodos de aplicação de calcário no solo não afetaram a produtividade da soja (Figura 14a). Já a adubação, houve um incremento na produtividade onde foi aplicado fertilizante em relação a testemunha, independente da forma de aplicação (Figura 14b). A aplicação de adubo em linha obteve uma produtividade de 4117 kg por ha<sup>-1</sup> de soja, semelhante a aplicação superficial que alcançou 3920 kg por ha<sup>-1</sup>, sendo estas superiores ao solo sem adubação que atingiu 3048 kg por ha<sup>-1</sup>.

Já em relação as formas de aplicação de P e K somente com calcário incorporado, que é o método recomendado de correção do solo para a região Sul (CQFS, RS/SC, 2016) (Figura 14c) não apresentou diferença na produtividade de soja em função da adubação. Em relação ao peso de mil grãos (PMG), os métodos de calagem e adubação não demonstraram diferença significativa (Figura 14d, 14e, 14f).

**Figura 14.** Efeito dos modos de aplicação de calcário na produtividade da soja (a) em função dos modos de adubação de P e K do solo (b) e dos modos de adubação P e K somente com calcário incorporado (c). Efeito dos modos de aplicação de calcário nos valores de peso de mil grãos (PMG) (d) em função dos modos de adubação de P e K do solo (e) e dos modos de adubação P e K somente com calcário incorporado (f).





As letras da legenda acima correspondem: A = sem correção de P e sem adubação de manutenção de P e K; B = correção superficial de P e adubação de manutenção de P e K em superfície; C = correção de P em linha e adubação de manutenção de P e K em linha; D = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em linha; E = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em superfície. As letras em cima da barra (DMS = Diferença Média Significativa) representam a diferença estatística significativa pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ) e (NS) não significativo.

Fonte: Autor (2023)

Provavelmente por se tratar de um solo com alto teor de matéria orgânica e ter sido cultivado anteriormente com grãos, sendo que provavelmente já ocorreu correção parcial da acidez do solo, as formas de calagem não interferiram na produtividade da soja. Além disso, cabe ressaltar que os valores de pH em água do solo controle, sem calagem, foram superiores a 5,2, o que faz com que provavelmente o solo apresente  $Al^{3+}$  mas em baixa concentração. Em um estudo com vários solos da região sul do Brasil, Almeida et al. (1999) sugerem corrigir a acidez dos solos tamponados do Sul do Brasil até atingir pH em água 5,2, pois a expectativa de resposta é baixa próximo desses valores de pH. Além disso, em cultivos em SPD, a presença de cobertura e baixo revolvimento tende aumentar os teores de

matéria orgânica no solo na camada superficial contribuindo para amenizar o  $Al^{3+}$  em comparação ao cultivo convencional (Alleoni et al., 2010). O manejo adequado do sistema conservacionista auxilia no acúmulo de carbono orgânico no solo, que desempenha o aumento na disponibilidade de nutrientes e a redução da toxicidade de  $Al^{3+}$ , até mesmo em solos ácidos (Rheinheimer et al., 2018).

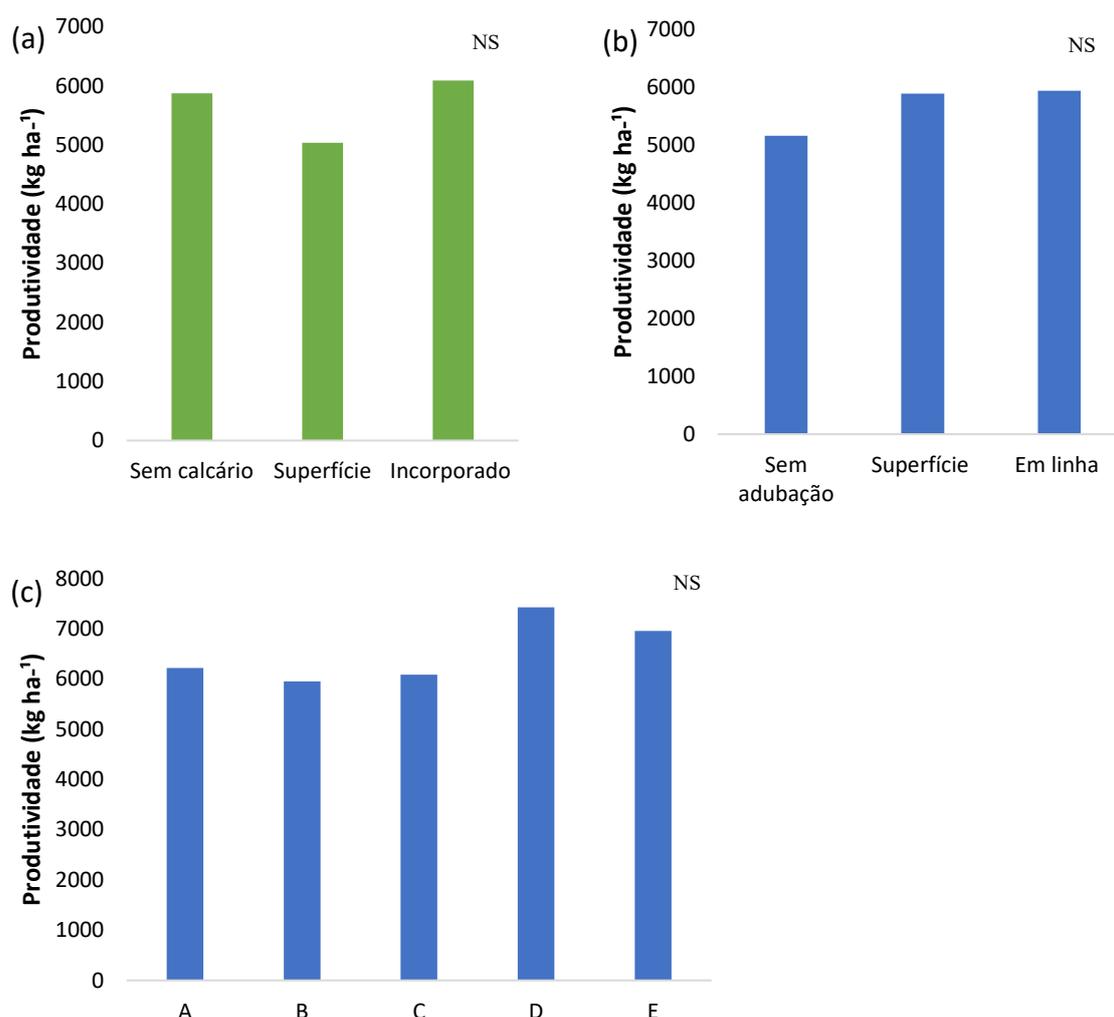
Os altos rendimentos da cultura da soja aliados à ausência de resposta quanto aos diferentes modos de adubação de P e K em linha ou em superfície, podem ser explicados pela precipitação adequada ao longo do cultivo e por se tratar de uma área com o perfil do solo bem estruturado do ponto de vista físico.

As boas condições edafoclimáticas para o desenvolvimento da soja fez com que provavelmente o sistema radicular da planta não precisasse buscar água e nutrientes em camadas mais profundas do solo, concentrando as raízes na camada superficial, ficando próxima de onde foram distribuídos os fertilizantes aplicados a lanço e em linha de semeadura. A adubação de P e K recomendada pelo (CQFS RS/SC, 2016) para a cultura da soja, demonstram um incremento na produtividade em relação a não adubação, evidenciando-se que o manejo adequado da fertilidade do solo propicia alcançar patamares maiores de produção e ganhos econômicos.

### 3.5 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA AVEIA

As diferentes formas de aplicação de calcário e fertilizantes no solo não demonstraram diferença significativa na produção de matéria seca final da aveia ucraniana (Figura 15abc).

**Figura 15.** Efeito dos modos de aplicação de calcário na produção de matéria seca da aveia (a) em função dos modos de adubação de P e K do solo (b) e dos modos de adubação P e K somente com calcário incorporado (c).



As letras da legenda acima correspondem: A = sem correção de P e sem adubação de manutenção de P e K; B = correção superficial de P e adubação de manutenção de P e K em superfície; C = correção de P em linha e adubação de manutenção de P e K em linha; D = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em linha; E = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em superfície. As letras em cima da barra representam (NS) não significativo em termos estatísticos.

Fonte: Autor (2024)

De acordo com o manual de calagem e adubação (CQFS RS/SC, 2016), a quantidade de palha produzida, em geral, deve ser maior que 8,0 t/ha/ano de matéria seca, nas condições climáticas típicas das maiores regiões produtoras de grãos do Sul do Brasil. Foi obtido produtividades de até 7,4 ton ha<sup>-1</sup> de matéria seca com adubações de P e K, sendo uma biomassa elevada.

Não houve diferença na produção de matéria seca da aveia ucraniana, mesmo no solo sem adubação, foi obtido mais de 5 ton ha<sup>-1</sup> de biomassa, isso reflete ao solo em que

está sendo trabalhado, que apresenta um alto teor de MO (4,6%), sendo que parte dos nutrientes mineralizados da MO já suprem a necessidade da aveia em atingir uma produção adequada, visto que é uma forrageira pouco exigente em fertilidade por se tratar de uma variedade rústica.

#### 4 CONCLUSÃO

A aplicação de calcário incorporado elevou o pH até 15 cm, enquanto que a aplicação em superfície apenas na camada 5 cm após 32 meses da aplicação.

A calagem não incrementou na produtividade da soja e aveia preta.

Não houve restrição física quanto a compactação do solo.

A adubação de P e K em linha e em superfície incrementou a produtividade da soja.

A aplicação de P e K em linha e em superfície aumentou a disponibilidade de K em até 10 cm. Somente onde foi incorporado o calcário, a correção incorporada de P com manutenção na linha e manutenção em superfície aumentou a disponibilidade de P em até 15 cm.

## REFERÊNCIAS

ALLEONI, L. RF et al. Acidity and aluminum speciation as affected by surface liming in tropical no-till soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 3, p. 1010- 1017, 2010.

ALMEIDA, Jaime Antonio de; ERNANI, Paulo Roberto; MAÇANEIRO, Kátia Cilene. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 29, p. 651-656, 1999.

AMARAL AS, ANGHINONI I. **Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 2001;36:695-702.

BATISTA, Marcelo Augusto. et al. **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. 2018.

BORTOLUZZI, E. C. et al. Soybean root growth and crop yield in reponse to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 262–271, 2014.

CASALI, Carlos Alberto et al. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Cap. 2, p. 23-33, 2016.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - ISBN: 978-85-66301-80-9: **Manual de Adubação e Calagem**. 11 ed. Rio Grande do Sul, Santa Catarina, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Boletim da safra de grãos - safra 2023-24**. Disponível em: [file:///C:/Users/User/Downloads/E-book\\_BoletimZdeZSafrasZ-Z5Zlevantamento.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZ-Z5Zlevantamento.pdf)

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties, **European Journal of Agronomy**, Volume 74, 2016, Pages 119-132, ISSN 1161-0301.

ERNANI P. R.; RIBEIRO M.F.S.; BAYER C. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Commun Soil Sci Plant Anal.** 2004;35:889-901.

HANSEL, F. D. **Fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e em linha na cultura da soja sob semeadura direta.** Dissertação (Mestrado) — UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G. & SILVA, L.S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:573-580, 2005.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo, Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MERGEN JUNIOR, C. A.; LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E; GIUMBELLI, L. D.; PINHO, D.; ABREU, L.; LOURENZI, C. R.; COMIN, J. J.; BRUNETTO, G. Caracterização física de agregados do solo submetido a 10 anos de aplicação de dejetos suínos. **Revista de Ciências Agrícolas**, v. 36, n. 1, p. 79-92, 2019.

MERTEN, Gean Marcos; PATEL, Mauricio; RICHART, Alfredo. Potencial acidificante de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados em dois solos do Paraná. **Revista Cultivando o Saber**, v. 12, n. 3, p. 32-42, 2019.

MUMBACH GL, Gatiboni LC, Dall'Orsoletta DJ, Schmitt DE, Grando DL, Souza Junior AA, Brignoli FM, Iochims DA. Refining phosphorus fertilizer recommendations based on buffering capacity of soils from southern Brazil. **Rev Bras Cienc Solo.** 2021;45:e0200113.

MURPHY J, Riley JP. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal Chim Acta.** 1962;27:31-6.

NKEBIWE, P. M. et al. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 196, p. 389-401, 2016.

NOVAIS, R.F.; JOT SMYTH, T.; NUNES, F.N.; Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L (2007). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo.** p. 471-550.

ORMOND, Antonio Tassio Santana et al. **Sistemas de semeadura e manejo do solo no desenvolvimento da cultura da soja**. 2013.

OSORNO, L. et al. Phosphate desorption by a soil fungus in selected Hawaiian soils differing in their mineralogy. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.95 n. 2, p. 154-166, 2018.

PAVINATO, P.; DAO, T.; ROSOLEM, C. Tillage and phosphorus management effects on enzyme-labile bioactive phosphorus availability in Cerrado Oxisols. **Geoderma, Amsterdam**, v. 156, n. 3, p. 207-215, 2010.

PESSONI, PATRÍCIA TEREZINHA. **Calagem e gessagem na produtividade da soja e do triticale**. 2012. Tese de Doutorado. INSTITUTO AGRONÔMICO

PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. vol. 2. Brasil: International Plant Nutrition Institute-IPNI, 2010. 362 p.

PROCHNOW, L.I.; RESENDE, A.V.; OLIVEIRA JUNIOR, A.D.; FRANCISCO, E.A.B.; CASARIN, V.; PAVINATO, P.S (2017). **Localização do fósforo em culturas anuais na agricultura nacional: situação importante, complexa e polêmica**. Informações agronômicas, n. 158, jun.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v.27, p.29 -48, 2003.

RESENDE, A.V.; FONTOURA, S.M.V.; BORGHI, E.; SANTOS, F.C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S.G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; BORIN, A.L.D.C. (2016). **Solos de fertilidade construída: características, funcionalidades e manejo**. Informações Agronômicas, Piracicaba: POTAFOS, v. 156, p. 1-19.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from South Brazilian Campos. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 180, n. 1, p. 222–231, 2018..

SALTON, J. C. et al. **Cloreto de potássio na linha de semeadura pode causar danos a soja**. Dourados: Embrapa, 2002.

SANTOS, D. R.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; SANTANNA, M. A.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol

from South Brazilian Campos, **Soil and Tillage Research**, Volume 180, 2018, Pages 222-231, ISSN 0167-1987.

SANTOS, Danilo Rheinheimer dos; SILVA, Leandro Souza da. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. 2010.

SILVA, J. V. de S.; CRUZ, S. C. S.; ALOVISI, A. M. T.; KURIHARA, C. H.; XAVIER, A. D.; MARTINEZ, M. A. Adubação fosfatada no feijoeiro cultivado sob palhada de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Revista Ceres**, v. 65, n.2, p. 181-188, 2018.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, RS, p.170, 1995.

TEIXEIRA, H. R. S. et al. Efeito da profundidade de adubação e semeadura na cultura do milho. **Revista Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 27, n. 1, p. 91- 100, 2018.

TIRITAN, C.S., BULL, L.T., CRUSCIOL, C. A. C., CARMEIS FILHO, A.C.A., FERNANDES, D.M., NASCENTE, A.S., 2016. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil Tillage Res.** 155, 437–447

TOMÉ, Paulo Capistrano Dias. **Adubação a lanço versus na linha**. 2015. Disponível em: <https://www.pioneer.com/br>

VON TUCHER, S.; HORNDL, D.; SCHMIDHALTER, U. Interaction of soil pH and phosphorus efficacy: Long-term effects of P fertilizer and lime applications on wheat, barley, and sugar beet. **Ambio**, v. 47, p. 41-49, 2018.