



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

ROMANO TELOEKEN

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM FUNÇÃO
DE DOSES DE CALCÁRIO**

**CERRO LARGO
2018**

ROMANO TELOEKEN

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM FUNÇÃO
DE DOSES DE CALCÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado como requisito para obtenção de grau de
bacharel em Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira

**CERRO LARGO
2018**

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Teloeken, Romano

Atributos químicos do solo e produtividade de soja em função de doses de calcário / Romano Teloeken. -- 2018. 36 f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira.

Co-orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Agronomia, Cerro Largo, RS , 2018.

1. Atributos químicos. 2. Calagem. 3. Frente de neutralização. 4. Incorporação. I. Vieira, Renan Costa Beber, orient. II. Kaiser, Douglas Rodrigo, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

ROMANO TELOEKEN

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM FUNÇÃO DE
DOSES DE CALCÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como
requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia da
Universidade Federal Fronteira Sul.

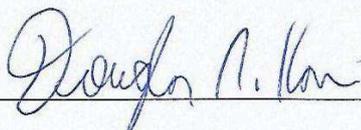
Esse trabalho de Conclusão de Curso foi defendido e aprovado pela banca em:

28/11/2018

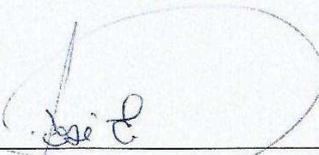
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS
Orientador



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS



Dr. José Eloir Denardin – EMBRAPA Trigo

RESUMO

A acidez do solo é um limitante a produção agrícola decorrente da toxidez causada por alumínio que limita o crescimento das plantas além de resultar numa menor eficiência dos fertilizantes aplicados. A elevação do pH do solo com a calagem para próximo de 6,0 e 6,5 favorece a disponibilidade de nutrientes no solo. No entanto, as aplicações superficiais de calcário para correção da acidez em profundidade não apresentam-se eficientes devido a lenta mobilidade do calcário no perfil do solo, restringindo-se a curtas distâncias próximas da camada aplicada. A acidez em profundidade é um grande entrave para maiores produtividades das culturas em períodos de estresse hídrico. À vista disso, objetivou-se com este trabalho buscar observar uma possível frente de neutralização de acidez do solo abaixo da camada de incorporação do corretivo a partir da aplicação de doses de calcário mediante avaliação dos atributos químicos do solo e da produtividade da cultura da soja. Para isso, foi instalado um experimento a campo em um Latossolo Vermelho no município de Santo Ângelo-RS, de janeiro a junho de 2018. O delineamento foi de blocos ao acaso com 7 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos consistiram das seguintes doses: 0; 8,3; 9,9; 11,4; 15; 21 e 29 t ha⁻¹ de calcário PRNT 100%. O calcário utilizado tinha PRNT de 59,1%. O calcário foi aplicado de forma incorporada na camada 0-20 cm, sendo metade da dose aplicada anteriormente a subsolagem e aração e outra metade da dose aplicada posteriormente a aração seguida de duas gradagens. Os dados foram submetidos a análise de variância pelo software SASM-Agri e a análise regressão no software Sigma Plot. A precipitação pluviométrica ocorrida no período de execução do experimento foi registrada e totalizou 770 mm nos 5 meses. Foram analisados os atributos químicos do solo e o teor de argila nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm, além da produtividade da cultura da soja. A neutralização da acidez ativa e potencial ocorreu de forma eficiente na camada 0-20 cm proporcionalmente as doses aplicadas. Houve redução do teor de argila da camada 0-20 cm causada pela ação dispersante do calcário. A produtividade da soja não apresentou resposta proporcional as doses de calcário e não apresentou relação aos atributos químicos do solo devido a condição de satisfação hídrica da cultura durante seu ciclo. Observou-se que existe uma frente de neutralização de acidez descendente no perfil do solo que promoveu alterações nos atributos químicos da camada 20-30 cm causada pelo movimento de íons oriundos da dissolução do calcário (Ca²⁺, Mg²⁺ e HCO₃⁻) por percolação junto a água da chuva.

Palavras-chave: Atributos Químicos. Calagem. Frente de Neutralização. Incorporação.

ABSTRACT

Soil acidity is a limiting agricultural production due to aluminum toxicity that limits plant growth and results in reduced efficiency of applied fertilizers. The elevation of soil pH with liming to around 6.0 and 6.5 favors the availability of nutrients in the soil. However, the superficial applications of limestone for correction of the acidity in depth are not efficient due to the slow mobility of the limestone in the soil profile, being restricted to short distances near the applied layer. Acidity in depth is a major obstacle to higher yields of crops in periods of water stress. In view of this, the objective of this work was to observe a possible neutralization front of soil acidity below the layer of incorporation of the corrective from the application of limestone doses through evaluation of soil chemical attributes and soybean crop productivity. For this, a field experiment was installed in a Ferralsol in the municipality of Santo Ângelo-RS, from January to June, 2018. The experimental design was a randomized complete block design with 7 treatments and 3 replicates. Treatments consisted of the following doses: 0; 8,3; 9,9; 11,4; 15; 21 and 29 t ha⁻¹ of limestone 100% PRNT. The limestone used had PRNT of 59,1%. The lime was applied in an incorporated form in the layer 0-20 cm, with half of the dose previously applied to subsoiling and plowing and another half of the dose applied after the plowing followed by two gradations. Data were submitted to analysis of variance by SASM-Agri software and regression analysis in Sigma Plot software. The rainfall occurred during the period of the experiment was recorded and totaled 770 mm in the 5 months. The soil chemical attributes and the clay content in the 0-20 cm and 20-30 cm layers were analyzed, as well as the soybean crop yield. The neutralization of the active and potential acidity occurred efficiently in the 0-20 cm layer proportionally to the applied doses. There was a reduction of the clay content of the 0-20 cm layer caused by the dispersing action of the limestone. The soybean yield did not present a proportional response to the limestone doses and did not present a relation to the chemical attributes of the soil due to the condition of water satisfaction of the crop during its cycle. It was observed that there is a downward acidity neutralizing front in the soil profile that promoted changes in the chemical attributes of the 20-30 cm layer caused by the movement of ions from the dissolution of limestone (Ca²⁺, Mg²⁺ and HCO₃⁻) by percolation next to rainwater.

Keywords: Chemical attributes. Liming. Neutralization front. Incorporation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Atributos químicos iniciais do solo. | 20 |
| Figura 2 - Precipitação pluviométrica ocorrido no período de execução do experimento. | 23 |
| Figura 3 - Variação dos valores de pH, H+Al e saturação por alumínio em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm. | 25 |
| Figura 4 - Variação dos valores de Ca, Mg e K na CTC em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm. | 27 |
| Figura 5 - Variação da saturação da CTC por bases em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm. | 28 |
| Figura 6 -Saturação da CTC potencial por H+Al, Ca, Mg e K em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm. | 28 |
| Figura 7 - Valores de P em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm. . | 29 |
| Figura 8 - Teor de argila do solo em função das doses de calcário na camada 0-20 cm e 20-30 cm. | 30 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Produtividade de soja em função das doses de calcário..... | 31 |
|--|----|

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 2.1. | ACIDEZ DO SOLO | 11 |
| 2.2. | CALAGEM..... | 12 |
| 2.3. | CORRETIVOS DE SOLO | 14 |
| 2.4. | MANEJO DA CALAGEM..... | 16 |
| 2.5. | A CULTURA DA SOJA | 17 |
| 2.6. | DISPERSÃO DA ARGILA..... | 18 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| 3.1. | ÁREA DE ESTUDO | 20 |
| 3.2. | DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS | 20 |
| 3.3. | CORRETIVO DE SOLO..... | 21 |
| 3.4. | AMOSTRAGENS DE SOLO..... | 22 |
| 3.5. | ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA SOJA | 22 |
| 3.6. | REGISTRO PLUVIOMÉTRICO | 23 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 24 |
| 4.1. | ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS DE ACIDEZ DO SOLO..... | 24 |
| 4.2. | ALTERAÇÃO DOS TEORES DE BASES TROCÁVEIS..... | 26 |
| 4.3. | ALTERAÇÃO NO TEOR DE FÓSFORO..... | 29 |
| 4.4. | ALTERAÇÃO NO TEOR DE ARGILA | 30 |
| 4.5. | PRODUTIVIDADE DE SOJA..... | 31 |
| 4.6. | FRENTE DE NEUTRALIZAÇÃO DA ACIDEZ..... | 31 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 33 |
| | REFERÊNCIAS | 34 |

1 INTRODUÇÃO

A acidez do solo é um limitante para a produção agrícola, decorrente da toxidez causada por Alumínio (Al), que limita o crescimento das raízes das plantas em solos naturalmente ácidos (COLEMAN & THOMAS, 1967).

Predominantemente no Rio Grande do Sul, os solos em seu estado natural são ácidos apresentando pH em água abaixo de 5,5 (DRESCHER,1995), demonstrando assim que, a maioria, desses solos apresentam acidez natural indesejada para o bom desenvolvimento da maioria das culturas anuais e perenes cultivadas no estado.

A elevação do pH do solo com a calagem para próximo de 6,0 e 6,5 favorece a disponibilidade de muitos nutrientes no solo, principalmente, pela dissociação do hidrogênio (H) e do Al da CTC do solo e, ocupação da mesma por cátions básicos, como cálcio e magnésio, que estão na composição dos corretivos comumente utilizados, como o calcário dolomítico (GOMES DE SOUSA et al. 2007).

A calagem é uma prática fundamental para a construção da fertilidade do perfil do solo, que serve como ponto de partida para implantação do sistema plantio direto que inicia com a neutralização da acidez e correção da fertilidade química elevando os teores de nutrientes principalmente P e K a níveis acima dos teores críticos, preconizando-se nesta fase realizar uma incorporação homogênea dos corretivos e fertilizantes na camada 0-20 cm do solo (KOCHHANN & DENARDIN, 2000).

A aplicação superficial de elevadas doses de calcário podem gerar problemas, como supercalagem devido a elevação do pH acima do ideal para as plantas, podendo causar desordens nutricionais, indisponibilização de alguns micronutrientes, dispersão da argila, causando adensamento e obstrução da porosidade do solo e também podendo favorecer o ataque de doenças causadas por bactérias nas plantas.

Diversos estudos demonstram existir uma frente de neutralização de acidez a partir de aplicações de calcário superficial, porém com dados divergentes quanto a sua mobilidade em função do tempo, que em geral é lenta, demonstrando apenas alteração dos atributos químicos poucos centímetros abaixo da camada aplicada.

À vista disso, buscou-se com esse trabalho observar uma possível frente de neutralização de acidez do solo, a partir da aplicação de elevadas doses de calcário de forma incorporada na camada 0-20 cm, a partir da análise dos atributos químicos da camada 0-20 cm e 20-30 cm. Também buscou-se analisar a produtividade da soja em função das doses de

calcário e dos atributos químicos resultantes e a verificação dos teores de argila das duas camadas em função das doses de calcário buscando uma possível modificação nesse atributo físico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ACIDEZ DO SOLO

A acidez do solo é um limitante a produção agrícola, decorrente da toxidez causada por Al, que limita o crescimento das raízes das plantas em solos naturalmente ácidos (COLEMAN & THOMAS, 1967). A acidez dos solos deve-se, principalmente, pelo intenso intemperismo ocorrido ao longo do tempo, fenômeno este que ocasiona a lixiviação e remoção de cátions básicos da CTC do solo, principalmente, Cálcio, Magnésio, Potássio e Sódio, os quais dão lugar na CTC para o alumínio trocável e hidrogênio não dissociado (VAN RAIJ, 2011).

Num estudo realizado com mais de 60.000 amostras de solo do RS, observou-se que 70% delas apresentaram pH em água abaixo de 5,5 (DRESCHER, 1995), demonstrando assim, que a maioria desses solos apresentam acidez indesejada para o bom desenvolvimento da maioria das culturas anuais e perenes cultivadas no estado (CQFS-RS/SC, 2016)

O alumínio trocável constitui parte importante da acidez dos solos mais intemperizados, onde que em altas concentrações, causa limitações ao desenvolvimento das plantas, principalmente, em solos com predomínio de caulinita e óxidos de ferro e alumínio constituindo a fração argila (GOMES DE SOUSA et al., 2007).

A atividade do alumínio na solução do solo é dependente do tipo de mineral que compõe a fração mineral e do pH do solo, sendo que valores de pH em água acima de 5,5 são buscados para a correção de solos, pois nessas condições a solubilidade e atividade do alumínio é mínima (GOMES DE SOUSA et al. 2007).

O efeito tóxico do alumínio nas plantas, pode ser observado nas condições de solos ácidos por sintomas no sistema radicular evidenciados com o encurtamento, engrossamento e deformação das raízes, predisposição da planta ao ataque de doenças e pragas e paralisação do crescimento radicular causada pela inibição da divisão celular (GOMES DE SOUSA et al. 2007).

A acidez do solo pode ser dividida em ativa e potencial. A primeira remete a atividade ou concentração do íon H^+ na solução do solo sendo determinada pelo valor do pH em água. O poder tampão da acidez do solo, é a resistência a variação do pH quando se adiciona certa quantidade de base ao meio, o qual é determinado pela CTC do solo que pode variar dependendo do teor de matéria orgânica do solo e do teor e da atividade da fração argila resultando em

diferentes doses de carbonato de cálcio necessária para neutralizar a acidez potencial de cada solo (VAN RAIJ, 2011).

A acidez potencial do solo é composta pela soma do hidrogênio com o alumínio que estão na solução do solo e mostra a proporção de quanto estes elementos estão ocupando a CTC do solo onde observa-se que conforme a profundidade do solo aumenta o alumínio é mais prejudicial as raízes pois é menos complexado pela matéria orgânica devido ao seu menor teor e pela menor ocupação da CTC pelos cátions básicos sendo que usualmente é estimada essa acidez potencial no RS e SC pelo índice SMP (ESCOSTEGUY & BISSANI, 1999).

Em decorrência da acidez do solo, os coloides inorgânicos como a caulinita e os óxidos de ferro, passam a ter uma alta capacidade de adsorção de fosfato, indisponibilizando o fósforo e diminuindo sua absorção pelas plantas, causando a diminuição na produtividade das culturas (CQFS-RS/SC, 2016).

A maioria dos nutrientes tem sua disponibilidade prejudicada em condições de pH baixo, em consequência da acidez do solo, por isso deve-se diminuir ou neutralizar a acidez do solo para que seja possível aumentar a disponibilidade dos nutrientes e, assim, dar condições para que as plantas possam nutrir-se de forma adequada e aumentar a eficiência dos fertilizantes aplicados, melhorando a fertilidade do solo e aumentando a produtividade das culturas (CQFS-RS/SC, 2016).

2.2. CALAGEM

A calagem é uma prática que consiste na aplicação de corretivos de solo para neutralizar a acidez buscando melhorar as condições químicas do solo para a maioria das culturas permanentes e anuais cultivadas, as quais apresentam uma faixa de pH considerada ideal de desenvolvimento que pode variar entre 5,5 e 6,5 (CQFS-RS/SC, 2016).

A tomada de decisão para realização da calagem e como ela deve ser executada é baseada, geralmente, na sensibilidade da cultura, na condição de acidez do solo ou pelo sistema de produção que será implantado na gleba de interesse (CQFS-RS/SC, 2016).

Algumas culturas apresentam mecanismos de tolerância a acidez e ao alumínio tóxico, desenvolvendo-se bem indiferente da condição de acidez do solo, não apresentando, assim, resposta a prática da calagem (MA; RYAN; DELHAIZE, 2001).

A elevação do pH do solo com a calagem para próximo de 6,0 e 6,5, favorece a disponibilidade de muitos nutrientes no solo, principalmente, pela dissociação do H e do Al da CTC do solo e ocupação da mesma por cátions básicos, como cálcio e magnésio, que estão na composição dos corretivos. Devido a maior concentração de íons hidroxilas na solução do solo, em decorrência da calagem, faz com que se diminua a acidez dos óxidos presentes nas argilas pela adsorção de fosfato, aumentando assim a disponibilidade de fósforo no solo (GOMES DE SOUSA et al. 2007).

Com o aumento do pH do solo entre 5,7 e 6,5, ocorre uma diminuição na disponibilidade de Fe, Cu, Mn e Zn. Porém, a disponibilidade de N, S, B, Mo, Cl, K, Ca, Mg e P são favorecidos com o aumento do pH do solo, em decorrência da calagem na maioria dos solos (Gomes de SOUSA et al. 2007).

Após a aplicação do calcário, a neutralização da acidez do solo inicia a partir da dissolução do carbonato de cálcio, desencadeada pela presença de gás carbônico em cálcio e bicarbonato. As hidroxilas geradas na reação reagem com o H da solução resultando em água e, o bicarbonato reage com o H, porém resulta em gás carbônico. Sendo, o pH da solução em equilíbrio com a acidez total, esse fato permite que a neutralização ocorra, de forma gradual, inclusive o que acontece com o alumínio trivalente trocável, que é precipitado na forma de hidróxido de alumínio permitindo, dessa forma, o aumento do pH do solo e diminuindo a atividade do alumínio (VAN RAIJ, 2011).

Como requisito para implementação do Sistema Plantio Direto em solos ácidos, a calagem inicial incorporando o calcário na camada 0-20 cm, é fundamental, pois elimina estratificações químicas e também problemas físicos do solo oriundos de manejos anteriores, homogeneizando e corrigindo a acidez e fertilidade na camada arável dando maiores condições de desenvolvimento e exploração radicular de nutrientes e água pelas plantas, que através da liberação de exsudatos e ácidos orgânicos e outras interações na rizosfera com bactérias e fungos promovem maior agregação e estabilização das partículas de solo e dos agregados reestruturando, fisicamente, o solo. Após a decomposição das raízes, criam-se bioporos que propiciam maior aeração e maior infiltração de água no perfil melhorando, assim, a fertilidade do solo, parâmetro a se buscar no sistema de plantio direto (KOCHHANN & DENARDIN, 2000).

Com a calagem a biologia do solo apresenta crescimento expressivo, principalmente, pela maior oferta de substratos na biomassa residual das plantas, que favorece o desenvolvimento da macrofauna e mesofauna do solo e pelas condições de pH favorável em torno de 6,0 e saturação por alumínio baixa, favorece o desenvolvimento da microfauna

principalmente bactérias, dentre estas as fixadoras de nitrogênio que atuam em simbiose com as plantas cultivadas, como observado no feijoeiro (FRANCO E MUNNS, 1982).

2.3. CORRETIVOS DE SOLO

A eficácia de um corretivo está ligada diretamente à sua qualidade e, seu potencial agrônomico deve ser conhecido, para ser possível desenvolver as recomendações de aplicação, da melhor forma possível, buscando a máxima eficiência e manejo do corretivo. O corretivo mais utilizado no Brasil é o calcário, que é obtido pela moagem de rocha calcária, seja de origem sedimentar ou metamórfica. Os principais constituintes neutralizantes dos calcários são o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o carbonato de magnésio (MgCO_3) (PRIMAVESI & PRIMAVESI, 2004).

Os calcários são classificados quanto ao seu teor de MgO em: calcítico, com menos de 5% de MgO; magnesiano, com 5% a 12% de MgO; e dolomítico, com mais de 12% de MgO. Os calcários calcíticos apresentam de 1% a 5% de MgO e de 45% a 55% de CaO; os magnesianos, de 5% a 12% de MgO e de 40% a 42% de CaO; e os dolomíticos, de 13% a 21% de MgO e de 25% a 35% de CaO (PRIMAVESI & PRIMAVESI, 2004).

Os parâmetros usualmente utilizados para determinar a qualidade dos corretivos de acidez do solo, são os teores de neutralizantes e sua forma química, tamanho das partículas e conteúdo de nutrientes. O poder de neutralização (PN) compreende a capacidade e potencialidade do corretivo em neutralizar a acidez do solo, esse fator é dependente da natureza química e do teor de neutralizante que é expresso em equivalente de CaCO_3 (ALCARDE, 1992).

A determinação dos teores de cálcio e magnésio no corretivo é uma informação importante, quanto a composição e concentração desses elementos presentes no corretivo, que é expressa por convenção como CaO e MgO nos corretivos. A solubilidade das espécies neutralizantes presentes nos corretivos de solo em água é, geralmente, baixa e a quantidade de impurezas ou materiais estranhos interferem nesse processo, deixando-o ainda mais lento, por isso, deve-se buscar corretivos de fontes com maior grau de pureza dos componentes para assegurar boa eficiência do corretivo (ALCARDE, 1992).

A reatividade do calcário é dependente da granulometria do material pois, normalmente os calcários contêm várias porções de granulometrias diferentes. Devido à baixa solubilidade dos calcários, quanto mais finamente moídos maior será a área de contato do corretivo com o

solo e maior será sua eficiência de correção. Segundo Pandolfo & Tedesco (1996), em pesquisa a campo, verificaram que as partículas de calcário de tamanho menor que 0,053mm (fração passante na peneira ABNT nº 270) tem reação completa até 30 dias após a aplicação e partículas de tamanho entre 2 e 0,84 mm (fração retida na peneira ABNT nº 20 e passante na peneira ABNT nº10) precisam de um período superior a 60 meses para ter reação completa no solo.

O efeito do tamanho da partícula reflete na eficiência do corretivo expresso pela reatividade (RE) para, posteriormente, compor a eficiência relativa de cada fração do corretivo. Segundo a legislação atual inerente, adotada para cálculo da RE, considera os valores de reatividade de 1 para partículas de diâmetro menor de 0,3 mm; 0,6 para partículas 0,3 e 0,84 mm; 0,2 para partículas entre 0,84 e 2,00 mm e 0 para partículas maiores de 2 mm (BRASIL, 2006).

O poder relativo de neutralização total (PRNT) é o parâmetro que indica a relação em porcentagem expressas pelo PN relativo as características químicas multiplicado pela RE, relacionada as características físicas do corretivo dividindo esse valor por 100 resultando no valor final do PRNT, que é considerado para calcular as doses de calcário a serem aplicadas. Esse valor de PRNT considera a proporção de corretivo que neutraliza efetivamente a acidez após 3 meses (BRASIL, 2006).

Ao adquirir um corretivo de solo deve-se levar em consideração o custo e a finalidade da aplicação do calcário, considerando que granulometrias maiores de calcário tem maior efeito residual no solo e partículas menores tem efeito mais rápido, porém o efeito residual é baixo e isso impacta na escolha do corretivo com PRNT que melhor se adequa a situação e finalidade de cada calagem. Além disso, como, geralmente, os solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, encontram-se com teores baixos de Mg, devem-se buscar calcários com teores mais elevados desse nutriente em sua composição (CQFS-RS/SC, 2016).

Para serem comercializados como corretivos de solo, os calcários devem apresentar no mínimo 67% de PN, 45% de PRNT e 38% de CaO + MgO (BRASIL, 2006).

Em relação ao PRNT dos corretivos, Mello et al. (2003), observou que os efeitos de corretivos com granulometrias mais grosseiras apresentavam efeito residual mais longo, assim, como maiores doses proporcionavam suporte a este efeito de neutralização da acidez de forma gradual. Observou também que granulometrias mais finas (PRNT 90%) e grosseiras (PRNT 56%) continuavam a reagir após três meses da aplicação incorporada e superficial mesmo com chuvas totais de 300 mm ocorridas nesse período.

2.4. MANEJO DA CALAGEM

Preconiza-se segundo o manual de calagem e adubação para o RS e SC, na forma de aplicação do calcário, levar em consideração o histórico de manejo da área e das características químicas de forma estratificada (camada de 0-10 cm e 10-20 cm) no caso de plantio direto já consolidado. Na calagem inicial ou implantação de sistema plantio direto, recomenda-se amostrar a camada de 0-20 cm e incorporar o corretivo nessa camada com a prática de aração e gradagem buscando, ao máximo, homogeneizar essa camada de solo aumentando também o efeito da calagem, devido a maior área de contato do calcário com as partículas de solo e da baixa solubilidade e dificuldade de descida no perfil do solo. No caso de plantio direto consolidado, o critério para incorporação de calcário é relacionado com a saturação da CTC por Al maior ou igual a 30% e pH em água menor que 5,5 da camada de 10-20 cm. Nesses casos, também considera-se nessas glebas baixas produtividades em anos de estiagem, solo compactado e teor de P abaixo do teor crítico para determinação da incorporação ou não do calcário. (CQFS-RS/SC, 2016).

Segundo Van Raij et al (1983), o melhor aproveitamento do corretivo é obtido com a incorporação e distribuição uniforme na área já que a reação de dissolução do calcário é restrita a área ao redor do grânulo.

Em estudo comparativo de métodos de incorporação de calcário, utilizando arado de discos seguido por gradagem, grade aradora pesada e grade aradora superpesada, observou-se que os efeitos de neutralização da acidez foram observados até 20 cm de profundidade com aração e gradagem e chegou até 30 cm com a grade aradora superpesada (PRADO & NATALE, 2004). Efeitos imediatos da aplicação incorporada de calcário foram observados na neutralização da acidez na camada de 0-20 cm por Rheinheimer et al. (2000).

Segundo estudos conduzidos em Santa Maria, onde se buscava observar os efeitos da calagem em profundidade no perfil a partir da implantação de sistema plantio com e sem incorporação do calcário, inicialmente, mostrou resultados que os atributos de acidez eram mais baixos nos tratamentos onde se iniciou o sistema com a incorporação na camada 0-20 cm e mostrou que existia uma frente de neutralização que atingiu camadas mais profundas do que as aplicações superficiais após sete anos da implantação (KAMINSKI et al., 2005).

Quaggio et al. (1993), observaram em seu experimento, onde havia incorporado calcário, que a frente de neutralização atingia camadas mais profundas de 20-40 cm e 40-60 cm observado após 18 meses da aplicação do corretivo, evidenciando a atividade de correção em

maiores profundidades quando da aplicação incorporada proporcional em relação a maiores doses aplicadas.

Maiores alterações nos atributos químicos do solo com calagem na forma incorporada até 20 cm com aração e gradagem também foram observados por Quaggio, Mascarenhas, Bataglia (1982), onde se observou a neutralização da acidez em camadas mais profundas abaixo da camada incorporada alcançando 60 cm em 3 anos após a aplicação.

Em trabalho comparativo entre métodos de incorporação de calcário, o manejo de aplicação da metade da dose e realizada aração com arado de discos posteriormente a aplicação da outra metade da dose seguida de duas gradagens, proporcionou neutralização da acidez de forma mais homogênea na camada de incorporação que era de 0-20 cm observada por Weirich Neto et al., 1999.

Segundo Oliveira & Pavan, 1996, não há diferenças na neutralização da acidez de um solo conduzido sob sistema plantio direto quanto a aplicação superficial e incorporada de calcário nos atributos de acidez do solo, porém ressalta que, anteriormente a implantação do sistema de manejo de plantio direto a área havia sido corrigida e manejada sob sistema convencional, o que remete a ideia de que a implantação de um sistema plantio direto passa inicialmente por uma calagem adequada no manejo convencional.

2.5. A CULTURA DA SOJA

O estado do Rio Grande do Sul tem a cultura da soja como cultura de grande importância econômica contando com área em 2018 no verão atingindo cerca 5,692 milhões de hectares em 2018 (CONAB, 2018).

A soja é uma planta da família *Fabaceae*, tendo como característica a fixação biológica de nitrogênio por bactérias em associação simbiótica com as raízes, onde que as condições de acidez influenciam na associação desses microorganismos com a planta, sendo favorecido esse processo simbiótico com a neutralização da acidez do solo (CÂMARA, 2014).

Para a cultura da soja no RS e SC, o pH de referência para a cultura é de 6,0 e não existe um valor de referência para saturação de bases ideal para a cultura da soja nesses estados (CQFS-RS/SC, 2016). No estado do Paraná, a saturação de bases de referência para a cultura é a partir de 51% (SBCS/NEPAR, 2017).

Em São Paulo, observou-se que a maior produtividade da soja foi alcançada com pH do solo em torno de 6,0 e saturação de bases em torno de 60% (QUAGGIO; MASCARENHAS; BATAGLIA, 1982).

Em estudo comparativo de métodos de recomendação de doses de calcário entre o critério de alumínio trocável e saturação por bases, Van Raij et al., (1983), demonstrou após resultados dos seus experimentos com soja, milho e algodão que a elevação da saturação de bases de 60% era a que apresentava o máximo produtividade das culturas.

2.6. DISPERSÃO DA ARGILA

A interação das cargas elétricas de superfície e dos colóides do solo, tem relação com a dispersão da argila do solo, sendo as cargas variáveis dependentes do pH do solo e da concentração eletrolítica da solução predominantes em latossolos (AZEVEDO & BONUMÁ, 2004).

Para explicar a dispersão e a flocculação dos colóides do solo, usa-se o balanço eletrostático entre partículas na teoria proposta de DLVO. Para fazer o balanço elétrico do campo eletrostático ao redor dos argilominerais, concentram-se íons de carga oposta, sendo que íons com cargas de igual sinal repelem-se. Esse campo onde ocorrem essas interações com a solução do solo é conhecido como dupla camada. A extensão dessa dupla camada pode ser alterada em função da concentração iônica de íons de cargas diferentes das encontradas nos colóides e também da valência, porém a valência é mais influenciável do que a concentração. Conforme a concentração e a valência dos íons de cargas opostas, diminuem a repulsão entre os colóides é aumentada, devido à expansão da dupla camada. A dispersão ocorre quando a energia de repulsão é maior que a energia de atração, aumentando a medida que a distância entre as partículas diminui (AZEVEDO & BONUMÁ, 2004).

Já a flocculação é oriunda de forças de atração de Van der Waals, que ocorrem nos campos eletromagnéticos dos átomos minerais, sendo estas forças fracas e de curto alcance. Seguindo a teoria DLVO, existe uma resultante maior quando o número de pares atômicos é elevado e ocorrem alinhados como se encontram nas estruturas dos argilominerais. A flocculação ocorre quando existe uma elevada concentração eletrolítica ou alta valência de íons de cargas contrárias onde as forças de atração são maiores que as forças de repulsão, diminuindo a espessura da dupla camada e flocculam (AZEVEDO & BONUMÁ, 2004).

Com a aplicação de calcário o pH do solo é aumentado, assim como os teores de Cálcio e Magnésio, resultando na elevação de cargas negativas em relação às positivas. A neutralização do Alumínio trivalente que é o principal íon estabilizante estrutural dos microagregados e a substituição por Cálcio e Magnésio bivalentes nos sítios de adsorção, ocorre aumento no efeito da valência na dupla camada tendendo a elevação das forças de repulsão ocasionando aumento da argila dispersa em água. Porém, a calagem estimula a produção de raízes e a atividade microbiana produzindo exsudatos que atuarão na reagregação das partículas de solo, podendo compensar ou diminuir os efeitos dispersivos causados pelo calcário (PAVAN & ROTH, 1992).

A prática da calagem em plantio direto aplicada em superfície aliada ao baixo aporte de fitomassa, proporcionada por modelos de produção pouco diversificados em latossolos caulíníticos com PCZ em torno de pH 4,0, eleva o pH do solo muito acima desse valor e ocasiona a dispersão da argila que migra no perfil pelos poros do solo e acumula-se entre 12-20 cm de profundidade, aumentando a densidade pela obstrução da porosidade com o adensamento da camada subsuperficial, reduzindo a anisotropia porosa e, conseqüentemente, a permeabilidade do solo ao fluxo de ar e água gerando assim um problema físico no solo (NUNES, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi realizado em uma lavoura de produção de grãos de propriedade particular, no município de Santo Ângelo (28°14'43" S e 54°19'28" O), região das Missões, noroeste do estado Rio Grande do Sul. Este município está localizada no planalto, em altitude de 315 m e clima subtropical úmido de verão quente, do tipo "Cfa" conforme classificação de Köppen. A precipitação média anual é de 1600 mm, bem distribuídos ao longo do ano, sendo o mês mais chuvoso outubro e o menos chuvoso maio.

O solo da área é um Latossolo Vermelho e vinha sendo cultivado nos últimos 20 anos com a sucessão das culturas de trigo e soja, em plantio direto, sendo que no período de inverno anterior a instalação do experimento a área encontrava-se em pousio. Os atributos químicos iniciais encontram-se, abaixo, na Figura 1.

Figura 1 - Atributos químicos iniciais do solo.

| CAMADA | pH | SMP | V | m | MO | Argila | Ca | Mg | K | H+Al | CTC Ph7 | P |
|----------|------------------|-----|------|------|-----|--------|------------------------------------|-----|-------|------|---------|--------------------|
| | H ₂ O | | % | | | | c mol _c dm ³ | | | | | mg dm ³ |
| 0-10 cm | 4,6 | 5 | 21,4 | 33,3 | 2,5 | 88 | 2,2 | 1,2 | 0,419 | 13,7 | 17,5 | 30,8 |
| 10-20 cm | 4,5 | 4,8 | 11 | 57,1 | 1,8 | 88 | 1,3 | 0,6 | 0,225 | 17,3 | 19,4 | 3,7 |
| 20-30 cm | 4,7 | 5 | 15,2 | 47,9 | 1,7 | 88 | 1,6 | 0,7 | 0,143 | 13,7 | 16,2 | 0,9 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com 3 repetições. As parcelas tinham as dimensões de 4m x 8 m. Os dados foram submetidos a análise de variância, pelo software SASM-Agri, e a elaboração dos gráficos e análise de regressão pelo software Sigma Plot.

Os tratamentos consistiram da aplicação de diferentes doses de calcário dolomítico comercial, aplicados de forma incorporada na camada 0-20 cm de profundidade. As doses foram:

- a) 0 t ha⁻¹ PRNT 100%
- b) 8,3 t ha⁻¹ PRNT 100%
- c) 9,9 t ha⁻¹ PRNT 100%
- d) 11,4t ha⁻¹ PRNT 100%
- e) 15 t ha⁻¹ PRNT 100%
- f) 21 t ha⁻¹ PRNT 100%
- g) 29 t ha⁻¹ PRNT 100%

As doses foram ajustadas para o PRNT do corretivo analisado, que resultou no valor de 59,1%. Foram acrescentadas às doses finais mais 5,1%, que era o teor de água do corretivo.

Metade da dose de calcário de cada tratamento foi aplicado antes da subsolagem e aração e, a outra metade, posteriormente a aração, antecedido de duas gradagens para que tivesse uma boa homogeneização do solo com o corretivo nas camadas atingidas pelo revolvimento.

O calcário foi pesado em balança eletrônica de precisão para cada tratamento e acondicionado em embalagens individuais e, transportado até o local do experimento onde foi aplicado de forma manual na área de cada parcela.

Os equipamentos utilizados para o manejo da incorporação do calcário foram um trator Massey Ferguson, modelo 4275 com 78 cv de potência, um subsolador de 7 hastes com sistema de engate de 3 pontos, um arado de 4 discos de arrasto com desarme manual e uma grade niveladora de 36 discos de 18 polegadas, com discos dentados no eixo dianteiro e de borda lisa nos discos traseiros.

As operações de aplicação e incorporação do calcário na área do experimento ocorreram no dia 7 de janeiro de 2018. O solo encontrava-se em estado de friabilidade, dando condições ideais para a execução das operações.

3.3. CORRETIVO DE SOLO

O calcário comercial utilizado era o calcário dolomítico. Foi realizada análise do PRNT do corretivo no laboratório de química e fertilidade do solo da UFFS - *Campus* de Cerro Largo seguindo a metodologia oficial da legislação (BRASIL, 2006).

Foi realizada a amostragem do corretivo, onde o mesmo encontrava-se depositado. Posteriormente, secou-se as amostras em estufa a 105°C por 48 horas até peso constante e determinou-se o teor de água do corretivo que era de 5,1%.

Posteriormente, a realização da análise para determinação do PRNT chegou-se ao resultado final de 59,1%. Sendo que o valor de Reatividade de partícula (RE) baseado na granulometria do corretivo resultou em 79,56% e a valor do poder neutralizante (PN) foi de 74,33%. As doses então foram ajustadas para o PRNT encontrado, analiticamente, no corretivo e fora acrescido nas doses finais mais 5,1% que compunha o teor de água do corretivo.

3.4. AMOSTRAGENS DE SOLO

A amostragem inicial do solo foi realizada anteriormente a implantação do experimento, sendo realizada com a pá de corte nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm e na camada de 20-30 cm com o trado holandês. Foram coletadas 4 subamostras de cada uma das camadas na área onde seria alocado o experimento, homogeneizando-as para posterior envio ao laboratório para a realização das análises químicas de cada camada.

Após 5 meses decorridos da aplicação dos tratamentos, foram coletadas duas subamostras para compor uma amostra em cada parcela nas camadas de 0-20 cm e 20-30 cm e as mesmas foram enviadas para o laboratório da Universidade Federal de Santa Maria, vinculado a ROLAS-RS & SC, que segue metodologia oficial para realização das análises químicas de fertilidade.

3.5. ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA SOJA

A soja foi semeada na área do experimento no dia 7 de janeiro de 2018 com auxílio de um conjunto trator e semeadora. O trator marca New Holland modelo TL 75 E, com potência nominal de 78 cv e a semeadora marca KF modelo 8050-A com 8 linhas de semeadura com espaçamento de 0,46 cm entre as linhas.

A cultivar utilizada foi Monsoy 6410, que possui hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6,4, com a população de 320 mil plantas finais por hectare. Foi utilizado

o fertilizante formulado 5-25-25 na dose de 225 kg ha⁻¹ em linha de semeadura aplicado com a haste sulcadora em profundidade média de 18 cm.

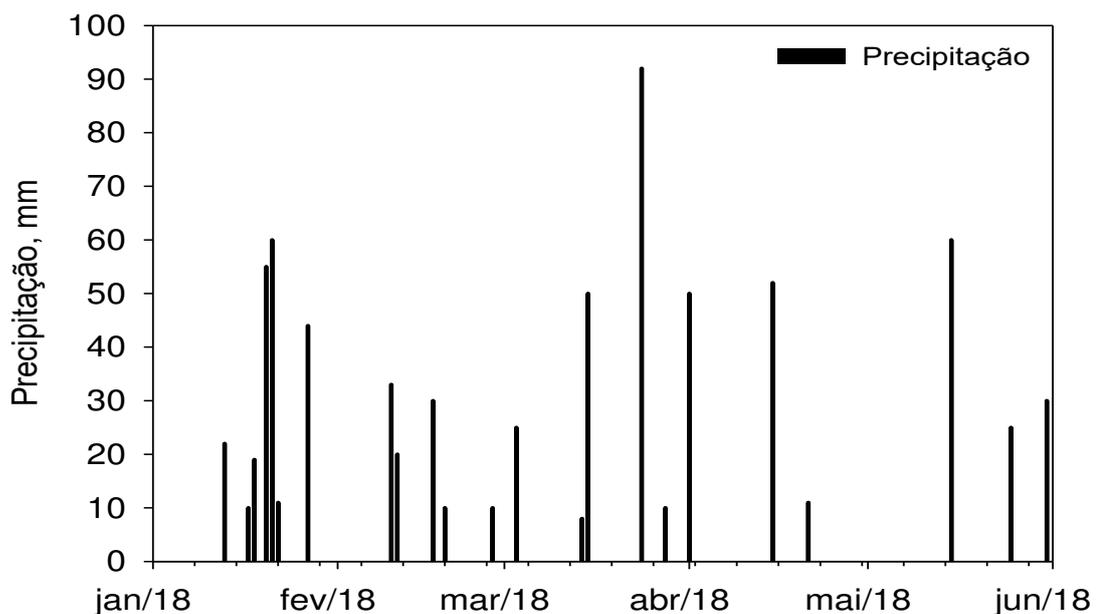
O cultivo da soja e o manejo das pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado seguindo as recomendações técnicas para a cultura da soja (SALVADORI et al., 2016).

Para avaliação da produtividade da cultura da soja foi colhido as plantas de forma manual na área útil de cada parcela (16 m²), posteriormente, foram trilhadas em uma colhedora, pesadas e realizada a correção da umidade para 13%, expressando os resultados em quilogramas por hectare.

3.6. REGISTRO PLUVIOMÉTRICO

Foi instalado um pluviômetro em área próxima ao experimento, para coleta dos dados de precipitação pluviométrica ocorrida durante o período de 5 meses após a implantação do experimento, entre 7 de janeiro à 7 de junho de 2018. O total de chuvas no período foi de 770 mm, sendo janeiro o mês com maior acumulado de chuva totalizando 254 mm, fevereiro com 103 mm, março com 185 mm, abril com 113, maio com 115 mm e junho sem ocorrência de precipitação. A distribuição dos eventos de precipitação podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 - Precipitação pluviométrica ocorrido no período de execução do experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS DE ACIDEZ DO SOLO

Os valores de pH da camada 0-20 cm aumentaram de forma significativa em função das doses crescentes de calcário, elevando o pH do solo na camada em que o corretivo foi incorporado 5 meses após a aplicação (Figura 3). A maior dose aplicada, 29 t ha⁻¹ PRNT 100%, alcançou pH de 6,9. Os dados encontrados condizem com o observado por Albuquerque et al, (2000), que obteve incremento crescente nos valores de pH na camada onde o calcário foi incorporado em função de doses também crescentes e elevadas.

A dose recomendada para neutralização da acidez desse solo para elevação do pH do solo para o valor de 6,0 seria de 10,7 t ha⁻¹ de calcário com PRNT de 100% pela estimativa de dose pelo índice SMP (CQFS/RS & SC, 2016)

O método de incorporação foi eficiente pois modificou significativamente os valores referentes a neutralização da acidez ativa e potencial e na saturação por alumínio na camada 0-20 cm, onde o corretivo foi incorporado, corroborando com o manejo proposto por Weirich Neto et al., (1999) que foi executado nesse trabalho.

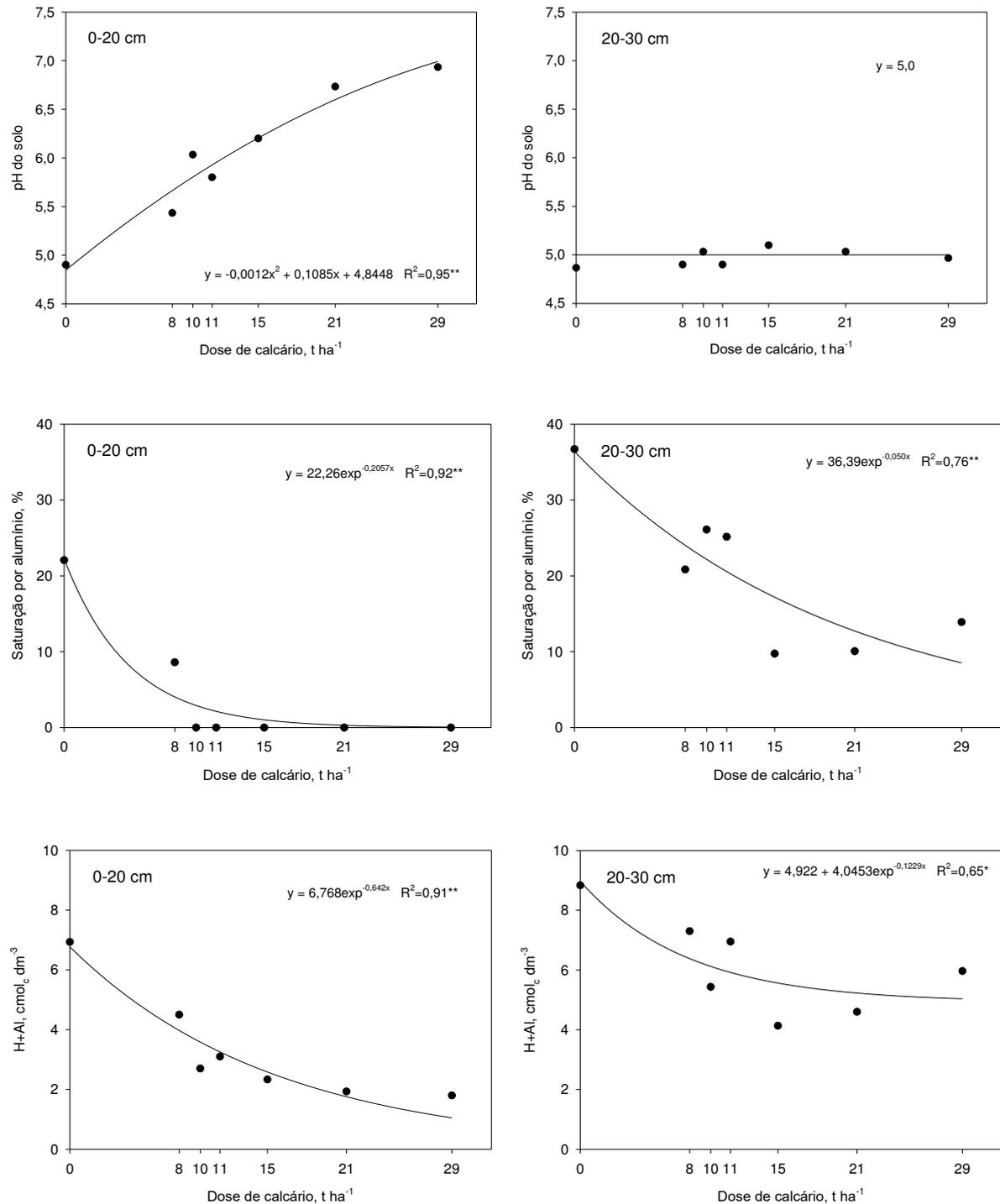
Não foi possível observar variação significativa do pH na camada 20-30 cm em função das doses (Figura 3). Provavelmente a não mudança do pH nessa camada, pode ter ocorrido devido ao período decorrente da aplicação ser apenas de 5 meses, frente a outros trabalhos onde se observou que a frente de neutralização de acidez que alterou o pH do solo atingindo camadas abaixo da que sofreu incorporação apenas após 3 anos, como em Quaggio, Mascarenhas, Bataglia (1982) e após 7 anos, observada por Kaminski et al., (2005).

A dissolução do calcário é restrita ao redor do grânulo e a maior eficiência da calagem é obtida quando ocorre a incorporação do calcário, o que pôde ser observado nos valores de pH, H+Al e saturação por Al, nesse trabalho na camada 0-20 cm, condizendo com Van Raij et al., (2011).

Tendo em vista a reação de neutralização da acidez ocorrer de forma lenta e gradual, quando da utilização de corretivos com PRNT mais grosseiro, é maior o efeito residual no solo, portanto, pressupõe-se que o calcário continuará reagindo mesmo após 5 meses e de já haver ocorrido precipitações totais de 770 mm, como também constatou Mello et al., (2003), onde o

calcário continuava a reagir após 3 meses da incorporação e com precipitações de mais de 300 mm acumulados.

Figura 3 - Variação dos valores de pH, H+Al e saturação por alumínio em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As doses crescentes de calcário diminuíram significativamente os teores de H+Al na camada 0-20 cm e também na camada 20-30 cm (Figura 3), porém nessa camada, a análise de variância não mostrou significância, apesar de apresentar um grande decréscimo da acidez potencial.

A acidez potencial (H+Al), assim como a saturação por Al, foi reduzida eficientemente na profundidade de 0-20 cm, favorecida pela incorporação que proporcionou maior área de contato entre o corretivo e o solo e também a hidrólise favorecida pela precipitação constante e volumosa no período que manteve o solo úmido favorecendo a dissolução do calcário e sua reação.

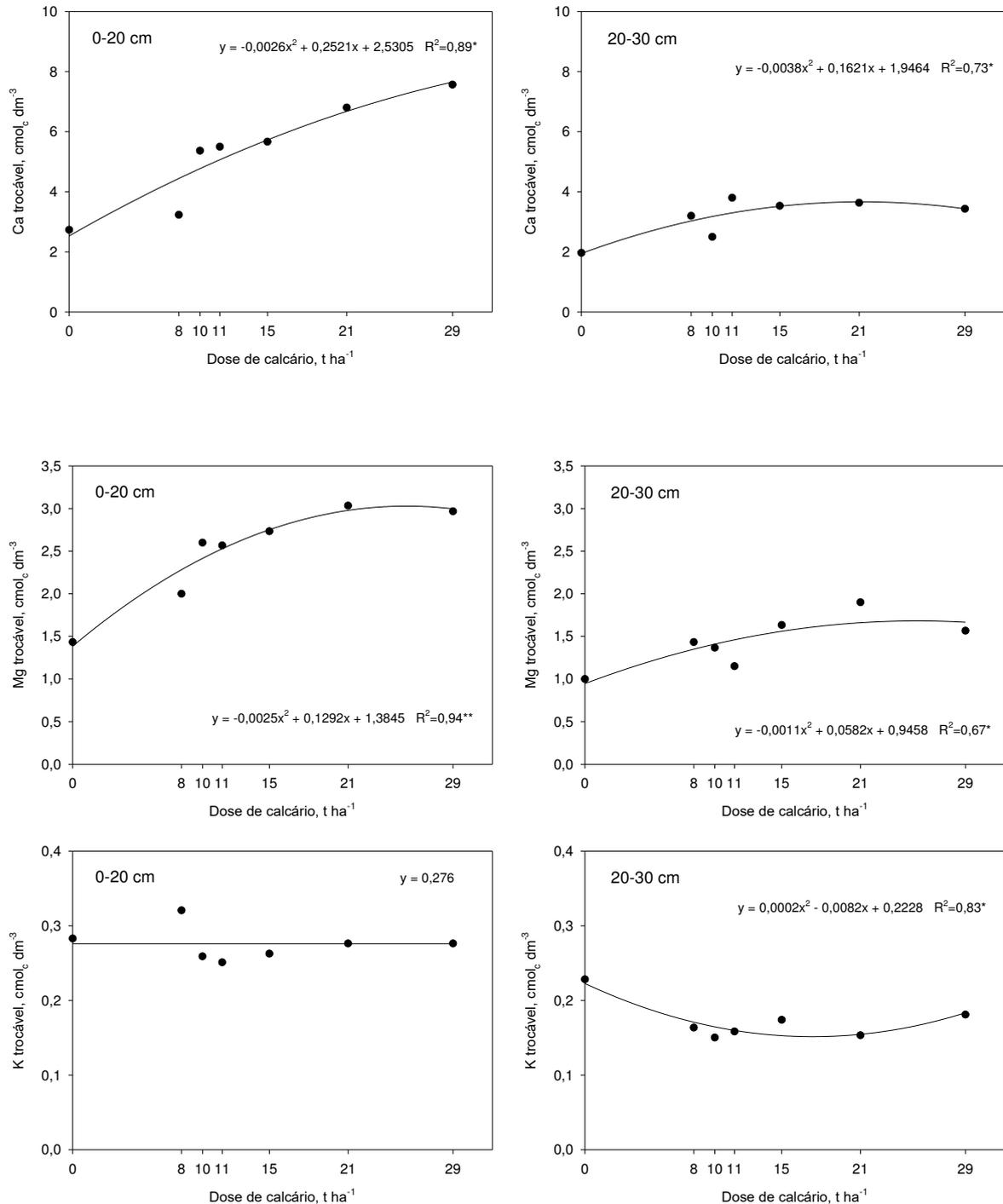
Na camada 20-30 cm observa-se a redução pela tendência da curva gráfica dos teores de H+Al em função das doses, é remetido o fator de precipitação ocorrido no período em função das chuvas, que podem ter favorecido para que ocorresse a hidrólise do calcário e provável migração de íons oriundos da dissolução do calcário como Cálcio e Magnésio que deslocaram o H+Al da CTC do solo (Figura 3).

Na camada 0-20 cm a saturação por Al chegou ao valor de 0%, já com a dose de 9,9 t ha⁻¹ PRNT 100% neutralizando o alumínio tóxico 5 meses após a calagem. Na camada de 20-30 cm observa-se tendência de diminuição da saturação de Al em função das doses, porém sem diferença significativa entre os tratamentos.

4.2. ALTERAÇÃO DOS TEORES DE BASES TROCÁVEIS

A análise de variância do teor de cálcio trocável, demonstrou haver diferença significativa entre os tratamentos da camada 0-20 cm, porém da camada 20-30 não apresentaram diferença significativa. Pode se observar que ocorreu um incremento de cálcio na camada 20-30 cm como se observa na tendência da curva gráfica (Figura 4), sugerindo a descida de íons Ca²⁺ abaixo da camada onde foi incorporado o corretivo.

Figura 4 - Variação dos valores de Ca, Mg e K na CTC em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm.



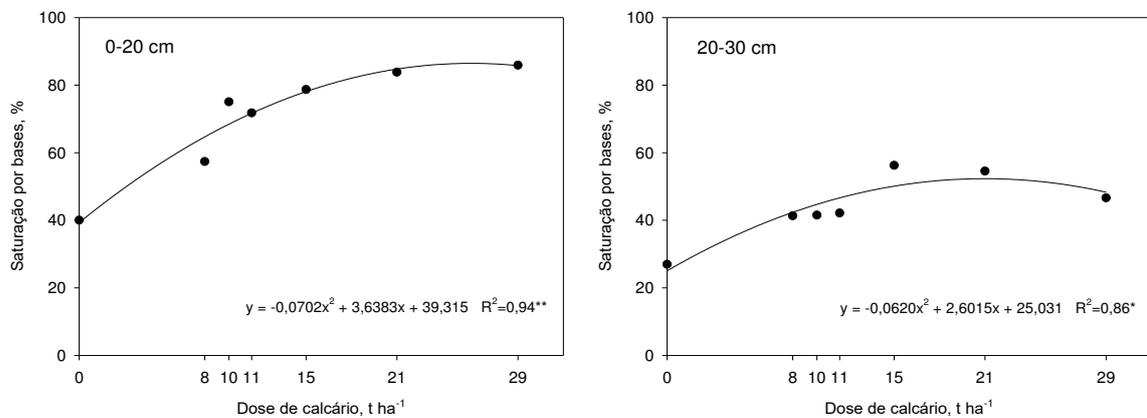
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os teores de magnésio trocável diferiram significativamente entre os tratamentos apenas na camada 0-20 cm, não diferindo na camada 20-30 cm. Os teores de K não diferiram entre os tratamentos nas duas camadas analisadas.

Petriere & Anghinoni (2001) também obtiveram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho, quanto aos teores de cálcio e magnésio quando da aplicação de maiores doses de calcário de forma incorporada.

Quanto a saturação da CTC pH 7,0 por bases (V%) (Figura 5), observa-se que houve variação significativa em função das doses na camada 0-20 cm, alcançando com a maior dose aplicada o valor de 85,9% de V%, principalmente pela quantidade elevada contida no corretivo de cálcio e magnésio.

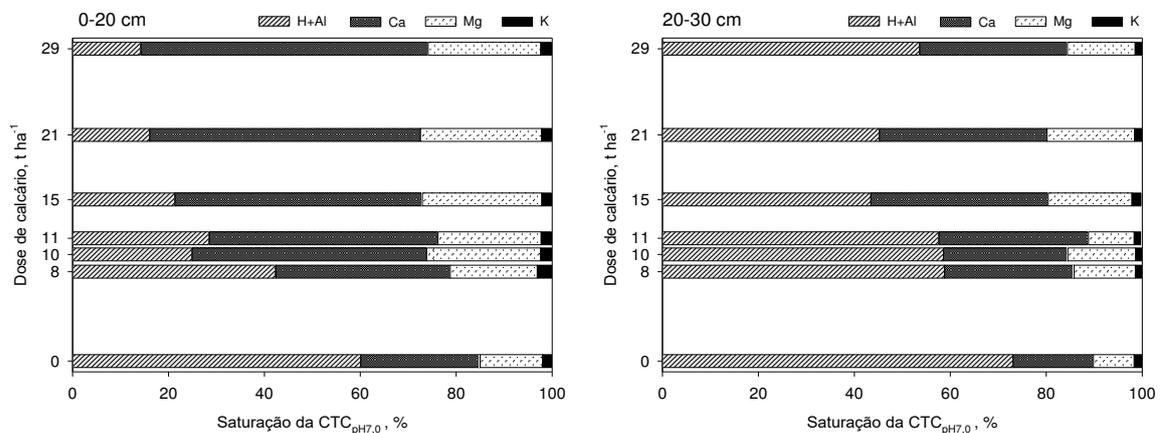
Figura 5 - Variação da saturação da CTC por bases em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando os gráficos da saturação da CTC, pode-se observar que na camada 0-20 cm de acordo com a ordem crescente das doses de calcário a maior parte da CTC vai sendo ocupada por Ca²⁺, seguida por Mg²⁺ substituindo os teores de H+Al (Figura 6).

Figura 6 - Saturação da CTC potencial por H+Al, Ca, Mg e K em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

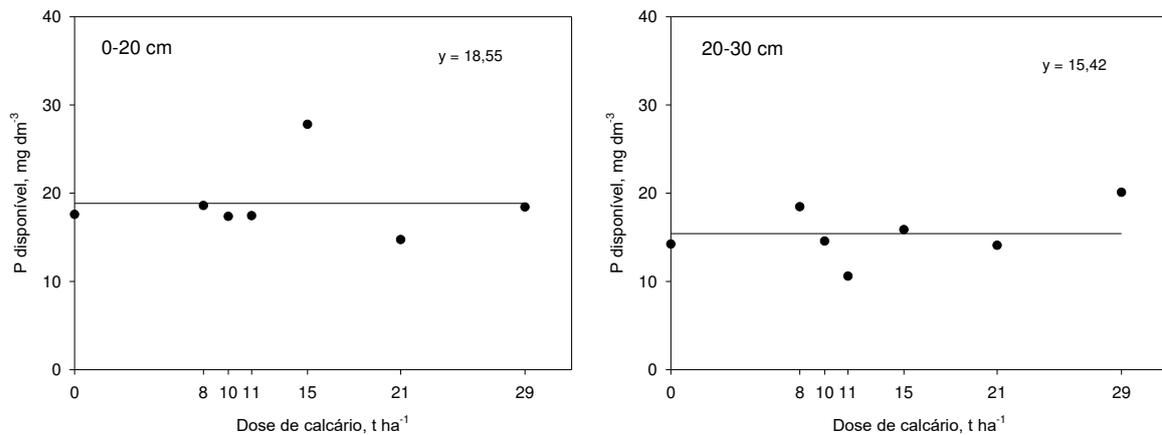
Na camada 20-30 cm também é possível observar um aumento da ocupação da CTC potencial por cálcio e magnésio, porém não são tão acentuados em função das maiores doses como na camada 0-20 cm.

A saturação de potássio manteve-se em função das doses nas duas profundidades, porém a saturação de H+Al na camada 20-30 cm sofreu um leve decréscimo pela substituição por cálcio e magnésio na CTC.

4.3. ALTERAÇÃO NO TEOR DE FÓSFORO

Os teores de P não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos nas duas profundidades analisadas (Figura 7). Segundo as classes interpretativas do teor de P, contidas no Manual de Calagem e Adubação para o RS e SC, os teores encontram-se na faixa considerada alta, ou seja estão acima do nível crítico (CQFS/RS & SC, 2016).

Figura 7 - Valores de P em função das doses de calcário nas camadas 0-20 cm e 20-30 cm.



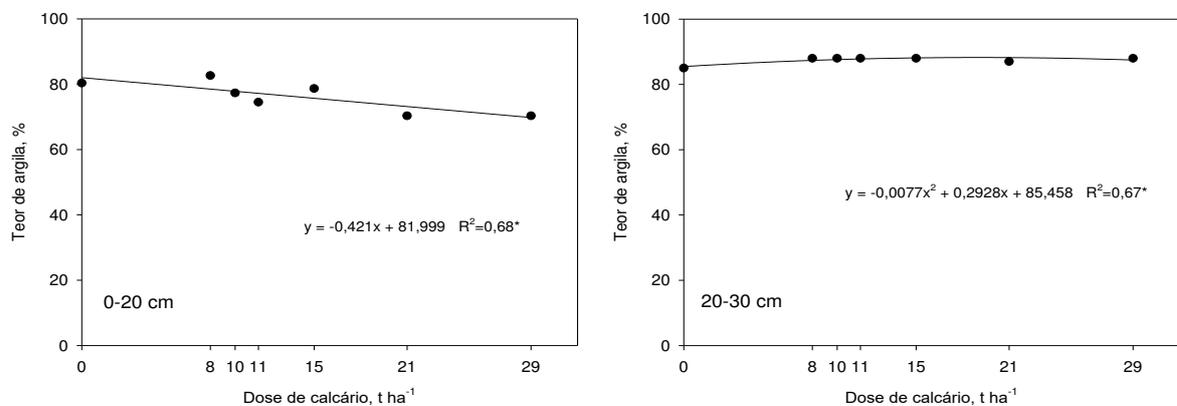
Fonte: Elaborado pelo autor

Outro fator que pode ter influenciado esse resultado, refere-se a não realização de adubação de correção com P de forma incorporada, aplicando o fertilizante fosfatado apenas na linha de semeadura concentrando-o, o que pode ter ocasionado na amostragem discrepâncias quanto aos valores analisados.

4.4. ALTERAÇÃO NO TEOR DE ARGILA

Segundo os dados obtidos no trabalho houve diferença significativa em função das doses de calcário no teor de argila da camada 0-20 cm, mostrando um decréscimo do teor nessa camada e um aumento na camada 20-30 cm, porém nessa camada a análise de variância não encontrou diferença entre os tratamentos (Figura 8).

Figura 8 - Teor de argila do solo em função das doses de calcário na camada 0-20 cm e 20-30 cm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse fato sugere que as maiores doses promoveram a dispersão do solo e favoreceram a dispersão da argila na camada 0-20 cm. Devido a adição de calcário o pH do solo aumentou na camada 0-20 cm assim como os teores de Cálcio e Magnésio, resultando na elevação de cargas negativas em relação às positivas. A neutralização do Al e sua substituição por Cálcio e Magnésio na CTC fez com que elevasse o efeito da valência na dupla camada tendendo a elevação das forças de repulsão ocasionando aumento da argila dispersa em água (AZEVEDO & BONUMÁ, 2004).

Para realização da análise laboratorial, geralmente, se utiliza uma base dispersante para determinação do teor de argila, como no método do densímetro ou na análise granulométrica que utilizam geralmente hidróxido de sódio que tem ação dispersante (CLAESSEN, 1997). A base contida no calcário, carbonato de cálcio, também tem ação dispersante, e, segundo os resultados encontrados é a principal responsável pela diminuição dos teores de argila na camada 0-20 cm.

4.5. PRODUTIVIDADE DE SOJA

A produtividade da cultura da soja não obteve diferença significativa entre os tratamentos, o que remete a idéia de que as doses não influenciaram nesse fator, não podendo atribuir os atributos químicos resultantes das doses encontrados nesse trabalho como fatores influenciadores da produtividade da soja .

Pode-se atribuir aos resultados obtidos de produtividade o fator de precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura, onde as plantas desenvolveram-se normalmente sem estresse hídrico segundo os registros desse trabalho e observado na Tabela 1.

Tabela 1- Produtividade de soja em função das doses de calcário.

| Tratamento | Produtividade kg ha ⁻¹ |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 0 t ha ⁻¹ | 1933 ^{ns} |
| 8,3 t ha ⁻¹ | 2004 |
| 9,9 t ha ⁻¹ | 1871 |
| 11,4 t ha ⁻¹ | 1777 |
| 15 t ha ⁻¹ | 1885 |
| 21 t ha ⁻¹ | 1882 |
| 29 t ha ⁻¹ | 1964 |
| C.V. | 6,90% |

^{ns} = não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Alguns autores relacionam o máximo produtividade da cultura da soja a valores de saturação por bases de 60% e pH em torno de 6,0 (QUAGGIO; MASCARENHAS; BATAGLIA, 1982, VAN RAIJ et al., 1983). Porém, os resultados encontrados discordam desses autores, não sendo possível essa relação em virtude de não existir variação nas produtividades em função das doses, e, portanto os atributos químicos não influenciaram no produtividade da soja sendo a satisfação hídrica o principal fator responsável pelo resultado.

4.6. FRENTE DE NEUTRALIZAÇÃO DA ACIDEZ

A frente de neutralização é bastante discutida principalmente em aplicações superficiais de calcário em sistema plantio direto. Ela é composta pela movimentação de um gradiente descendente onde ocorre a movimentação do coretivo no perfil, modificando os atributos

químicos de acidez do solo. Alguns trabalhos demonstram o avanço dessa frente de neutralização devido ao arraste de cations basicos divalentes como Ca^{2+} e Mg^{2+} ligados a compostos orgânicos hidrossolúveis por bioporos (LEAL, PAVAN, INQUE, 1993; PAVAN, 1997), o que acredita-se não ter ocorrido neste trabalho devido a concentração nula de raízes e restos culturais sob o solo anteriormente a instalação e pela ocasião do revolvimento do solo que destruiu a estrutura porosa na camada 0-20 cm.

Acredita-se então que os resultados encontrados neste trabalho quanto a dinâmica da calagem nos atributos químicos do solo na camada 20-30 cm ocorreram devido a migração de produtos oriundos da dissolução do calcário como Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^- por percolação da água da chuva que foi abundante no período de execução do experimento mantendo o solo úmido favorecendo a hidrólise do calcário.

Essa afirmação pode ser observada analisando os dados da Figura 6 de saturação da CTC por Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e H+Al , onde ocorreu elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e diminuição de H+Al devido a substituição na CTC em função das doses na camada 20-30 cm, além da linha de tendência mostrar elevação da saturação por bases na camada.

Inicialmente, ocorre a neutralização da acidez potencial pela neutralização do hidrogênio e dos cátions trivalentes como o alumínio e só depois desses metais neutralizados totalmente ocorre alteração no pH do solo. Isso é possível verificar observando a redução da saturação por alumínio e os teores de H+Al na camada 20-30 cm e a não mudança do pH da camada frente as doses crescentes (Figura 3), pois, devido ao curto período de execução do trabalho frente a outros encontrados na literatura, após 3 anos como em Quaggio, Mascarenhas, Bataglia (1982) e após 7 anos observada por Kaminski et al (2005), acredita-se então, que exista uma frente de neutralização que está em movimento descendente agindo além da camada onde o corretivo foi incorporado no solo em função das doses de calcário, segundo os resultados dos atributos químicos do solo encontrados neste trabalho.

5 CONCLUSÕES

A neutralização da acidez ativa e potencial ocorreu de forma eficiente na camada 0-20 cm proporcionalmente as doses aplicadas.

Houve redução do teor de argila da camada 0-20 cm causada pela ação dispersante do calcário.

A produtividade da soja não apresentou resposta proporcional as doses de calcário e não apresentou relação aos atributos químicos do solo, devido a condição de satisfação hídrica da cultura durante seu ciclo.

Existe uma frente de neutralização de acidez descendente no perfil do solo, que promoveu alterações nos atributos químicos da camada 20-30 cm abaixo da camada onde o corretivo foi incorporado.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Jackson Adriano et al. **Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem.** Revista brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 24, n. 2, p. 295-300, 2000.
- ALCARDE, José Carlos. **Corretivos da acidez dos solos:** características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992.
- AZEVEDO, Antônio Carlos de; BONUMÁ, Angélica Silveira. **Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos.** Ciência Rural, v. 34, n. 2, 2004.
- BRASIL. **Instrução Normativa Nº 35, de 04 de julho de 2006.** Aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados a agricultura. D.O.U., 12/07/2006 – Seção 1. 2006.
- CÂMARA, G. M. de SOUSA. **Fixação Biológica de Nitrogênio em Soja.** Disponível em:<[http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/\\$FILE/Page1-9-147.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/$FILE/Page1-9-147.pdf)>
- CLAESSEN, Marie EC. **Manual de métodos de análise de solo.** Embrapa Solos- Documentos. 1997.
- COLEMAN, N.T. & G.W. THOMAS, 1967. **The Basic Chemistry of Soil Acidity.** Em: Soil Acidity and Liming. Editado por R.W. Pearson & F. Adams. American Soc. of Agronomy Inc. Publishers. Madison. Wisconsin. USA. pp. 1-41.
- CQFS-RS/SC, Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 11^a ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. 376 p., 2016.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Monitoramento Agrícola– v. 5- safra 2017/18- n. 5– Quinto Levantamento. Fevereiro 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_02_08_17_09_36_fevereiro_2018.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2018.
- ESCOSTEGUY, Pedro Alexandre Varella; BISSANI, Carlos Alberto. **Estimativa de H⁺ Al pelo pH SMP em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, n. 1, 1999.
- FRANCO, A. A.; MUNNS, D. N. **Acidity and Aluminum Restraints on Nodulation, Nitrogen Fixation, and Growth of Phaseolus vulgaris in Solution Culture** 1. Soil Science Society of America Journal, v. 46, n. 2, p. 296-301, 1982.
- KAMINSKI, João et al. **Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 4, 2005.

KOCHHANN, Rainoldo Alberto; DENARDIN, José Eloir. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Embrapa Trigo, 2000.

LEAL, A.C.; PAVAN, M.A. & INQUE, M.T. **Alterações na fertilidade das camadas superficiais do solo por resíduos de leucena**. In: Congresso Florestal Panamericano, 1. Curitiba, 1993. Anais. Curitiba, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. p.220-222.

MA, Jian Feng; RYAN, Peter R.; DELHAIZE, Emmanuel. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in plant science*, v. 6, n. 6, p. 273-278, 2001.

MELLO, J. C. A. et al. **Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférrico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional**. *Revista brasileira de ciência do solo*, v. 27, n. 3, 2003.

OLIVEIRA, E. L. de; PAVAN, M. A. **Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production**. *Soil and Tillage Research*, v. 38, n. 1-2, p. 47-57, 1996.

PANDOLFO, Carla Maria; TEDESCO, Marino José. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcário na correção da acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 10, p. 753-758, 1996.

PAVAN, M.A. **Ciclagem de nutrientes e mobilidade de íons no solo plantio direto**. *R. Plantio Direto*, 41:8-12, 1997.

PAVAN, M.A. & ROTH, C.H. **Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian Oxisol**. *Ci Cultura*, 44:391-394, 1992

PETRERE, C. & ANGHINONI, I. **Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo**. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:885-895, 2001.

PRADO, Renato de M.; NATALE, William. **Uso da grade aradora superpesada, pesada e arado de discos na incorporação de calcário em profundidade e na produção de milho**. *Engenharia Agrícola*, p. 167-176, 2004.

PRIMAVESI, Ana Cândida; PRIMAVESI, Odo. **Características de corretivos agrícolas**. Embrapa Pecuária Sudeste, 2004.

QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C. **Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em latossolo roxo distrófico de cerrado**. II. Efeito residual. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 6, n. 2, p. 111-124, 1982.

QUAGGIO, José Antonio et al. **Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 28, n. 3, p. 375-383, 1993.

RHEINHEIMER, DS dos et al. **Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 4, 2000.

SALVADORI, J.R et al. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2016/2017 e 2017/2018**. Passo Fundo, RS. 128p., 2016. Disponível

em: <http://editora.upf.br/index.php/e-books-topo/44-agronomia-area-do-conhecimento/158-indicacoes-tecnicas-para-cultura-da-soja>. Acesso em: 20 nov. 2017.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF. Embrapa, 2013. 353 p.

SBCS/NEPAR. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná** - Curitiba, 2017. 482p.:il.

VAN RAIJ, Bernardo et al. **Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem**. Exchangeable aluminum and base saturation as criteria for lime requirement. *Bragantia*, v. 42, n. 1, p. 149-156, 1983.

VAN RAIJ, Bernardo. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

WEIRICH NETO, Pedro Henrique et al. **Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário**. *Ciência Rural*, v. 30, n. 2, 2000.