

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

**CAMILA ADAIME GABRIEL**

**DESENVOLVIMENTO DO EUCALIPTO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO  
ALTERADOS POR DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FONTES DE CÁLCIO**

**LAGES**  
**2022**

**CAMILA ADAIME GABRIEL**

**DESENVOLVIMENTO DO EUCALIPTO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO  
ALTERADOS POR DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FONTES DE CÁLCIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa  
Catarina, como requisito parcial para obtenção do  
título de Doutora em Ciência do Solo. Orientador:  
Prof<sup>o</sup> Dr. Paulo Cezar Cassol. Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr.  
Paulo Roberto Ernani.

**LAGES  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Gabriel, Camila Adaime

Desenvolvimento do eucalipto e atributos químicos do solo alterados por doses e formas de aplicação de fontes de cálcio / Camila Adaime Gabriel. -- 2022.

99 p.

Orientador: Paulo Cesar Cassol

Coorientador: Paulo Roberto

Ernani

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2022.

1. Eucalyptus dunnii Maiden. 2. Fontes de cálcio. 3. Gesso agrícola. 4. Resíduo alcalino lama de cal. 5. Alumínio no solo. I. Cassol, Paulo Cesar. II. Ernani, Paulo Roberto. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

**CAMILA ADAIME GABRIEL**

**DESENVOLVIMENTO DO EUCALIPTO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO  
ALTERADOS POR DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FONTES DE CÁLCIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina–UDESC como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo. Orientador: Dr. Paulo Cezar Cassol.

**BANCA EXAMINADORA**

Orientador: \_\_\_\_\_

  
(Prof. Dr. Paulo Cezar Cassol)  
UDESC

Membros: \_\_\_\_\_

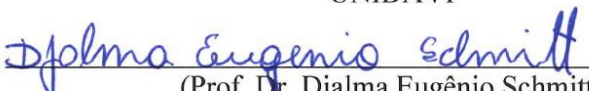
  
(Prof. Dr. Jackson Adriano Albuquerque)  
UDESC

\_\_\_\_\_  
(Prof. Dra. Mari Lucia Campos)

JDESC

\_\_\_\_\_  
(Prof. Dra. Luciana Patrícia Rosa Dias)

UNIDAVI

  
(Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt)

UFSC

LAGES, 28 de julho de 2022.

Dedico este trabalho aos meus pais, Julmar Felske Gabriel e Elizabeth Adaime Gabriel, pelo amor e carinho, e aos valores a mim passados.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida.

À Universidade do Estado de Santa Catarina pela educação gratuita e de qualidade a mim concedida desde a graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de cursar o Mestrado e Doutorado.

Ao orientador Dr. Paulo Cezar Cassol pelo tempo, orientação, dedicação e conhecimento repassados.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelos vários anos de docência e ensinamentos transmitidos.

À Empresa Klabin pelo interesse na pesquisa e disponibilização de área e pessoal para realização do experimento com ajuda fornecida em campo durante coleta de material e dados do experimento.

Aos colegas e amigos do programa de pós-graduação, principalmente do laboratório de Química e Fertilidade do Solo por toda ajuda e momentos de descontração.

Ao bolsista e amigo, Mário Chaves, por auxiliar sempre que possível na condução das análises no período do doutorado.

Ao responsável pela Sala de Equipamentos de Análises de Solo, Matheus e Ederson.

Aos meus pais por toda educação e paciência.

Ao amado, Gilmar Luiz Mumbach, que acompanhou toda a trajetória, incentivando, motivando e ajudando para que pudesse concretizar esta etapa da minha carreira.

Aos meus amigos e familiares pelo incentivo e por compreenderem minha ausência em tantos momentos.

À CAPES pela concessão de bolsa durante o período cursado na Pós-Graduação.

A todos que de alguma maneira me ajudaram a finalizar este trabalho e completar esta etapa tão sonhada.

Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Não importa quais sejam os obstáculos e as dificuldades. Se estamos possuídos de uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.

Dalai Lama

## RESUMO

O eucalipto é considerado uma planta tolerante à acidez do solo. Porém, em muitas situações o rendimento dos plantios pode ser limitado pela falta de cálcio (Ca), pelo excesso de alumínio (Al) ou por outro efeito adverso da acidez. O objetivo do estudo foi avaliar a influência de doses e formas de aplicação de fontes de Ca, nos atributos químicos do solo, no desenvolvimento da planta e nas formas de Al, em cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden em um Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense. O experimento foi conduzido a campo, com 9 tratamentos: T1 – controle (2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total); T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário em superfície na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário em superfície na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal em superfície na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso em superfície na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário incorporado no sulco; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporado no sulco. As mudas foram plantadas em outubro de 2015 e os tratamentos aplicados em abril de 2016, em delineamento experimental blocos completos casualizados. Amostras de solo de 0 até 0,40 m foram coletadas aos 31 meses e 56 após a aplicação dos tratamentos, sendo avaliados atributos do solo relacionados à acidez, disponibilidade de nutrientes e formas de Al. Foram realizadas medições de altura, diâmetro das plantas e cálculos de produtividade, nos anos de 2019 a 2022. A aplicação de calcário, lama de cal e a maior dose calcário adicionado de gesso na faixa de plantio reduziram a acidez do solo e elevaram os teores de Ca, nos primeiros 0,05 m e a incorporação refletiu-se em alterações nessas variáveis em profundidade, inclusive de 0,20 a 0,40 m. A lama de cal na faixa de plantio se equivale ao calcário dolomítico, com exceção para o Mg, ausente nesse resíduo. O gesso aumentou o conteúdo de Ca no perfil do solo. A relação Ca/Mg apresentou maiores proporções com aplicação de lama de cal e gesso. O teor de Al trocável, o Al extraído por CuCl<sub>2</sub> 0,2 mol L<sup>-1</sup> e por oxalato de amônio 0,5 mol L<sup>-1</sup> tamponado a pH 3, diminuíram independente de doses e formas de aplicação de calcário, este com ou sem adição de gesso e lama de cal em superfície, e com a incorporação diminuiu o Al trocável em profundidade. Os parâmetros produtivos do eucalipto, não são influenciados por aplicações de calcário e outras fontes de cálcio, em superfície ou incorporadas no solo, em doses acima de 2,0 t ha<sup>-1</sup>, mas a cada ciclo do eucalipto é necessário verificar os níveis de Al, Ca e Mg no solo garantindo o desenvolvimento da planta.

**Palavras chaves:** *Eucalyptus dunnii* Maiden; Fontes de cálcio; Gesso agrícola; Resíduo alcalino lama de cal; Alumínio no solo.



## ABSTRACT

Eucalyptus is considered a tolerant plant to soil acidity. However, in many situations, crop yields can be limited by lack of calcium (Ca), excess aluminum (Al) or another adverse effect of acidity. The objective of the study was to evaluate the influence of doses and forms of application of Ca sources, in the chemical attributes of the soil; on plant development and forms of Al, in cultivation of *Eucalyptus dunnii* Maiden in a Humic Cambisol in the Southern Plateau of Santa Catarina. The experiment was carried out in the field, with 9 treatments: T1 – control (2 t ha<sup>-1</sup> of dolomitic limestone on the surface in total area); T2 – 3.5 t ha<sup>-1</sup> of limestone on the surface in the total area; T3 – 1.75 t ha<sup>-1</sup> of limestone on the surface in the planting strip; T4 – 3.5 t ha<sup>-1</sup> of limestone on the surface in the planting strip; T5 – 3.5 t ha<sup>-1</sup> of lime mud on the surface in the planting strip; T6 – 3.5 t ha<sup>-1</sup> of limestone + 2.75 t ha<sup>-1</sup> of gypsum on the surface in the planting strip; T7 – 1.75 t ha<sup>-1</sup> of limestone incorporated in the furrow; T8 – 1.75 t ha<sup>-1</sup> of limestone + 1.38 t ha<sup>-1</sup> of gypsum incorporated in the furrow; T9 – 1.38 t ha<sup>-1</sup> of gypsum incorporated in the furrow. The seedlings were planted in October 2015 and the treatments applied in April 2016, in a randomized complete block experimental design. Soil samples from 0 to 0.40 m were collected at 31 and 56 months after the treatments were applied, and soil attributes related to acidity, nutrient availability and Al forms were evaluated. Measurements of height, plant diameter and productivity calculations were carried out in the years 2019 to 2022. The application of limestone, lime mud and the highest dose of limestone added to gypsum in the planting strip reduced soil acidity and increased Ca levels in the first 0.05 m and the incorporation was reflected in changes in these variables at depth, including from 0.20 to 0.40 m. Lime mud in the planting strip was equivalent to dolomitic limestone, with the exception of Mg, which was absent in this residue. Gypsum increased Ca content in the soil profile. The Ca/Mg ratio showed higher proportions with the application of lime mud and gypsum. The exchangeable Al content, the Al extracted by CuCl<sub>2</sub> 0.2 mol L<sup>-1</sup> and by ammonium oxalate 0.5 mol L<sup>-1</sup> buffered at pH 3, decreased regardless of doses and forms of lime application, with or without addition of gypsum and lime mud in the surface, and with the incorporation the exchangeable Al decreased in depth. The production parameters of eucalyptus, are not influenced by applications of limestone and other sources of calcium, on the surface or incorporated in the soil, at doses above 2.0 t ha<sup>-1</sup>, but each cycle of eucalyptus is necessary check in the levels of Al, Ca and Mg in the soil ensuring the development of the plant.

**Keywords:** *Eucalyptus dunnii* Maiden; Calcium sources; Agricultural plaster; Lime sludge alkaline residue; Aluminum in the ground.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 — Croqui de uma unidade experimental (UE) com 4 linhas e 6 plantas por linha, totalizando 24 indivíduos de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....36
- Figura 2 — Distribuição dos tratamentos com delineamento em blocos casualizados completos, totalizando 36 unidades experimentais.....37
- Figura 3 — Croqui da primeira coleta de solo, realizada após 31 meses da aplicação dos tratamentos, em dezembro de 2018.....38
- Figura 4 — Croqui da segunda coleta de solo, realizada após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em novembro de 2020.....38
- Figura 5 — pH em água nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A) e 56 meses (B) da aplicação os tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....40
- Figura 6 — Acidez Potencial (H+Al) e Saturação por Alumínio (m%), nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A e C) e 56 meses (B e D), respectivamente, da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....43
- Figura 7 — Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A e C) e 56 meses (B e D) da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....46
- Figura 8 — Relações de Ca/Mg e Mg/K nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A e C) e 56 meses (B e D) da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....67
- Figura 9 — Teores de Al em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>), nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A) e 56 meses

(B) da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....74

Figura 10 — Teores de Al em  $\text{CuCl}_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ), nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....76

Figura 11 — Teores de Al em oxalato de amônio  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  tamponado a pH 3 ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ), nos nove tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....78

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 — Descrição dos tratamentos e respectivas doses, materiais, forma e local de aplicação no solo.....35
- Tabela 2 — Teores de Potássio (K), Sódio (Na) e Fósforo (P) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....51
- Tabela 3 — Médias de Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva), Capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC pH 7,0) e Saturação por bases (V%) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....54
- Tabela 4 — Altura de plantas e Diâmetro na altura do peito (DAP) médio de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio, nos tratamentos\* estudados, em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.....60
- Tabela 5 — Volume de madeira em m<sup>3</sup> e em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio, nos tratamentos\* estudados, em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.....63
- Tabela 6 — Incremento Corrente Anual (ICA) e Incremento Médio Anual (IMA), em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio, nos tratamentos\* estudados, em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.....65

## LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice A — Proporções dos elementos expressos como MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO e ZnO em amostras de calcário dolomítico, gesso agrícola e lama de cal aplicados no solo.....91
- Apêndice B — Valores de pH em água, pH em CaCl<sub>2</sub> e índice SMP nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 E 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii*.....92
- Apêndice C — Valores de Acidez Potencial (H+Al), Al trocável (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>) e saturação por Al (m%) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii*.....93
- Apêndice D — Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii*.....94
- Apêndice E — Relação de Ca/Mg e Mg/K nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii*.....95
- Apêndice F — Teores de Al em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, Al em CuCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> e Al em oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> tamponado a pH 3 (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.....96
- Apêndice G — pH em água, pH em CaCl<sub>2</sub>, índice SMP, H+Al, m%, Ca, Mg, CTC efetiva, CTC pH 7,0, e V% nos tratamentos\* estudados, em coleta realizada na entrelinha, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso, em camadas de Cambissolo

Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	97
Apêndice H — Teores de K, Na e P nos tratamentos* estudados, em coleta realizada na entrelinha, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	98
Apêndice I — Relação de Ca/Mg e Mg/K nos nove tratamentos* estudados, em coleta realizada na entrelinha, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	98
Apêndice J — Teores de Al em KCl 1 mol L <sup>-1</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), Al em CuCl <sub>2</sub> 0,5 mol L <sup>-1</sup> e Al em oxalato de amônio 0,2 mol L <sup>-1</sup> tamponado a pH 3 nos tratamentos* estudados, em coleta realizada na entrelinha, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, , em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	99

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
2.1	PANORAMA DO GÊNERO <i>Eucalyptus</i> .....	19
2.2	ACIDEZ DO SOLO E CULTIVO DE EUCALIPTO .....	20
2.3	FONTES DE CÁLCIO E CULTIVO DE EUCALIPTO .....	23
2.4	GESSO AGRÍCOLA E CULTIVO DE EUCALIPTO .....	26
2.5	ALUMÍNIO NO SOLO .....	27
<b>3</b>	<b>APRESENTAÇÃO DO TRABALHO</b> .....	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>31</b>
4.1	OBJETIVO GERAL .....	31
4.2	OBJETIVO ESPECÍFICO DO CAPÍTULO I .....	31
4.3	OBJETIVO ESPECÍFICO DO CAPÍTULO II .....	31
4.4	OBJETIVO ESPECÍFICO DO CAPÍTULO III .....	31
<b>5</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO COM CULTIVO DE EUCALIPTO TRATADO COM DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FONTES DE CÁLCIO</b> .....	<b>33</b>
6.1	INTRODUÇÃO .....	33
6.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	34
6.2.1	Descrição da área experimental .....	34
6.2.2	Tratamentos aplicados e Delineamento experimental .....	34
6.2.3	Amostragem e análises químicas do solo .....	37
6.2.4	Análise estatística .....	39
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
6.3.1	pH em água .....	40
6.3.2	Acidez Potencial (H+Al) e Saturação por Alumínio (m%) .....	42

6.3.3	Teores de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg).....	46
6.3.4	Potássio (K), sódio (Na) e fósforo (P) .....	50
6.3.5	Capacidade de Troca de Cátions (CTC) efetiva, CTC a pH 7,0 e saturação por bases (V%) .....	53
6.4	CONCLUSÕES .....	56
7	<b>CAPÍTULO 2 - RESPOSTA DE EUCALIPTO À APLICAÇÃO DE CALCÁRIO, GESSO E LAMA DE CAL EM CAMBISSOLO HÚMICO.....</b>	<b>58</b>
7.1	INTRODUÇÃO.....	58
7.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	59
7.2.1	Parâmetros na planta .....	59
7.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
7.3.1	Diâmetro altura do peito - DAP (cm) e Altura (m) .....	60
7.3.2	Volume de madeira em m <sup>3</sup> e em m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> estimados.....	63
7.3.3	Incremento corrente anual - ICA e Incremento médio anual – IMA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) .....	65
7.3.4	Relações dos nutrientes do solo .....	67
7.4	CONCLUSÕES .....	70
8	<b>CAPÍTULO 3 – INFLUÊNCIA DE DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FONTES DE CÁLCIO PARA O ALUMÍNIO E SUAS FORMAS NO SOLO EM CULTIVO COM EUCALIPTO.....</b>	<b>71</b>
8.1	INTRODUÇÃO.....	71
8.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	72
8.2.1	Análises das formas de alumínio no solo .....	72
8.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	73
8.3.1	Alumínio no extrato por KCl 1 mol L <sup>-1</sup> (Al-KCl) .....	73
8.3.2	Alumínio no extrato de cloreto de cobre 0,5 mol L <sup>-1</sup> (Al – CuCl <sub>2</sub> ).....	76
8.3.3	Alumínio no extrato de oxalato de amônio 0,2 mol L <sup>-1</sup> tamponado a pH 3 (Al – oxalato).....	78
8.4	CONCLUSÕES .....	80



<b>9</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>81</b>
<b>10</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2020, o Brasil somou 7,47 milhões de hectares com cultivo de eucalipto, representando 78% das espécies florestais plantadas e 1,7 milhão de hectares com 18% de pinus. Os principais produtores de florestas plantadas no país são os Estados de: Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBÁ, 2021). No estado de Santa Catarina, principalmente na região do Planalto Serrano, concentram-se plantios de pinus e eucalipto, em destaque nos municípios de Santa Cecília, Lages e Otacílio Costa, que juntos possuem cerca de 90 mil hectares plantados, principalmente com Pinus (ACR, 2019).

No setor florestal se destaca o cultivo de pinus e eucalipto, em função de suas propriedades físico-químicas, para indústrias como a de papel e celulose, dentre outras. O eucalipto se adapta bem às condições edafoclimáticas do Brasil e elevadas produtividades são alcançadas. Solos do Planalto Sul Catarinense são ácidos, possuem baixa fertilidade natural e contém elevados teores de Al. Apesar de o eucalipto ser considerado uma planta tolerante à acidez do solo, o excesso de Al e a alta demanda Ca para o desenvolvimento da planta podem limitar o rendimento dos plantios.

O fornecimento de Ca pode ser considerado mais importante do que a neutralização completa da acidez. Portanto, um fator a ser averiguado é a quantidade e a forma de disponibilizar o Ca, viabilizando um melhor uso de fontes de Ca, bem como, a compreensão da influência dessas quantidades e formas de disponibilizar o Ca, nos atributos químicos do solo, desenvolvimento e a produtividade do cultivo, e formas de Al a longo prazo em plantios de eucalipto.

A forma tradicional de suprimento de Ca via solo é a aplicação de calcário, que neutraliza a acidez e fornece nutrientes essenciais, como o Ca e o Mg. O gesso agrícola também é uma alternativa, apesar de não corrigir a acidez; um aspecto positivo deste insumo é a capacidade de formar pares iônicos e deslocar o Ca e outros cátions para camadas subsuperficiais do solo. Outra alternativa, disponível na região Serrana Catarinense, é a lama de cal, resíduo da produção de papel e celulose. A lama de cal possui Ca em sua constituição e tem a capacidade de neutralizar a acidez.

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência de doses e formas de aplicação de fontes de cálcio, nos atributos químicos do solo; no desenvolvimento da planta e nas formas de alumínio, em cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden em um Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PANORAMA DO GÊNERO *Eucalyptus*

As plantas do gênero *Eucalyptus*, ao longo da sua evolução natural, desenvolveram mecanismos adaptativos eficientes para crescer rapidamente sob condições favoráveis, mas também suportar estresse hídrico, nutricional, de temperatura, entre outros, o que explica o grande número de espécies na natureza e sua ampla dispersão nas regiões de origem (FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006). O gênero *Eucalyptus* representa árvores com alta taxa de crescimento, plasticidade, forma retilínea do fuste, desrama natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas, adaptadas às mais variadas condições de uso (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

No Brasil em 2020, a área total de árvores plantadas somou 9,55 milhões de hectares, com um recuo de 1,4% em relação ao dado revisado de 2019, que ficou em 9,69 milhões de hectares. Dentre as espécies, o cultivo de eucalipto conta com 7,47 milhões de hectares; e de pinus com 1,7 milhão de hectares. Os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina seguem como principais produtores de florestas plantadas no país (IBÁ, 2021).

O Brasil é referência mundial quando se trata da produtividade de plantios florestais, com seu alto volume de produção anual de madeira por área e um curto ciclo. Além das condições de clima e solo, o setor florestal investe anos em pesquisa e desenvolvimento das melhores técnicas de manejo florestal, aliados ao melhoramento genético e práticas sustentáveis. As mudanças climáticas podem ser um dos fatores que impactaram na queda de produtividade média por ano no plantio de eucalipto de 38,6 m<sup>3</sup>/ha, em 2019, para 36,8 m<sup>3</sup>/ha (IBÁ, 2021).

Ao longo dos últimos anos, no Brasil, como resultado dos trabalhos de melhoramento genético e uso de avançadas técnicas silviculturais, a capacidade de produção de biomassa cresceu de forma expressiva. A versatilidade de uso da madeira, principal produto obtido dessa árvore, é outra particularidade que explica a prevalência de plantações de eucalipto sobre as de outras espécies. As utilizações compreendem desde o emprego para fins meramente energéticos até a obtenção de produtos nobres como lâminas e móveis (FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006).

Plantios com o eucalipto requerem maior atenção em Santa Catarina, dado que a maioria das espécies introduzidas no Brasil são sensíveis a baixas temperaturas e ocorrência de geadas.

Entretanto, espécies de *Eucalyptus* selecionadas para tais condições têm sido priorizadas e apresenta crescimento satisfatório, a exemplo do *Eucalyptus dunnii* ou mesmo *Eucalyptus grandis* e híbridos como *Eucalyptus urophylla x grandis*, estes últimos na faixa litorânea (ACR, 2019).

Dentro deste cenário do setor florestal, um estudo contratado pela Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR) e desenvolvido em 2019 pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC-CAV), identificou que o estado de Santa Catarina possui área total com florestas plantadas de 828,9 mil hectares. Desta totalidade, a grande maioria ou 67% (553,6 mil hectares) com *Pinus* e cerca de 33% (275,3 mil hectares) com *Eucalyptus*. Em Santa Catarina, grande parte da base florestal plantada está concentrada em empresas integradas verticalmente, garantindo o abastecimento de matéria-prima em seus processos industriais. Os plantios com *Pinus* e *Eucalyptus* no estado estão concentrados principalmente na região serrana, com destaque para os municípios de Santa Cecília, Lages e Otacílio Costa, que juntos detêm cerca de 90 mil hectares plantados, principalmente com *Pinus* (ACR, 2019).

A produtividade florestal média do *Pinus* e *Eucalyptus* no estado de Santa Catarina está entre 34-37 m<sup>3</sup> ha ao ano (ACR, 2019). Apesar da alta produtividade do eucalipto, a sustentabilidade tornou-se uma questão cada vez mais importante para as florestas plantadas a médio e longo prazo, muito em função da baixa fertilidade do solo usado nas plantações florestais (ROCHA *et al.*, 2016).

Em Santa Catarina, os municípios de Lages, Otacílio Costa, Três Barras, Caçador, além de outros do Planalto Catarinense com plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*, são tradicionalmente os maiores produtores de papel, principalmente os papéis kraft, tais como os multifolhados, utilizados como embalagem pelas indústrias de cimento, fertilizantes e açúcar, além do papelão para a fabricação de caixas/embalagens. Nos últimos anos, a indústria de papel Catarinense passou por transformações, com expansões, fusões e aquisições com o propósito de inovação e manutenção da participação no mercado (ACR, 2019).

## 2.2 ACIDEZ DO SOLO E CULTIVO DE EUCALIPTO

Entre os fatores edafoclimáticos, um dos de maior relevância é o solo, sua relação com as plantas e como estas absorvem e distribuem os nutrientes por ele fornecidos. A eficiência de utilização de nutrientes na produção de madeira também varia com o tipo de solo, com a disponibilidade de nutrientes, com a população de plantas e com a espécie (CAMARGO *et al.*, 2004).

As condições naturais tendem a acidificar os solos, por isso, grande parte dos solos existentes são ácidos, especialmente aqueles mais intemperizados. Os principais fatores que interferem na acidificação dos solos são: lixiviação de cátions básicos, intemperismo dos minerais de argila, decomposição da matéria orgânica (M.O), produção de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), nitrificação, fertilizantes de reação ácida e absorção de cátions pelas plantas (ERNANI, 2016).

No complexo de carga catiônica, a remoção de cátions básicos, como o cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na), por meio da lixiviação e/ou absorção pelas plantas, substituindo-os por Al trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) e hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) não dissociado, é apontada como a principal causa da acidificação. Sendo assim, o solo será tanto mais ácido quanto menor a porção da capacidade de troca de cátions (CTC) ocupada por esses cátions básicos (RAIJ, 2011). A acidez do solo pode ser considerada um dos principais fatores de baixa fertilidade e degradação de solos agrícolas (ANIKWE; IBUDIALO, 2016).

Existem dois tipos de acidez no solo: a ativa e a potencial. A acidez ativa representa a atividade de  $\text{H}^+$  na solução, afetando grande número de reações que ocorrem no solo relacionadas com a disponibilidade de nutrientes. A acidez ativa é expressa pelo valor de pH, determinado em água ou em solução salina. A acidez potencial é constituída pelo somatório das fontes de  $\text{H}^+$  que existem nos componentes sólidos do solo, principalmente o  $\text{Al}^{3+}$  e os grupos funcionais, orgânicos e inorgânicos. Portanto, é proporcional aos teores de Al, argila e M.O (M.O) existentes no solo e determina a necessidade de calcário. A acidez potencial apenas afeta a atividade de  $\text{H}^+$  na solução do solo quando o pH for alterado e, sendo assim, ela é tamponante da acidez ativa. A acidez potencial é determinada analiticamente pelos teores de (H+Al) ou estimada pelo pH-SMP (ERNANI, 2016).

Na maioria dos laboratórios de análise química de solo do Brasil, tem-se empregado a determinação da acidez potencial (H+Al) que serve para avaliar a acidez dos solos. Por meio da acidez potencial, pode-se obter o poder-tampão do solo, calcular indiretamente a capacidade de troca catiônica ( $T = SB + (H + Al)$ ) e recomendar doses adequadas de corretivo (GAMA; PROCHNOW; GAMA, 2002).

Dentro deste contexto, grande parte dos solos do sul do Brasil são muito ácidos, apresentam toxidez de  $\text{Al}^{3+}$  e manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ) e são deficientes em fósforo (P), Ca e Mg, ocasionando grandes prejuízos às plantas. Em baixos valores de pH do solo, a disponibilidade de P, assim como, a atividade microbiana, são negativamente afetados, porém assumem menor importância, pois esses problemas podem ser superados pela aplicação de maior quantidade desse nutriente e de nitrogênio (N) (ALMEIDA; ERNANI; MAÇANEIRO, 1999).

Habitualmente é de difícil definição se os efeitos variados da acidificação do solo no crescimento e desenvolvimento de plantas são devido a alto teor de  $Al^{3+}$  ou hidrogênio ( $H^+$ ), entretanto, hipóteses sugerem que os efeitos da acidificação do solo em essências florestais são associados tanto ao baixo pH, como aos metais fitotóxicos dissolvidos, como o Al (BASSO *et al.*, 2003).

O Al afeta, essencialmente, o sistema radicular das plantas, modificando a morfologia e o crescimento das raízes. As raízes apresentam-se mais grossas e há redução na emissão de raízes secundárias (DELHAIZE; RYAN, 1995; MEURER, 2007). Como as funções imprescindíveis das raízes são a absorção de água e de nutrientes, o crescimento e o desenvolvimento das plantas ficam prejudicados (MIGUEL *et al.*, 2010; MEURER, 2007). Há também, além da toxidez por Al, a toxidez por  $Mn^{2+}$  e ferro ( $Fe^{2+}$ ). O Mn é um elemento fundamental às plantas, porém em solos ácidos com teores elevados de Mn, pode ocorrer toxidez deste nutriente para as plantas (MEURER, 2007).

Algumas plantas são mais tolerantes a determinados níveis de Al no solo, apresentando maior adaptabilidade em solos ácidos como, por exemplo, o eucalipto. Existem dois mecanismos que podem explicar a tolerância das plantas ao Al. Um é denominado mecanismo de exclusão e outro o mecanismo interno ou de reparo. No primeiro, o Al é impedido de chegar aos sítios de toxicidade em função da liberação de ácidos orgânicos (malato, citrato e oxalato) pelas raízes, que complexam estavelmente o Al (quelação), impedem sua absorção e evitam sua interação com compostos celulares e sua entrada no simplasto radicular (MIGUEL *et al.*, 2010; HARTWIG *et al.*, 2007).

Apesar da liberação de ácidos orgânicos, como malato e citrato, que contribuem para a adaptação global de espécies de eucalipto em solos alumino-tóxicos, pode existir outros mecanismos de tolerância ao Al (SILVA *et al.*, 2004). O segundo permite a entrada do Al na célula, contudo este é neutralizado por enzimas ou isolado no interior do vacúolo, local onde ocorre a complexação dos cátions (MIGUEL *et al.*, 2010). Existem também especulações sobre um elevado número de mecanismos de tolerância ao Al e as diferenças entre espécies vegetais quanto a estes mecanismos (HARTWIG *et al.*, 2007).

Em estudo realizado por Yang *et al.* (2015), o baixo pH relacionado com a toxicidade por Al diminuiu o conteúdo de clorofila, a taxa de fotossíntese, a taxa de transpiração e a eficiência no uso da água devido à redução das células do mesófilo foliar e desenvolvimento de folhas mais finas. Os autores afirmam também que, para clones de eucalipto, a taxa fotossintética pode ser um indicador de referência para tolerância ao Al, porém diferentes espécies apresentam diferentes respostas devido aos mais variados níveis de tolerância.

### 2.3 FONTES DE CÁLCIO E CULTIVO DE EUCALIPTO

A mitigação dos efeitos adversos da acidez, como a alta concentração de Al, conta como principais alternativas a aplicação de calcário para elevar o pH do solo e o gesso agrícola para reduzir a atividade e toxicidade do Al. Mesmo com os benefícios comprovados do uso do calcário em solos ácidos, como a neutralização do Al tóxico e o fornecimento de nutrientes como o Ca e Mg (FAGERIA *et al.*, 2014; ANIKWE; IBUDIALO, 2016), o efeito no crescimento de eucalipto nem sempre tem sido constatado. Dessa forma, muitos silvicultores optam por não aplicar o corretivo, em função da falta de recursos financeiros e pelo pensamento de que a prática de corrigir o pH em plantios florestais não é responsiva. Assim, esses produtores não aplicam ou aplicam doses em quantidades diferentes do que seria tecnicamente recomendado.

O calcário é uma rocha sedimentar, constituída por uma mistura de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  que é extraído de jazidas naturais e tem sido amplamente utilizado para neutralizar a acidez do solo. Na constituição do calcário há nutrientes como Ca e Mg em diferentes proporções de acordo com o material de origem. Assim, além de elevar o pH do solo e fornecer Ca e Mg (FAGERIA *et al.*, 2014; ANIKWE; IBUDIALO, 2016), a aplicação de calcário aumenta a saturação por bases (V%) e a CTC efetiva e a pH 7, assim como pode elevar a disponibilidade de P e enxofre (S) (ROCHA *et al.*, 2008).

A aplicação de rocha calcária moída, de forma incorporada superficialmente, é uma prática secularmente efetuada na agricultura de clima temperado, como forma de aumentar o pH e elevar o teor de bases trocáveis da camada arável dos solos. Na agricultura tropical, a sua realização envolve primordialmente a neutralização do Al, por meio da sua precipitação química como hidróxido, apesar de que, em certas regiões, pelo seu custo, a prática possa resultar economicamente inviável (ROSSIELLO; NETTO, 2006).

Em função da baixa solubilidade dos carbonatos ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ), recomenda-se que o calcário seja distribuído de modo uniforme em área total sobre a superfície do solo, e que suas partículas sejam misturadas com o solo para aumentar a superfície de contato e a sua ação neutralizante. A ação neutralizante do calcário é sempre mais acentuada no local de sua aplicação no solo (CAIRES; JORIS, 2016; TIRITAN *et al.*, 2016). A neutralização da acidez em subsuperfície é dificultada pelo aumento da retenção de cátions, que ocorre em função da geração de cargas elétricas negativas com a elevação no pH do solo (CAIRES; JORIS, 2016). Nesse contexto, o calcário possui baixa capacidade de neutralizar a acidez em faixas ou camadas de solo além daquelas que receberam o corretivo.

A calagem em plantios de eucalipto era recomendada quando o solo fosse muito ácido ( $\text{pH} < 5,0$ ) ou quando os teores de Ca e Mg se apresentavam baixos, até 2016, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A finalidade era elevar o pH do solo a 5,5 e a saturação por bases a 65%. (CQFS-RS/SC, 2004).

No ano de 2016 o sistema de recomendação de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016), a recomendação para as espécies do gênero *Eucalyptus* foi modificada. Em que, todas as culturas florestais foram classificadas como plantas “sem pH de referência”, ou seja, essas plantas não podem ser classificadas dentro do sistema clássico que separa as plantas em três categorias de resposta a elevação do pH (pH 5,5, pH 6,0 e pH 6,5). Para as culturas florestais, o sistema de recomendação passou a sugerir a calagem apenas para elevar a saturação por bases até 40% e os teores de Ca e Mg até o nível alto ( $\text{Ca} \geq 4,0$ ;  $\text{Mg} \geq 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

No estado de Santa Catarina, principalmente no Planalto Sul Catarinense, os povoamentos florestais estão implantados sobre Cambissolos, exigindo muitas vezes grandes quantidades de calcário (até  $21 \text{ t ha}^{-1}$ ) para a elevação do pH para valores até 6,0 (CQFS-RS/SC, 2016).

Povoamentos com sete anos de idade, de *Eucalyptus saligna*, possui como principal nutriente acumulado o Ca, chegando a valores acumulado no tronco (casca + madeira) de  $404 \text{ kg ha}^{-1}$  de Ca. Os valores de exportação quando a madeira é retirada com casca são elevados, sendo que o descasque no campo pode representar uma redução nas taxas de exportação de nutrientes de 60% para Ca, 48% para Mg, 21% para K, 19% para P e 18% para N, mesmo que a casca represente apenas 8% da biomassa do tronco (WITSCHORECK; SCHUMACHER, 2015). Em virtude das elevadas exportações de Ca pela colheita da madeira de eucalipto, se faz necessário repor o mesmo para manter as condições adequadas para os povoamentos futuros.

Mesmo com a adaptação a solos de baixa fertilidade e ácidos, para que a produtividade do eucalipto seja alta, a cultura exporta quantidades significativas de nutrientes, o que pode ser restritivo em solos degradados. Segundo Rodrigues *et al.*, (2016), sob condições de produtividades no povoamento próximas a  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , são exportados cerca de  $416 \text{ kg ha}^{-1}$  de Ca para a parte aérea, até o sétimo ano. Relatam ainda que, a aplicação de calcário dolomítico visa fornecer Ca e Mg às plantas, sendo que este corretivo apresenta menor custo aos produtores, considerando-se os benefícios à planta. Dados apresentados por Rocha *et al.* (2016) reforçam que, dependendo do tipo de manejo de colheita, ou seja, com retirada somente da madeira ou retirada de cascas e outros resíduos, o percentual dos nutrientes absorvidos que são exportados da área pode ser elevado.



No Brasil, com a crescente produção de papel e celulose e a demanda pela qualidade dos produtos, as indústrias do setor têm gerado grandes quantidades de resíduos líquidos e sólidos. A maioria dos resíduos sólidos gerados em indústrias de papel e celulose constituem em fibras que escapam do processo, além de sais inorgânicos, casca e fragmentos de madeira que são normalmente armazenados em depósitos próximos à indústria. Alguns dos resíduos, como a lama de cal, o dregs, o grits e a cinza, possuem nutrientes e, ainda, podem ter poder corretivo da acidez, com constituintes como CaO, CaOH, CaSiO<sub>3</sub>, NaOH, além de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> (ALBUQUERQUE *et al.*, 2011; PÉRTILE *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2009, 2013; SIMONETE *et al.*, 2013).

Neste contexto, em alternativa à utilização de calcário, o uso de lama de cal vem ganhando importância devido às suas características físicas e químicas, sendo um resíduo contendo nutrientes, principalmente o Ca, para as árvores, o que possibilita, com sua aplicação, a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo (MAEDA; GOMES; BOGNOLA, 2015). O resíduo lama de cal é gerado no processo de cozimento da madeira, durante a recuperação do licor de cozimento para separação das fibras de celulose. Este material possui elevado conteúdo de Ca e poder relativo de neutralização total (PRNT) acima de 90%, sendo qualificado como excelente corretivo da acidez do solo (MAEDA; BOGNOLA, 2013). Contudo, deve-se considerar que em sua constituição há presença de sódio, embora em baixa proporção, o qual pode apresentar efeitos prejudiciais aos parâmetros físicos do solo. O Na<sup>+</sup> no solo pode causar dispersão da argila, diminuindo a permeabilidade, a aeração e prejudicando o manejo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2011). Além disso, a lama de cal é pobre em Mg, necessitando possivelmente de adubação complementar no futuro em relação a este nutriente.

Ultimamente a consciência ambiental despertada e a legislação pertinente levaram à necessidade de se encaminhar a um destino seguro, em termos ambientais viáveis e financeiros, os resíduos de processos industriais (MAEDA; GOMES; BOGNOLA, 2015). A aplicação de resíduos em áreas de plantios florestais pode constituir uma alternativa importante para a disposição dos resíduos, e assim podendo solucionar um problema ambiental. Ao mesmo tempo, contribui para a melhoria da fertilidade do solo e a reposição de nutrientes exportados com a colheita da biomassa florestal (MAEDA; BOGNOLA, 2013).

Ressalta-se a importância da determinação da composição química do resíduo de celulose e do solo e seu acompanhamento ao longo do tempo, pois quando aplicado em quantidades consideradas inadequadas pode prejudicar o solo e o meio ambiente pelo desbalanço de nutrientes. Ademais, concentrações mais elevadas de Ca no resíduo celulósico devem ser corrigidas com aplicações de K e Mg, para evitar futuramente desequilíbrio

nutricionais nas árvores (PAES *et al.*, 2013). Assim, os resíduos gerados no processamento de madeira para a produção de celulose, oriunda de caldeira auxiliar de geração de energia e a lama de cal (carbonato de sódio), tem sido estudado para a sua disposição em solos florestais (MAEDA; GOMES; BOGNOLA, 2015).

Rocha *et al.* (2019) publicaram uma revisão sobre os benefícios e oportunidades das aplicações de Ca e Mg em florestas plantadas por meio de materiais ricos em Ca ou outro cátion básico, com foco específico em plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* altamente produtivas e de rotação curta. Esses autores, observaram que, apesar da alta tolerância a solos ácidos, especificamente à toxicidade do Al, algumas espécies de *Eucalyptus* e *Pinus* exigem grandes quantidades de Ca e Mg para atingir altos níveis de produtividade. O mecanismo de tolerância a solos ácidos parece ter um custo de alocação de carboidratos, o que pode explicar as reduções modestas do crescimento do volume do estande que foram relatadas. Destacam ainda que, em florestas altamente produtivas, principalmente em ambientes tropicais e subtropicais, em solos altamente intemperizados e pobres em cátions, foram relatadas respostas à aplicação de Ca e Mg para ambos os gêneros. Essa resposta pode ser atribuída principalmente à fertilização com Ca e Mg e raramente está relacionada ao aumento do pH do solo, visto que geralmente há uma correlação muito baixa entre a resposta à aplicação de cal e o pH do solo.

#### 2.4 GESSO AGRÍCOLA E CULTIVO DE EUCALIPTO

Alternativamente aos produtos com capacidade de alterar o pH do solo, existem fontes, como o gesso, capazes de fornecer nutrientes e reduzir o nível de toxidez do Al. O gesso agrícola é um subproduto da produção de fertilizantes fosfatados. Este produto, mesmo não modificando o pH do solo, pode ser uma alternativa para diminuir a toxidez do Al e aumentar o conteúdo de Ca no solo (ANIKWE; IBUDIALO, 2016; ARAÚJO *et al.*, 2016). Isto ocorre em função do aumento na competição do Ca com o Al pelos sítios de absorção nas células da raiz, devido à diminuição da atividade do Al e também devido ao incremento na integridade das membranas plasmáticas (ERNANI, 2016).

A adição de sais fertilizantes em grandes quantidades, a exemplo do gesso agrícola, pode, porém, acarretar algumas reações secundárias que modificam pouco o pH, mas isso só ocorre quando o pH do solo for muito baixo. Neste caso, o aumento do pH é resultante do deslocamento de moléculas de  $\text{OH}^-$  da fase sólida por moléculas de  $\text{SO}_4^{2-}$ . O abaixamento do pH, por outro lado, é devido ao deslocamento de  $\text{Al}^{3+}$ , das cargas para a solução, pelo  $\text{Ca}^{2+}$ , e isso só ocorre quando existe  $\text{Al}^{3+}$  (pH < 5,5) (ERNANI, 2016). Esse autor destaca que a adição

de gesso agrícola ao solo, em solos de baixa CTC e/ou sob dosagens elevadas, pode lixiviar quantidades consideráveis de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ . A lixiviação de Al, porém, é pouco influenciada pela aplicação de gesso porque sua concentração na solução do solo é pequena.

A aplicação de gesso promove incremento de nutrientes em subsuperfície, bem como a redução da toxicidade de elementos como o Al, acarretando em um ganho significativo no crescimento de raízes, o que pode resultar em maior acúmulo de M.O (ARAÚJO; FIGUEIREDO; SOUSA, 2017). O aumento no acúmulo de carbono (C) no solo também pode ser observado com a aplicação associada de calcário e gesso, o que pode ser atribuído ao aumento nos teores de Ca no solo e correção do pH (INAGAKI *et al.*, 2016).

Esta associação da aplicação de calcário e gesso pode também apresentar diversos benefícios, contribuindo com alterações nos atributos químicos do solo, como manter o pH em níveis desejáveis, reduzir a saturação por Al (m%) e elevar os teores de nutrientes, como P, S, Ca, Mg e K (ANIKWE; IBUDIALO, 2016; BOSSOLANI *et al.*, 2020). Sob condições controladas, Gabriel *et al.* (2018), com aplicação de doses isoladas e combinadas de calcário e gesso em Cambissolo Húmico cultivado com eucaliptos, mostraram aumento nos teores de Ca trocável e neutralização da acidez, contudo houve efeito negativo na disponibilidade de Mg.

Em estudo realizado por Ferreira *et al.* (2020), que avaliaram os efeitos de uma ampla gama de doses de gesso nos parâmetros de crescimento de *E. urograndis*, em Latossolo Distrófico no Estado do Paraná, não houve resposta a altas taxas de gesso, como condicionador do solo, devido a uma combinação de fatores. Os autores relatam ainda que a aplicação de calcário antes do início do estudo pode ter dificultado uma resposta. Rodrigues *et al.* (2016) avaliaram produtividade de eucalipto aos 18 meses, após aplicação de calcário e gesso e constataram aumento na produtividade de pelo menos 56% após aplicação de calcário. Já para a aplicação de calcário com adição de gesso, quando comparado aos tratamentos sem aplicação de calcário, a produtividade se mostrou maior, se aproximando dos 96%. Os autores observaram ainda que avaliando o local de aplicação, com a aplicação de gesso na faixa a produtividade de fuste e matéria seca foi maior do que com aplicação em área total.

## 2.5 ALUMÍNIO NO SOLO

O Al corresponde a 8% da constituição da crosta terrestre, e é o terceiro elemento com maior abundância na litosfera, após o oxigênio (O) e o silício (Si). O Al situa-se em rochas ígneas, em minerais primários como feldspatos e as micas, em minerais secundários como

aluminossilicatos, oxihidróxidos, sulfatos e fosfatos (CONSTANTINO *et al.*, 2002; ROSSIELLO; NETTO, 2006).

Quando o pH em água é inferior a 5,5, o Al encontra-se no solo na forma livre/trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), a qual prejudica o desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, à produtividade agrícola. Com o aumento progressivo do pH, ocorre a hidrólise, e assim há formação dos complexos mononucleares  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  e  $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ , este último predominante em pH neutro. E em condições alcalinas, existe o predomínio do ânion aluminato,  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  (ROSSIELLO; NETTO, 2006). Desta forma, o principal aspecto que controla a concentração do Al na solução do solo é o pH. A solubilidade do Al aumenta em pH abaixo 5,5 e acima de 7,5; a toxidez do Al é particularmente severa em pH abaixo de 5,0 (FAGERIA, 1998).

O Al na solução do solo pode decorrer na forma de polímeros e monômeros inorgânicos e complexos orgânicos. A adição da M.O ao solo tem diminuído o teor de  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo, em função da mudança no pH do solo e a complexação orgânica do Al (BACHE, 1986; HARGROVE; THOMAS, 1981; SALET, 1998). Salet (1998) concluiu que essa redução pode estar relacionada à adsorção específica do Al pelos grupamentos funcionais da M.O, formando os complexos de esfera interna.

Na fase sólida, pode ocorrer como íon trocável, adsorvido à superfície dos colóides do solo, complexado por compostos orgânicos, precipitado como compostos de hidróxi-Al na região das entrecamadas de minerais secundários 2:1 (vermiculita e esmectita), minerais mistos com sulfatos (basalalunita, jurbanita e alunita,) e fosfatos (variscita) de Al e/ou hidróxidos de Al cristalinos (gibbsita) (BACHE, 1986).

O  $\text{Al}^{3+}$  é habitualmente determinado a partir da extração com soluções de sais não tamponados, sendo o KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$  o sal mais usado, e sua quantificação normalmente é realizada por titulometria de neutralização com solução de NaOH padronizado. O uso deste extrator vem sendo recomendado desde Pratt; Bair, (1961). O  $\text{Al}^{3+}$  que é extraído com esse extrator está submetido a superestimação em função da dissolução de espécies de Al não trocáveis (hidróxi-Al), dado que a dissolução de hidróxi-Al é influenciada pelo pH, concentração e característica química do extrator, assim como o tempo de extração (KISSEL; GENTZSCH; THOMAS, 1971; OATES; KAMPRATH, 1983).

O Al que está complexado a M.O mais estável pode ser determinado com extratores mais fortes, como o cloreto de cobre ( $\text{CuCl}_2$ ), e mais brando, como o cloreto de lantânio ( $\text{LaCl}_3$ ), que extraem o Al em complexos orgânicos de baixa à média estabilidade (URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995), nomeado de “Al não trocável potencialmente reativos” (JUO; KAMPRATH, 1979). Entretanto, também extraem polímeros de hidróxi-Al das

entrecamadas de filossilicatos 2:1 (URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995). O alumínio não trocável extraído por esse extrator é obtido pela diferença com o obtido com o KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (FIGUEIREDO; ALMEIDA, 1991).

A quantificação de formas de baixa cristalinidade e amorfas dos compostos de ferro e Al é realizada normalmente por meio da solução de oxalato de amônio a pH 3, no escuro (SCHWERTMANN, 1964 apud CUNHA *et al.*, 2015; MCKEAGUE; DAY, 1966). Contudo a metodologia não é seletiva para tais compostos (SCHWERTMANN, 1964 apud CUNHA *et al.*, 2015; SCHWERTMANN, 1973), com a possibilidade de extrair também o Al da M.O (ALMEIDA *et al.*, 2010 apud CUNHA *et al.*, 2015) e o Al<sup>3+</sup> extraído por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

Os elevados teores de Al e a redução das bases trocáveis nas camadas mais profundas do solo têm sido apontados como parâmetros limitantes do desenvolvimento radicular e consequente do decréscimo da produção das culturas (DALLA NORA *et al.*, 2014).

Em estudo analisando as correlações do desenvolvimento individual de eucalipto e os atributos químicos em um Neossolo Quartzarênico, Lima *et al.* (2017) observaram que com a diminuição dos teores de Ca e Mg, há aumento substancial dos teores de Al no solo, ou seja, o Al no solo se torna muito mais solúvel tornando-se tóxico para o desenvolvimento da planta. A toxidez por Al é um dos principais fatores que restringem o desenvolvimento e a produção florestal em solos ácidos. Os autores relatam também que a elevada concentração de Al é uma condição encontrada na maior parte dos solos tropicais, o que torna importante o conhecimento do comportamento de espécies florestais sob tais circunstâncias. E como resultado do estudo, que incluiu aplicações de calcário e lama de cal, os autores observaram que com o aumento do teor de Ca e Mg no solo a partir da calagem, há maior soma de bases trocáveis (SB) do solo, fator que eleva a disponibilidade de nutrientes na solução do solo para as plantas. Os autores destacam ainda que, com o aumento dos teores de Ca e Mg haverá melhor desenvolvimento das plantas de eucalipto em altura e diâmetro.

Apesar dos diversos relatos científicos dos problemas causados pelo Al<sup>3+</sup> ao desenvolvimento de culturas agrícolas, em cultivos florestais destaca-se uma maior tolerância das plantas. Elevadas produtividades de eucalipto, por exemplo, podem ser obtidas sem a completa neutralização do Al<sup>3+</sup>. Plantas, como o eucalipto, pode apresentar maior tolerância ao Al<sup>3+</sup>, havendo menor risco de causar toxidez ao sistema radicular (RAHMAN; UPADHYAYA, 2021). Um dos motivos para isso pode ser a liberação de ácidos orgânicos solúveis, os quais podem complexar o Al e reduzir seu grau de toxicidade (RODRIGUES *et al.*, 2019).

### **3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho foi dividido em três capítulos. No primeiro capítulo foi apresentado o comportamento dos atributos químicos em um cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em função de fontes de Ca.

O segundo capítulo apresentou o desenvolvimento do *Eucalyptus dunnii* Maiden, em função de fontes de Ca.

O terceiro capítulo apresentou a avaliação do Al e suas formas no solo após a aplicação de fontes de Ca a longo prazo, em um cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de doses e formas de aplicação de fontes de cálcio, nos atributos químicos do solo; no desenvolvimento da planta e nas formas de alumínio, em cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden em um Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense, apresentando as tendências de pesquisa na área, bem como direcionar oportunidades de novos estudos sobre o tema.

### 4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO DO CAPÍTULO I

Avaliar o comportamento dos atributos químicos do solo a longo prazo em cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden após a utilização de doses e formas de aplicação de fontes de cálcio, como o calcário dolomítico, gesso agrícola e lama de cal, em um Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense.

### 4.3 OBJETIVO ESPECÍFICO DO CAPÍTULO II

Avaliar o desenvolvimento da planta a longo prazo, após o uso de doses e formas de aplicação de fontes de cálcio, como o calcário, gesso e lama de cal, no cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden em um Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense.

### 4.4 OBJETIVO ESPECÍFICO DO CAPÍTULO III

Verificar a influência de doses e formas de aplicação de fontes de cálcio, calcário dolomítico, gesso agrícola e lama de cal a longo prazo, nas formas de Al no solo, em cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden em um Cambissolo Húmico, que apresenta alto teor de Al trocável, no Planalto Sul Catarinense.

## 5 HIPÓTESES

Independentemente de doses a aplicação de calcário em superfície, seja em área total ou na faixa de plantio e este último com adição de gesso, promovem o fornecimento de nutrientes como o Ca e Mg e a redução da acidez do solo, em cultivo de eucalipto a médio e longo prazo.

A incorporação no sulco de plantio de calcário dolomítico e este acrescido com gesso agrícola, proporcionam o fornecimento de Ca e Mg em superfície e em subsuperfície, no cultivo de eucalipto a médio e longo prazo.

O resíduo industrial alcalino “lama de cal” em superfície na faixa de preparo, possui efeito semelhante ao calcário como corretivo da acidez do solo e fonte de Ca para plantios de eucalipto, a médio e longo prazo.

O gesso agrícola aplicado de forma isolada com incorporação no sulco de plantio, não afeta o pH do solo, mas promove o fornecimento de Ca e contribui na redução da acidez no solo, em superfície e em camadas mais profundas a médio e longo prazo em cultivo de eucalipto.

Doses e formas de aplicação de fontes de cálcio, como o calcário dolomítico, gesso agrícola e lama de cal, mesmo com a adição de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico em superfície em área total, promovem um melhor desenvolvimento da planta, no cultivo de eucalipto em um Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense.

O calcário dolomítico em superfície seja na área total, ou na faixa de plantio, como incorporado no sulco de plantio, com ou sem adição de gesso e a lama de cal, contribuem na redução do alumínio, tanto na forma disponível (extraído com  $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ ) como o trocável + não trocável e o Al com baixa cristalinidade ou amorfo, em cultivo de eucalipto.



## 6 **CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO COM CULTIVO DE EUCALIPTO TRATADO COM DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FONTES DE CÁLCIO**

### 6.1 INTRODUÇÃO

No Planalto Sul Catarinense, os solos são ácidos e apresentam baixa fertilidade natural, com baixo pH, alta CTC e teores elevados de H e Al (UBERTI, 2005). Assim, há necessidade de estudos relacionados à sensibilidade à acidez do solo e toxidez por Al das espécies florestais plantadas, visto que há uma grande variação entre elas, especialmente quanto à resposta à aplicação de corretivos (VARGAS; MARQUES, 2017).

A calagem neutraliza o Al do solo e fornece Ca e Mg como nutrientes, além de aumentar da CTC efetiva e reduzir a lixiviação de bases. Além disso, possibilita maior crescimento do sistema radicular das plantas, facilitando a absorção e a utilização dos nutrientes e da água (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). Em alternativa ao calcário, há a lama de cal, que é um resíduo da indústria de papel e celulose, que contém elevado teor de Ca, tornando-se desta forma um corretivo da acidez do solo (MAEDA; BOGNOLA, 2013). Mas, em sua composição há presença de Na, embora em baixa proporção, podendo ter potencial de salinidade e desagregação ao solo. Além disso, o baixo teor de Mg, pode exigir adubação complementar em relação a este nutriente. O gesso agrícola não aumenta o pH, mas pode diminuir a toxicidade do Al, especialmente pelo aumento da saturação relativa de Ca na CTC (ERNANI, 2016).

Ainda restam dúvidas sobre o comportamento e resposta de variáveis do solo após adição de diferentes quantidades e formas de aplicação de corretivos da acidez e complementos, em especial as alterações nos atributos químicos do solo relacionados à acidez, em cultivo juvenil até idade adulta de eucalipto, bem como avaliar se o fornecimento de cálcio, com suas doses e formas de aplicação, proporciona um melhor desenvolvimento e incremento em produtividade. Assim, apesar da expansão dos plantios de eucalipto no Sul do Brasil, poucos estudos têm buscado aprimorar o atual sistema de recomendação de adubação e calagem para cultivos dessa espécie na região (GUIMARÃES; FLORIANO; VIEIRA, 2015).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento dos atributos químicos do solo a longo prazo em cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden após a utilização de doses e formas de aplicação de fontes de cálcio, como o calcário dolomítico, gesso agrícola e lama de cal, em um Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.2.1 Descrição da área experimental

A área experimental encontra-se no município de Bocaína do Sul, no estado de Santa Catarina, na fazenda “Guarujá”, pertencente à empresa Klabin S/A, com coordenada 69° 36'70.0" S e 59° 99'80.0" W. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é Cfb, subtropical sem estação seca (ALVARES *et al.*, 2014) e altitude de 860 m. O solo é Cambissolo Húmico distrófico de textura argilosa e relevo ondulado.

Previamente à implantação do experimento, na média a camada 0 - 0,20 m apresentava: teor de argila: 350 g kg<sup>-1</sup>, MO: 40 g kg<sup>-1</sup>, pH (água): 4,1, Al: 10,7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, Ca: 0,25 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, Mg: 0,30 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, P: 2,6 mg dm<sup>-3</sup>, K: 75,5 mg dm<sup>-3</sup>, S: 11 mg dm<sup>-3</sup>, Zn: 0,45 mg dm<sup>-3</sup>, Cu: 0,8 mg dm<sup>-3</sup>, B: 0,45 mg dm<sup>-3</sup> e Mn: 5 mg dm<sup>-3</sup>; e na camada 0,20 - 0,40 m argila: 380 g kg<sup>-1</sup>, MO: 32 g kg<sup>-1</sup>, pH (água): 4,2, Al: 10,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, Ca: 0,15 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, Mg: 0,15 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, P: 1,1 mg dm<sup>-3</sup>, K: 57,5 mg dm<sup>-3</sup>, S: 14 mg dm<sup>-3</sup>, Zn: 0,25 mg dm<sup>-3</sup>, Cu: 0,8 mg dm<sup>-3</sup>, B: 0,35 mg dm<sup>-3</sup> e Mn: 3,5 mg dm<sup>-3</sup>.

O plantio das mudas ocorreu em outubro de 2015. A área recebeu segunda rotação com plantio de mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* Maiden (CL7003) de origem australiana. As mudas foram obtidas por propagação vegetativa de primeira geração procedentes de viveiro da empresa Rigesa S.A. As mudas foram transplantadas em espaçamento de 3,5 m entre linhas por 2,0 m entre plantas em área de segunda rotação que recebeu preparo inicial do solo por trator de esteira e subsolador, com haste de ângulo negativo e 4 pares de discos aradores, até 0,5 m de profundidade.

### 6.2.2 Tratamentos aplicados e Delineamento experimental

Segundo o “Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina” (CQFS – RS/SC, 2016) foi determinada a necessidade de aplicação de 5,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário para elevar o pH da água de camada 0 – 0,10 m, esperada para o período de cultivo de 8 anos, a 5,2, conforme indicado por Almeida; Ernani; Maçaneiro, (1999). Devido à aplicação prévia de 2,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário na superfície, em toda a área, esta quantidade foi subtraída da dose total necessária. Dessa forma, estabeleceu-se uma dose de corretivo de acidez de 3,5 t ha<sup>-1</sup> como dose de referência de calcário a ser aplicada. Assim, o tratamento testemunha

incluiu a aplicação de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico na superfície e em área total, seis meses antes da instalação do experimento.

A dose de gesso foi calculada para fornecer uma quantidade equivalente à metade da quantidade de Ca adicionado por meio do calcário dolomítico. No experimento foi utilizado como fontes de Ca, o calcário dolomítico, com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 56% (51% de Ca) e 1% de umidade, o gesso (33% de Ca) e a lama de cal, com 87% PRNT e 30,5% de umidade, conforme Pflieger; Cassol; Simonete, (2020). Desse modo, os tratamentos foram estabelecidos conforme descrito na Tabela 1. Nos tratamentos em que as fontes de Ca não foram aplicadas em toda a área, as mesmas doses pré-estabelecidas por hectare foram aplicadas de forma concentrada em áreas menores, na faixa ou sulco de plantio.

Tabela 1 — Descrição dos tratamentos e respectivas doses, materiais, forma e local de aplicação no solo.

Identificação	Corretivos	Dose	Aplicação	Forma
T1	Controle			
T2	CD	$3,5 \text{ t ha}^{-1}$	Superficial	AT
T3	CD	$1,75 \text{ t ha}^{-1}$	Superficial	FP
T4	CD	$3,5 \text{ t ha}^{-1}$	Superficial	FP
T5	LC	$3,5 \text{ t ha}^{-1}$	Superficial	FP
T6	CD + GA	$3,5 \text{ t ha}^{-1} + 2,75 \text{ t ha}^{-1}$	Superficial	FP
T7	CD	$1,75 \text{ t ha}^{-1}$	Incorporado	S
T8	CD + GA	$1,75 \text{ t ha}^{-1} + 1,38 \text{ t ha}^{-1}$	Incorporado	S
T9	GA	$1,38 \text{ t ha}^{-1}$	Incorporado	S

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Legenda: CD = Calcário Dolomítico; LC= Lama de Cal; GA= Gesso Agrícola; AT= Área Total; FP= Faixa de Plantio; S= Sulco de plantio.

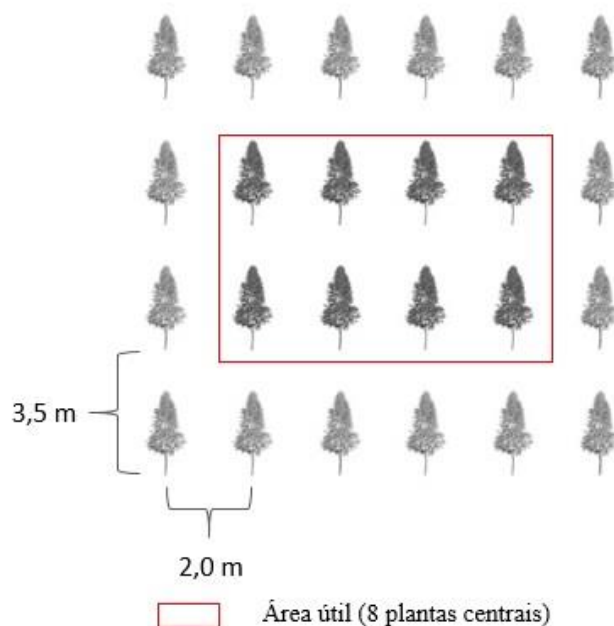
Os tratamentos foram aplicados em abril de 2016 com distribuição manual em superfície e aplicação no sulco após abertura com enxada, com distribuição manual dos produtos e fechamento do mesmo cobrindo-se com o solo que fora retirado. A aplicação na faixa de preparo das mudas foi superficialmente, correspondendo a um metro de faixa, na linha de plantio. A aplicação no sulco foi realizada após abertura com enxada até 0,20m de profundidade, com distribuição manual dos produtos e fechamento do mesmo cobrindo-se com o solo que fora retirado.

O gesso, calcário e lama de cal utilizados para o experimento foram analisados em espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de energia. Para esta análise, 2g de cada material foram triturados com almofariz e pistilo de ágata até atingir granulometria inferior a 0,25 mm. Assim as quantificações das proporções dos elementos para calcário, gesso e lama de cal, respectivamente em %, foram expressas como CaO: 50,83; 33,47; 93,15; MgO: 22,38; 3,16 e 1,42; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 4,55; 1,45; 0,48 dos produtos aplicados (PFLEGER, 2018), os valores dos demais elementos estão no APÊNDICE A.

A adubação mineral com N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (via nitrato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente) foi feita igualmente em todos os tratamentos, em três aplicações. Na primeira aplicação, realizada 10 dias após o plantio, foram fornecidos 8, 52 e 12 g por planta de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O; na segunda adubação, 90 dias após o plantio, foram fornecidos 30, 0 e 60 g por planta de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O; na terceira e última adubação, aos 365 dias após o plantio, foram aplicados 15, 7,5 e 45 g por planta de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

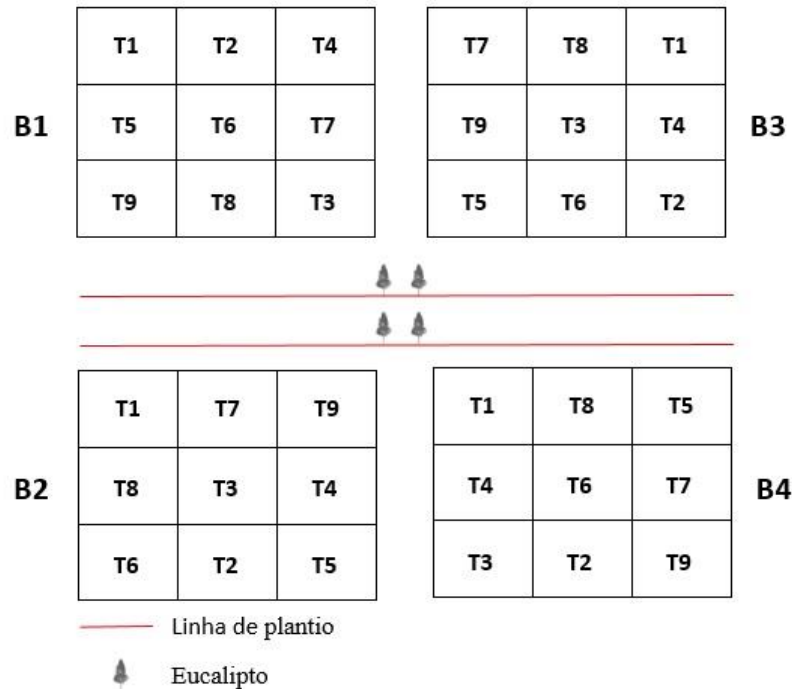
As unidades experimentais (UE) foram constituídas por 4 linhas de 6 plantas, com duas filas de duas plantas de bordadura. Assim, a área útil das UE correspondeu a 8 plantas (56 m<sup>2</sup>), sendo 4 plantas de cada uma das duas 2 linhas centrais. O experimento foi conduzido em blocos casualizados completos com 4 repetições, totalizando 36 EU, conforme figuras 1 e 2.

Figura 1 — Croqui de uma unidade experimental (UE) com 4 linhas e 6 plantas por linha, totalizando 24 indivíduos de *Eucalyptus dunnii* Maiden.



Fonte: Adaptado de Pflieger, (2018).

Figura 2 — Distribuição dos tratamentos com delineamento em blocos casualizados completos, totalizando 36 unidades experimentais.



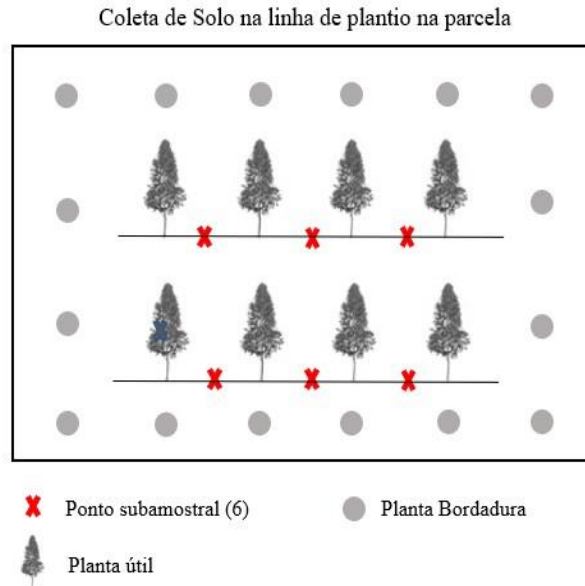
Fonte: Adaptado de Pflieger, (2018).

### 6.2.3 Amostragem e análises químicas do solo

Foram realizadas duas coletas de solo, a primeira foi após 31 meses da aplicação dos tratamentos, em novembro de 2018, amostras de solo foram compostas por 6 pontos subamostrais de solo na linha de plantio em todos os tratamentos com auxílio de pá de corte nas camadas de 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 m e trado holandês nas camadas de 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,40 m de profundidade, conforme figura 3.

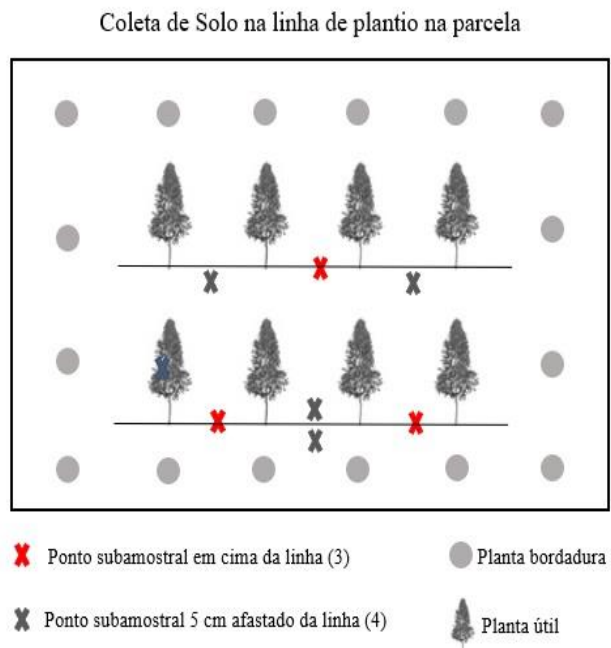
E a segunda coleta de solo foi após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em novembro de 2020, no espaço entre plantas na linha de plantio, tomando-se 7 subamostras no total, com 3 subamostras coletadas em cima do alinhamento e 4 subamostras levemente deslocadas do centro da linha (aproximadamente 5 cm deslocada da linha), sendo duas de cada lado, para compor uma amostra de solo, nas profundidades de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m, e 0,20 a 0,40 m, com auxílio do trado holandês, conforme figura 4.

Figura 3 — Croqui da primeira coleta de solo, realizada após 31 meses da aplicação dos tratamentos, em dezembro de 2018.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Figura 4 — Croqui da segunda coleta de solo, realizada após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em novembro de 2020.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Ainda na segunda coleta de solo foi realizada uma coleta na entrelinha de plantio, feita em todas as parcelas dos tratamentos onde a forma de aplicação foi em área total (Tratamentos 1 e 2), com 7 subamostras para compor uma amostra, nas profundidades de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; e 0,20 a 0,40 m, com auxílio do trado holandês (dados não apresentados, encontram-se nos APÊNDICES G e H). O solo foi preparado para análise mediante secagem em estufa de 65 °C e posteriormente foi moído e tamisado em peneira com malha de 2 mm.

Após processamento das amostras, foram realizadas as determinações de pH em água, extrações de Al, Ca e Mg trocáveis (KCl), e de P, K e Na extraíveis (Mehlich 1). O pH em água foi determinado em relação solo: água 1:1, seguindo a metodologia de Tedesco *et al.* (1995). Os valores de P, K e Na disponíveis foram extraídos por meio da solução do duplo ácido – Mehlich 1 (0,0125 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 0,050 mol L<sup>-1</sup> de HCl); a determinação de P foi realizada por espectrofotometria de absorção molecular, em comprimento de onda de 882 nm (MURPHY; RILEY, 1962), enquanto o K e o Na foram determinados por fotometria de chama (Digimed DM-62.) Os valores de Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos por solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, conforme metodologia de Tedesco *et al.* (1995); a determinação de Ca e Mg foi realizada espectrofotometria de absorção atômica (Analyst 200, PERKINELMER), enquanto o Al foi determinado por titulação com solução de NaOH 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. Os valores de H+Al, CTC's, a V% e m% foram calculados conforme equações presentes no manual de calagem e adubação para os estados do RS e SC (CQFS – RS/SC, 2016).

#### **6.2.4 Análise estatística**

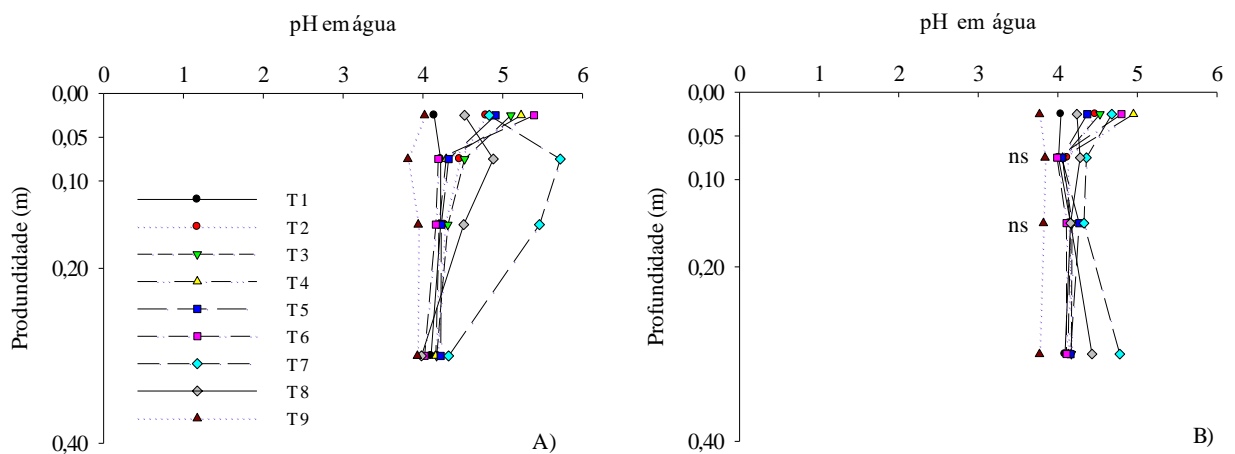
Os dados coletados foram inicialmente testados quanto à sua normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett. Quando necessário, foram normalizados pelo teste de boxcox. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Se significativos, foram comparados pelo teste de Scott-Knott, à probabilidade de erro de 5%. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software RStudio (RStudio Team, 2021) e pelo software Sisvar versão 5.8 (FERREIRA, 2014).

## 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.3.1 pH em água

A partir do pH em água, percebe-se que mesmo após dois e quatro anos ainda há efeito residual dos tratamentos aplicados, conforme a Figura 5, e os valores podem ser observados no APÊNDICE B.

Figura 5 — pH em água, nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A) e 56 meses (B) da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

\*ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Na avaliação após 31 meses da aplicação dos tratamentos, na camada superficial, até 0,05 m, observou-se aumento significativo no pH em água com o calcário em superfície, na faixa de plantio com as duas doses (T3 e T4) com 5,1 e 5,2, e no tratamento acrescido de gesso (T6) com 5,4, em relação ao tratamento controle (T1) com 4,1. Para as camadas de 0,05 a 0,10 e de 0,10 a 0,20 m foi verificado o aumento do pH em água com a aplicação da menor dose de calcário incorporado no sulco (T7), com 5,7 e 5,4, em relação ao tratamento controle (T1), com 4,22 para as duas camadas. Na camada de 0,20 a 0,40 m, o tratamento controle (T1) com 4,10;



a maior dose de calcário em superfície (T2) com 4,18; o calcário em dose menor e maior na faixa de plantio (T3 e T4) com 4,1 para ambos; a aplicação de lama de cal (T5) com 4,2 e a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) com 4,3, tiveram aumento no pH em água em relação aos outros tratamentos (Figura 5, A).

Na avaliação após 56 meses da aplicação dos tratamentos, na camada superficial, até 0,05 m, foi observado aumento significativo no pH em água com calcário em superfície, na faixa de plantio com dose maior (T4) com 4,9; no tratamento acrescido de gesso (T6) com 4,8 e com a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) com 4,6 em comparação ao tratamento controle (T1) com 4,0. Para as camadas de 0,05 a 0,20 m não houve resposta significativa para pH em água. E na camada de 0,20 a 0,40 m, a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) e a menor dose de calcário acrescido da menor dose de gesso incorporados no sulco (T8) tiveram aumento no pH em água, com 4,7 e 4,4, respectivamente, em relação ao tratamento controle (T1) com 4,0 (Figura 5, B).

A lama de cal (T5) obteve resposta significativa alcançando 4,22 de pH em água na avaliação após 31 meses da aplicação dos tratamentos, na camada de 0,20 a 0,40 m, em relação aos tratamentos com as maiores e menores doses de calcário combinada com gesso em superfície na faixa de plantio (T6) e (T8), bem como aplicação somente de gesso incorporada no sulco de plantio (T9), demonstrando seu efeito residual ao longo de tempo e sua eficiência em profundidade.

O gesso agrícola, em sua aplicação isolada incorporada no sulco de plantio (T9) não apresentou resposta significativa em ambas as avaliações e nas camadas avaliadas, efeito esse pode ser atribuído ao fato de que o gesso não cria cargas no solo, portanto não alterando o pH em água.

De acordo com o manual de adubação e calagem para RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016), as espécies florestais são tolerantes ao  $Al^{3+}$  e têm menores respostas à correção da acidez. Para estas não há pH de referência, apenas indicação de calagem para reposição de Ca e Mg quando a saturação por bases é menor que 40%.

O aumento do pH do solo após aplicação de calcário se deve à dissociação do carbonato de Ca ou de Mg, quando em contato com a água e ácidos do solo (H, Al), resultando em íons  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ , bicarbonatos ( $HCO_3^-$ ) e hidroxilas ( $OH^-$ ). Após esta reação, ocorre redução na concentração de  $H^+$  no solo pela reação com  $HCO_3^-$  e  $OH^-$ , formando água e gás carbônico (CAIRES; JORIS, 2016).

Em estudo realizado por Zandoná *et al.* (2015), em que se avaliou a influência da aplicação de gesso agrícola, com e sem calcário, nos atributos químicos do solo e na

produtividade de milho e soja, sob sistema plantio direto, foi observado que a aplicação de calcário aumenta o pH na camada de 0-10 cm de profundidade, sem qualquer efeito pela aplicação de gesso agrícola.

Os principais efeitos da calagem restringem-se à camada corrigida, contudo são observados efeitos de migração em profundidade em algumas situações. Rheinheimer *et al.* (2018) observaram redução do pH após aplicação de calcário em superfície, atribuindo este resultado aos altos índices pluviométricos e à não perturbação do solo, o que garante uma boa distribuição e continuidade de poros.

A baixa solubilidade e a liberação de cargas negativas resultam em baixa mobilidade do calcário e seus constituintes no solo. Contudo, migrações verticais podem ser observadas em certas condições, principalmente em solos bem estruturados fisicamente. Rheinheimer *et al.* (2018) observaram que a migração de calcário e seu comportamento residual foram proporcionais à taxa de aplicação de calcário e sua aplicação fracionada. Destacando ainda que a aplicação superficial de calcário em solo re-acidificado sob plantio direto promoveu a formação de uma frente alcalinizante, modificando os atributos da acidez do solo até 60 cm.

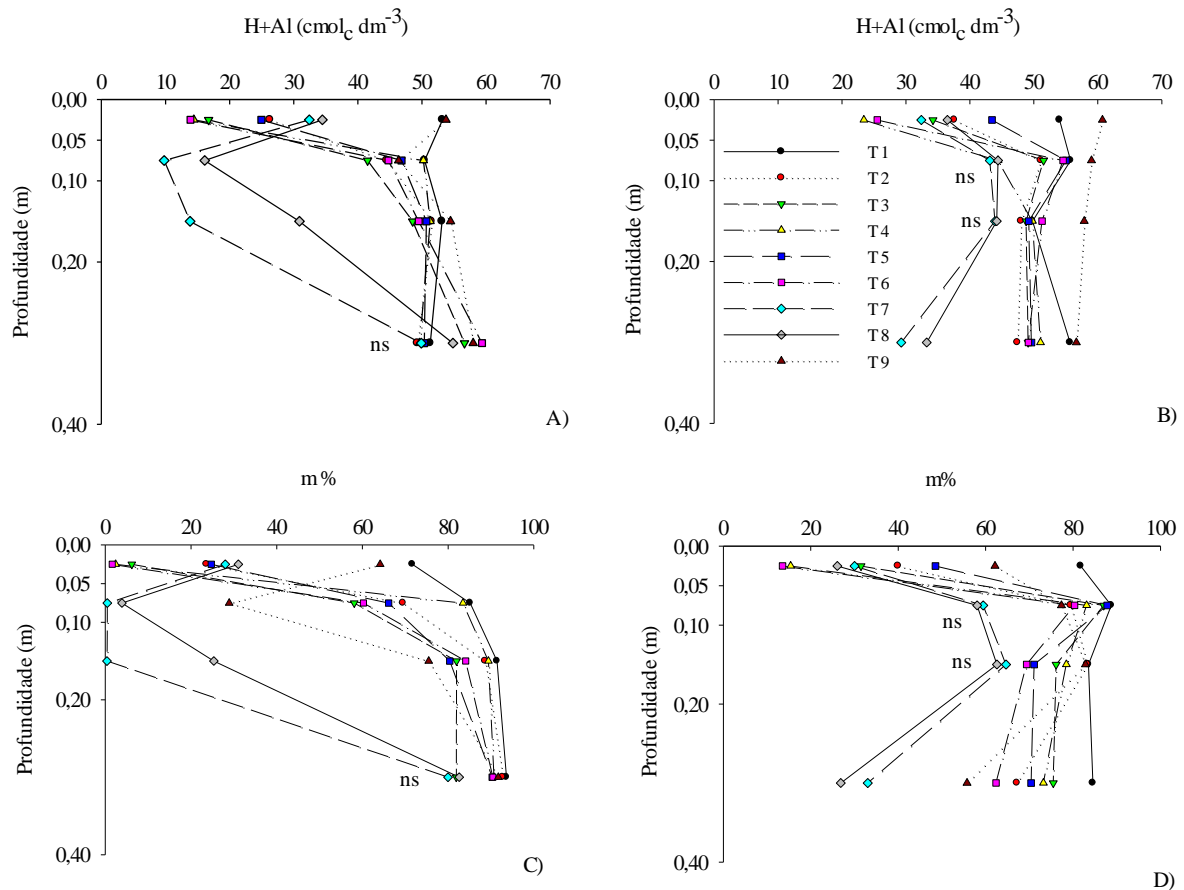
Resultados significativos de pH em água foram verificados, por Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), avaliando no início deste mesmo experimento. Onde que na avaliação após 9 meses da aplicação dos tratamentos, em janeiro de 2017, observaram que tanto na camada de 0 a 0,20 quanto na camada de 0,20 a 0,40 m, a aplicação de calcário incorporado no sulco de plantio das mudas (T7) aumentou significativamente o pH em água, com 5,5 e 4,8, respectivamente, sendo o único tratamento que alterou significativamente o pH em relação ao tratamento controle (T1) no período avaliado. Este mesmo tratamento, no presente estudo, nas avaliações aos 31 e 56 meses após a aplicação dos tratamentos, também apresentaram aumento significativo do pH em água, com resultados semelhantes.

Segundo, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), os resultados obtidos quanto à correção da acidez do solo na aplicação incorporada, devem-se à concentração do produto em uma área menor, o que contribuiu para seu efeito em toda a profundidade avaliada.

### **6.3.2 Acidez Potencial (H+Al) e Saturação por Alumínio (m%)**

A acidez potencial do solo - H+Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e a saturação por Al - m% nas avaliações aos 31 e 56 meses após a aplicação dos tratamentos, estão na Figura 6, e os valores encontram-se no APÊNDICE C. Em ambos parâmetros, na avaliação aos 31 meses após aplicação dos tratamentos, para a camada 0,20 a 0,40 m, não teve resposta significativa.

Figura 6 — Acidez Potencial (H+Al) e Saturação por Al (m%), nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A e C) e 56 meses (B e D), respectivamente, da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

\*ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Para H+Al, na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, os tratamentos mais eficientes na redução da H+Al foram o calcário em dose menor e maior na faixa de plantio (T3 e T4), e o com a maior dose de calcário acrescido da maior dose de gesso na faixa de plantio (T6) que chegaram a reduzir em até 73,8%, na camada superficial até 0,05 m em relação ao tratamento controle (T1). Para as camadas de 0,05 a 0,10 e de 0,10 a 0,20m, a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7), com 9,80 e 13,84 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente, e a menor

dose de calcário acrescido da menor dose de gesso incorporados no sulco (T8), com 16,1 e 30,8  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente, reduziram a H+Al em média de 77,2% e 54,9%, respectivamente nas camadas, em relação ao tratamento controle (T1) (Figura 6, A).

Na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, a H+Al, a exceção do tratamento com aplicação apenas do gesso (T9), todos os tratamentos com doses e formas de aplicação de calcário dolomítico, com adição de gesso e com lama de cal, reduziram H+Al em até 56,7%, na camada superficial até 0,05 m em relação ao tratamento controle (T1). De 0,20 a 0,40 m, a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) e a menor dose de calcário acrescido da menor dose de gesso incorporados no sulco (T8), reduziram H+Al em até 47,4% em relação ao tratamento controle (T1) (Figura 6, B).

A m% na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos também teve alteração em função dos tratamentos. Em superfície, até 0,05 m, variou de 71,65% no tratamento controle (T1) para 6,18% e 2,41% após aplicação de calcário com menor e maior dose na faixa de plantio (T3 e T4), respectivamente, e 1,61 % com a maior dose de calcário acrescido da maior dose de gesso na faixa de plantio (T6). A m%, de 0,05 a 0,10 m, reduziu de 85,13% no tratamento controle (T1) para 0,46 % e 3,85%, nos tratamentos com calcário sem ou com adição de gesso no sulco (T7 e T8, respectivamente). Em subsuperfície, de 0,10 a 0,20 m, a m% reduziu de 91,42 % no tratamento controle (T1) para 0,38% com a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7). O comportamento da m% está descrito na Figura 6, letra (C).

Na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, a m% também teve alteração em função dos tratamentos. Na superfície, até 0,05 m, variou de 81,76% no tratamento controle (T1) para 15,38% com a maior dose de calcário na faixa de plantio (T3), e para 13,52 % com a maior dose de calcário acrescido da maior dose de gesso na faixa de plantio (T6). Em subsuperfície, de 0,20 a 0,40 m, a m% reduziu de 84,52 % no tratamento controle (T1) para 33,04% com a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) e para 26,86% com a menor dose de calcário acrescido da menor dose de gesso incorporados no sulco (T8). O comportamento da m% está descrito na Figura 6, (D).

Neste estudo para a lama de cal (T5), um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose, que possui como principal constituinte o Ca, mostrou se com eficiência na redução de H+Al nas avaliações aos 31 e 56 meses após a aplicação dos tratamentos, e m% aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, em superfície até 0,05 m, por ser corretivo da acidez do solo, como observado na Figura 6.

Entretanto, podemos observar no estudo que para o gesso agrícola aplicado de forma isolada (T9), não houve resposta significativa, devido ao fato que este produto não cria cargas no solo para aumentar o seu pH e assim reduzir a acidez do solo, como apresentado na Figura 6.

O efeito da calagem para neutralização da acidez potencial é bem conhecido na literatura. Em trabalho com aplicação de calcário e gesso em superfície, sob sistema de plantio direto, Soratto; Crusciol, (2008) observaram que o calcário promoveu diminuição da H+Al. Resultados semelhantes foram observados por Bambolim et al. (2015), sob condições de preparo convencional do solo.

Em estudo semelhante, Gabriel *et al.* (2018), que avaliaram a resposta de mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*, a doses isoladas e combinadas de calcário e gesso em solo ácido, observaram redução dos teores de  $Al^{3+}$  e H+Al em função do calcário; porém, a aplicação de gesso não afetou os teores de  $Al^{3+}$  e de H+Al.

Vargas; Marques, (2017) salientaram efeito significativo para a redução da m% após aplicação de calcário e gesso em espécies florestais, em um Cambissolo Háplico, atingindo valores nulos com aplicação de dose de calcário para elevação da V% até 50%. Com a aplicação de gesso, houve redução da m% por elevar os teores de Ca e, conseqüentemente, a CTC, e não por reduzir teores de  $Al^{3+}$ .

A neutralização do Al também pode ser obtida pela utilização de resíduos florestais, como a lama de cal. Avaliando a influência das cinzas de biomassa florestal nos atributos de solos ácidos do planalto catarinense e em plantas de *E. viminalis*, Silva *et al.* (2009) observaram que as doses avaliadas não alteraram os atributos físicos dos solos nem o pH, mas houve redução da m%. Assim, podemos salientar a importância do uso de resíduos florestais como potencial corretivo da acidez do solo.

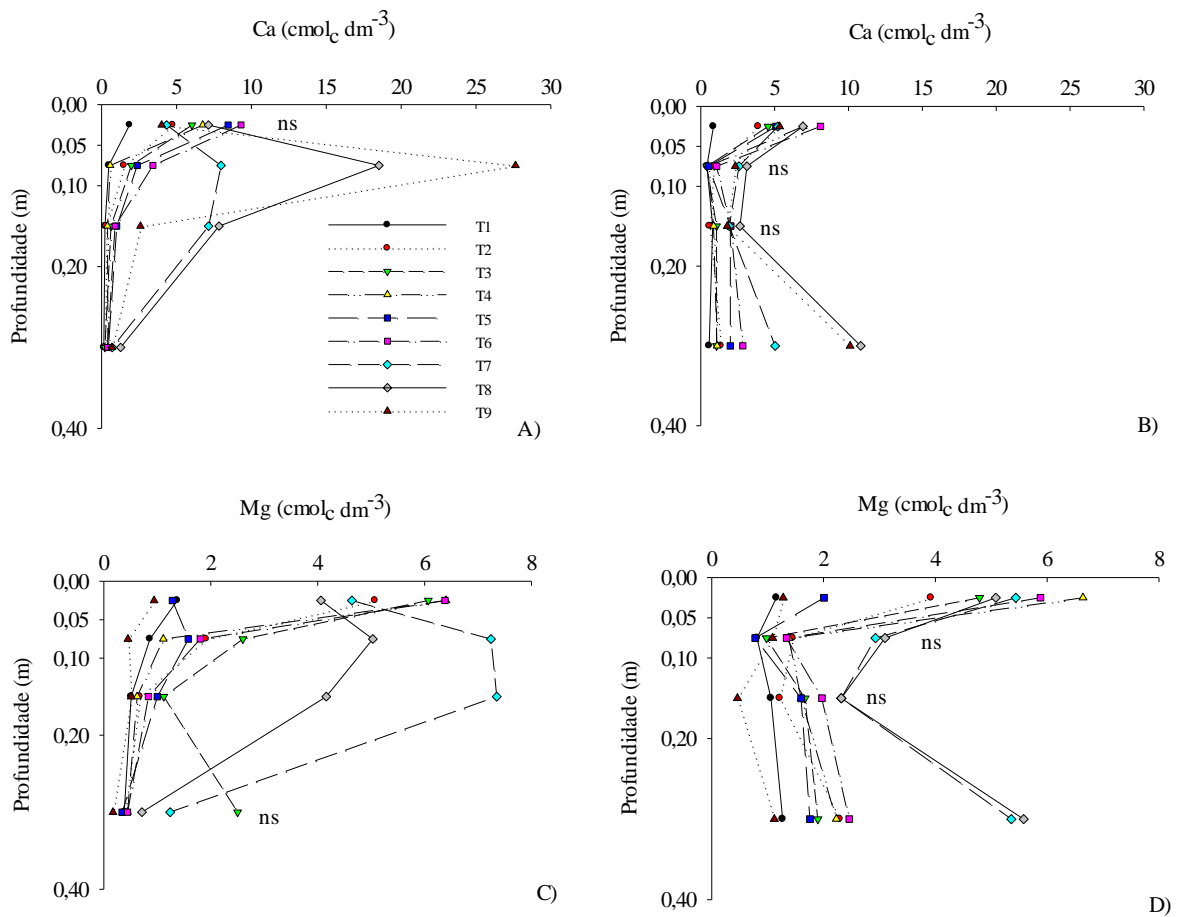
De modo geral, no que tange à acidez do solo, a aplicação de calcário incorporado no sulco de plantio com menor dose (T7) e menor dose de calcário adicionado a menor dose de gesso incorporado no sulco de plantio (T8) apresentaram maiores respostas de correção da acidez em profundidade em função da incorporação do material no solo, alcançando camadas mais profundas, e apresentando efeito residual ao longo do tempo.

Independentemente da melhora na correção do solo em profundidade comparado com tratamentos de aplicação em superfície, sua correção está limitada à faixa do sulco de plantio, de onde foram retiradas as amostras de solo, sendo uma área tratada bem menor que os outros tratamentos, levando em conta que o crescimento radicular abrange áreas maiores, adjacentes e com ausência das fontes de Ca.

### 6.3.3 Teores de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Teores de Ca e de Mg ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), nas avaliações após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, estão ilustrados na Figura 7, e os teores podem ser observados no APÊNDICE D.

Figura 7 — Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A e C) e 56 meses (B e D) da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

\*ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância, \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Os teores de Ca na camada superficial, até 0,05m, não apresentaram resposta significativa, mas foram semelhantes entre os tratamentos, com amplitude de teores entre 1,86 e 9,30  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  (T1 e T6). De 0,05 a 0,10 m. Os teores de Ca encontrados variaram de 0,48

$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no tratamento controle (T1) a  $18,51 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  com a menor dose de calcário acrescido da menor dose de gesso incorporados no sulco (T8) e  $27,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  com a menor dose de gesso incorporados no sulco (T9). De 0,10 a 0,20 m, os teores de Ca variaram de  $0,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no tratamento controle (T1) a  $7,14 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  com a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) e  $7,83 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  com a menor dose de calcário acrescido da menor dose de gesso incorporados no sulco (T8). E de 0,20 a 0,40 m, o teor de Ca variou de  $0,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no tratamento controle (T1) a  $1,26 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  com a menor dose de calcário acrescido com dose menor de gesso incorporados no sulco (T8), em função de sua incorporação e da solubilidade do gesso. Portanto, em camadas de maior profundidade, os incrementos no teor de Ca ocorreram nos tratamentos em que o modo de aplicação foi no sulco de plantio, onde as fontes adicionadas foram: calcário, calcário acrescido de gesso e somente gesso (T7, T8 e T9). O comportamento do Ca está descrito na Figura 7, (A).

Na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, em superfície até 0,05m, para o teor de Ca todos os tratamentos foram superiores ao tratamento controle (T1), o que demonstra efeito residual das fontes e condicionante do solo aplicadas, tanto aplicado de forma superficial quanto no sulco de plantio, bem como as doses aplicadas. E de 0,20 a 0,40 m houve aumento no teor do Ca com a aplicação de calcário na menor dose no sulco (T7), de  $5,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e com a menor dose de calcário adicionado à menor dose de gesso no sulco (T8), de  $5,58 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , em relação ao tratamento controle (T1) com  $1,27 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Estes resultados evidenciam o efeito residual com o uso da aplicação no sulco de plantio e a adição de gesso. Comportamento este observado na Figura 7, (B).

O resíduo alcalino lama de cal, no tratamento com aplicação de  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$  na faixa de plantio, com a lama de cal (T5), na camada superficial até 0,05 m de profundidade, apresentou aumento significativo no teor de Ca na avaliação aos 56 meses após aplicação dos tratamentos, com  $5,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  em relação ao tratamento controle (T1), com  $0,86 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , comportamento este observado na Figura 7, (B).

Aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, na camada superficial, até 0,05 m, os maiores teores de Mg enquadraram-se com a aplicação de calcário em superfície, com menor e maior dose na faixa de plantio (T3 e T4), com teores de  $6,07$  e  $6,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente e com a maior dose de calcário acrescido da maior dose de gesso na faixa de plantio (T6), com  $6,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . De 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, houve incremento do teor de Mg com a menor dose de calcário incorporado no sulco de plantio (T7), com valor de  $7,24$  e  $7,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. Como já esperado, devido à ausência do elemento nos materiais a

aplicação de lama de cal (T5) e de gesso (T9) não causaram incrementos no teor de Mg, sendo iguais ao tratamento controle (T1). O comportamento do Mg está apresentado na Figura 7, (C).

A avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, o Mg teve significativa alteração em função dos tratamentos. De 0 a 0,05 m houve aumento no teor de Mg, nos tratamentos avaliados, sob doses e formas de aplicação de calcário e calcário com adição de gesso, chegando a teor de  $6,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , com exceção dos tratamentos: com aplicação de lama de cal (T5) e apenas com aplicação de gesso (T9). De 0,20 a 0,40 m, observa-se aumento significativo com a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7), com valor  $5,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e com a aplicação da menor dose de calcário e gesso incorporados no sulco (T8), com valor  $5,58 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . O comportamento do Mg está apresentado na Figura 7, (D).

Em trabalho conduzido por Soratto; Crusciol (2008) verificou-se que a aplicação superficial de calcário diminuiu a acidez e elevou os teores de Ca e Mg trocável, principalmente nas camadas superficiais do solo. A aplicação de gesso agrícola aumentou os teores de Ca trocável e também de  $\text{S-SO}_4^{2-}$ , além de diminuir os teores de Al no solo.

O gesso, por ser um sal neutro e não alterar o pH do solo, possui uma dinâmica diferente dos demais corretivos. De acordo com Pauletti *et al.*, (2014), que buscaram avaliar em longo prazo a aplicação conjunta de gesso e calcário nos atributos químicos do solo em rotação de culturas no sistema de plantio direto. Sob aplicação de calcário, o  $\text{Ca}^{2+}$ , em razão da sua baixa mobilidade no solo, acumulou-se na camada superficial de 0-10 cm, independentemente do tratamento aplicado. Porém, o gesso proporcionou incremento desse nutriente em todas as profundidades proporcionalmente às doses aplicadas, diferindo principalmente nas maiores profundidades, demonstrando que esse elemento se deslocou no solo pela ação desse insumo.

Deste modo, podemos enfatizar que a aplicação de gesso em adição ao calcário contribui para o deslocamento do Ca em profundidade, devido principalmente à maior solubilidade do gesso agrícola.

Em estudo sobre a influência da aplicação de gesso agrícola, com e sem calcário, nos atributos químicos do solo e na produtividade de milho e soja, em sistema plantio direto, Zandoná *et al.* (2015), relataram que o gesso agrícola aumenta os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e redistribui o  $\text{Mg}^{2+}$  para as camadas de 10-20 cm e 20-40 cm. Além disso, quando o gesso foi aplicado associado ao calcário, o teor de Ca, na camada de 10-20 cm, ficou próximo a  $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , aproximadamente 25 % superior quando comparado à área onde foi aplicado gesso sem calcário, indicando a translocação vertical do Ca para essa camada.



Ao contrário do presente estudo, Lima *et al.* (2017) que também estudaram efeitos da lama de cal, encontraram que sua aplicação adicionada de fertilizante promoveu melhoria nos teores de Ca e Mg no solo, sendo este recomendável na substituição do calcário.

Em estudo recente realizado por Rocha *et al.* (2019), objetivando a realização de uma revisão para compreender os possíveis benefícios e oportunidades das aplicações de Ca e Mg em florestas plantadas por meio de materiais ricos em cal, gesso ou outro cátion básico, com foco específico em plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* altamente produtivas e de rotação curta. Os autores salientaram que o principal benefício da aplicação de cal nessas florestas é o aumento na disponibilidade de Ca e Mg e não o aumento do pH do solo ou diminuir a saturação ácida. A calagem para aumentar o pH do solo pode ser importante apenas em solos com níveis muito altos ou tóxicos de Mn solubilizado, pois espécies de ambos os gêneros parecem ter apenas uma capacidade limitada de evitar a absorção desse nutriente quando presente em altas concentrações na solução do solo. Os autores destacam ainda que apesar do fato de que pode não haver resposta a um aumento do pH do solo, as plantações de eucalipto e pinus demandam grandes quantidades de Ca e Mg. No entanto, a demanda de Ca nas plantações de eucalipto é duas vezes maior do que nas plantações de Pinus.

No mesmo trabalho, porém avaliando após 9 meses da aplicação dos tratamentos, em janeiro de 2017, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), relataram incrementos no teor de Ca contando com 12,2; 11,4 e 8  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  nos tratamentos com calcário combinado com e sem gesso (T7 e T8) e gesso (T9), respectivamente, na camada de 0 a 0,20 m. E para os mesmos tratamentos com exceção do tratamento com gesso (T9), teores de Ca de 3,7; 7,8 e 8,3  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  na camada de 0,20 a 0,40 m. Com isso, verificamos assim que, no presente estudo, estes mesmos tratamentos em avaliações após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, apresentaram resultados semelhantes e até por vezes dobrando os valores, demonstrando assim o efeito residual das fontes utilizadas nestes tratamentos.

Em relação aos incrementos nos teores de Ca no solo, onde houve aumento nos tratamentos concentrados no sulco e incorporados, tanto para calcário, calcário e gesso, quanto para gesso isolado, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020) atribuem que os teores aumentam à medida que aumenta a quantidade de produto aplicado, além de uma menor área de aplicação destes produtos.

Quanto ao o teor de Mg, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), após 9 meses da aplicação dos tratamentos, em janeiro de 2017, observaram aumento significativo pela aplicação de calcário, independentemente da dose e forma de aplicação na camada de 0 a 0,20 m, chegando a um teor de até 7,8  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  com calcário incorporado no sulco de plantio (T7). E na camada

de 0,20 a 0,40 m os tratamentos com maiores doses de calcário combinadas com maiores doses de gesso em superfície na faixa de plantio (T6), e calcário combinado com e sem gesso (T7 e T8), foram mais eficientes, com 4,09; 6,61 e 6,62  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , demonstrando assim resultados semelhantes ao do presente estudo.

Conforme Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), a presença de Mg em profundidade de 0,20 a 0,40 m ocorreu somente com altas doses de calcário e gesso combinados, além das formas incorporadas de calcário. Em relação à alta dose de calcário aplicada, aliada a uma alta dose de gesso na superfície, a grande quantidade aumenta o teor de Ca na solução do solo, podendo aumentar a lixiviação de outros minerais, como o Mg, no perfil do solo.

O calcário dolomítico, o gesso agrícola e a lama de cal testados no presente estudo possuem Ca em sua constituição, justificando os aumentos observados no solo. Por outro lado, o aumento dos teores de Mg com a aplicação de calcário, independente da dose e modo de aplicação já era esperado, visto que o calcário utilizado foi a dolomita, com presença de Mg em sua composição.

Contudo, neste estudo salienta-se que a aplicação em superfície de calcário, calcário com adição de gesso, lama de cal e o gesso aumentam os teores de Ca e Mg, resultados esses de médio e longo prazo formando assim um gradiente de conteúdo ao longo do perfil da superfície.

E o calcário incorporado em dose maior ou em conjunto com a aplicação de gesso, promove aumento nos teores de Ca e Mg, em profundidade, enfatizando o efeito residual desses produtos, ao longo dos anos. E que apesar de ser a melhor correção de perfil em relação às aplicações superficiais, sua correção limita-se à faixa do sulco de plantio, onde as amostras de solo foram extraídas, sendo menor área tratada em relação aos demais tratamentos. No entanto, devemos considerar o crescimento radicular que abrange áreas maiores, adjacentes e sem fontes de Ca, além da ação a longo prazo das fontes de Ca aplicadas na superfície, que apresentaram resultados ao longo dos anos.

#### **6.3.4 Potássio (K), sódio (Na) e fósforo (P)**

Os teores de K, o Na e do P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) encontrados até a profundidade de 0,40 m após 31 meses e 56 meses da aplicação dos tratamentos, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 — Teores de Potássio (K), Sódio (Na) e Fósforo (P) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Profundidade (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
K (mg dm <sup>-3</sup> ) – 31 meses									
0 – 0,05	265,0 a	189,5 b	199,0 b	159,5 b	146,5 b	135,0 b	294,5 a	205,5 b	223,5 a
0,05 – 0,10	162,0	125,0	136,5	97,5	113,0	95,0	140,0	105,5	122,0
0,10 – 0,20	94,0	89,0	95,0	91,5	129,8	89,5	92,0	84,0	81,5
0,20 – 0,40	85,5	87,5	104,0	78,5	112,0	113,5	89,5	71,5	67,0
K (mg dm <sup>-3</sup> ) – 56 meses									
0 – 0,05	123,0	134,5	110,0	104,5	113,5	98,0	122,0	104,0	125,5
0,05 – 0,10	89,0	98,5	91,0	93,0	98,0	72,0	86,5	88,5	92,5
0,10 – 0,20	88,0	87,5	93,5	90,5	103,5	71,0	85,0	77,5	80,5
0,20 – 0,40	104,5	107,5	96,0	91,0	110,5	85,0	95,5	88,0	102,0
Na (mg dm <sup>-3</sup> ) – 31 meses									
0 – 0,05	8,5 b	9,5 b	8,0 b	9,0 b	19,5 a	11,5 b	9,0 b	11,5 b	9,0 b
0,05 – 0,10	9,5 b	7,5 b	6,5 b	6,0 b	9,0 b	7,5 b	11,5 a	15,0 a	12,0 a
0,10 – 0,20	6,5 b	6,5 b	6,0 b	5,0 b	9,0 a	6,0 b	8,5 a	8,0 a	8,5 a
0,20 – 0,40	7,0	6,0	5,5	5,0	8,5	6,5	6,5	6,5	5,5
Na (mg dm <sup>-3</sup> ) – 56 meses									
0 – 0,05	8,0 b	7,0 b	7,5 b	7,5 b	11,5 a	8,5 b	9,0 b	9,0 b	7,5 b
0,05 – 0,10	6,0	6,0	5,5	5,0	7,5	5,0	5,5	6,0	5,5
0,10 – 0,20	6,0 b	5,0 b	5,5 b	5,0 b	7,5 a	4,5 b	5,0 b	5,0 b	5,0 b
0,20 – 0,40	6,0	6,5	6,5	5,0	8,5	6,0	8,5	8,0	8,0
P (mg dm <sup>-3</sup> ) – 31 meses									
0 – 0,05	11,53	8,83	9,98	10,46	18,52	13,84	10	10,5	16,26
0,05 – 0,10	7,76 c	6,92 c	8,47 c	9,21 c	8,25 c	6,62 c	6,88 c	21,82 b	36,21 a
0,10 – 0,20	6,84	5,64	6,24	5,12	6,24	4,46	4,61	10,6	16,34
0,20 – 0,40	5,98	3,47	4,36	3,02	3,88	3,98	2,5	4,04	4,2
P (mg dm <sup>-3</sup> ) – 56 meses									
0 – 0,05	5,49	5,56	4,16	4,89	4,62	6,20	4,50	7,38	7,38
0,05 – 0,10	3,42	3,83	3,08	3,50	3,26	2,84	4,01	3,55	4,30
0,10 – 0,20	3,02	2,96	3,82	3,37	3,35	3,02	2,47	3,08	3,64
0,20 – 0,40	3,81	4,38	4,53	8,07	4,01	4,11	4,07	5,28	9,28

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Quanto ao K na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, houve diferenças entre tratamentos apenas na camada superficial 0 a 0,05m, em que o tratamento controle (T1), com a menor dose de calcário assim como menor dose de gesso incorporado no sulco (T7 e T9) foram superiores aos demais tratamentos. Apresentando alta variação nos teores de K, os quais variaram de 135,0 mg dm<sup>-3</sup> a 294,5 mg dm<sup>-3</sup> (T6 e T7, respectivamente). Na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, não houve resultado significativo para o K (Tabela 2).

O Na para a avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, diferenças estatísticas ocorreram, com destaque para os teores obtidos com a aplicação de lama de cal (T5) na camada superficial de 0 a 0,05 m (Tabela 2). Nesta camada superficial o T5 apresentou conteúdo de Na 51,3 % superior à média dos demais tratamentos. De 0,05 a 0,10 m, 0,10 a 0,20m, a aplicação de lama de cal (T5), a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7), a menor dose de calcário e gesso incorporados no sulco (T8) e com a menor dose de gesso incorporados no sulco (T9) foram superiores aos demais tratamentos. E aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, houve aumento significativo para o Na com a aplicação de lama de cal (T5) nas camadas de 0-0,05m e 0,10-0,20m. Em relação a aplicação de lama de cal (T5), essa alteração apresentada quanto ao teor de Na é dada pela presença deste cátion na composição do material, originado de reações químicas da recuperação do licor de cozimento da indústria de celulose e papel.

Para o P na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, observou-se diferença estatística somente de 0,05 a 0,10 m, na qual o tratamento com a menor dose de gesso incorporados no sulco (T9) apresentou aumento do teor de P em relação ao tratamento controle (T1), com teores de 36,21 mg dm<sup>-3</sup> e 7,76 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabela 2). As doses e formas de aplicação dos demais corretivos não afetaram o conteúdo extraível de P no solo. Na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, não houve resultado significativo para o P em nenhuma camada avaliada.

A baixa interferência dos tratamentos sobre a disponibilidade de K decorre da ausência do nutriente nos três corretivos/condicionadores testados. A elevação do pH do solo pode, em função da exposição de cargas elétricas negativas, reduzir a quantidade de K em frações lábeis (ERNANI, 2016). Contudo, as baixas doses de corretivos e a adição de fertilizantes potássicos podem ter evitado este efeito.

Maciel; Alves; Silva, (2015) constataram redução nos teores de K após adição de resíduos da extração de celulose, demonstrando a possibilidade de perda desse íon por lixiviação, dado que o mesmo se movimenta pela água de drenagem, podendo atingir camadas

mais profundas, além de seguir uma ordem liotrópica de energia de retenção aos colóides, ocupando o quinto lugar nesta ordem.

Em trabalho com plantações de *Eucalyptus grandis* em solos argilosos e arenosos, sobre uma forte relação entre a disponibilidade de nutrientes no solo e absorção de nutrientes pelas plantas, Silva *et al.* (2011) encontraram que as raízes profundas exibiam maiores potencialidades por unidade de comprimento para absorver K e Ca. Com isso é possível ressaltar a importância do efeito da calagem com o passar do tempo, bem como a aplicação acrescida ou não de gesso podem fazer com que o Ca atinja camadas mais profundas do solo.

A lama de cal possui Na em sua constituição. Maciel; Alves; Silva, (2015) avaliaram o efeito da aplicação de resíduos da extração de celulose, dentre eles a lama de cal, nos atributos químicos do solo e da solução extraída de dois Latossolos Vermelhos, onde confirmaram que a lama de cal apresenta alta concentração de Na em sua composição ( $8,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), elevando estes teores trocáveis no solo e em solução. Apesar disso, como esse produto é aplicado de modo esporádico, os solos da região Serrana Catarinense assim como a maioria dos solos do Sul do Brasil apresentam elevada CTC e os índices pluviométricos são elevados, fazendo com que o excedente de Na possa ser retirado da área, e a chance de efeitos tóxicos do Na é muito baixa.

Já em relação ao P, Dias *et al.* (2015), avaliando à adubação fosfatada e a eficiência relativa de fosfatos naturais em solos com e sem calagem no crescimento inicial de eucalipto, concluíram que as plantas respondem pouco à calagem, porém sua utilização em conjunto com fosfato solúvel ou fosfato natural Bayovar melhora o desempenho das mudas e aumenta o teor de fósforo no tecido das plantas de eucalipto com 110 dias de crescimento.

A disponibilidade de P não foi afetada pela aplicação de calcário, ao contrário do observado pela aplicação de gesso. O gesso possui pequenas quantidades de P em sua constituição, podendo acarretar aumentos no solo (CAIRES *et al.*, 2011; CRUSCIOL *et al.*, 2014; GABRIEL *et al.*, 2018).

A maior parte do P acumulado nos componentes acima do solo é exportada por meio da colheita; assim, a aplicação de um fertilizante fosfatado é necessária para evitar uma diminuição na produção de madeira (ROCHA *et al.*, 2016).

### **6.3.5 Capacidade de Troca de Cátions (CTC) efetiva, CTC a pH 7,0 e saturação por bases (V%)**

As médias de CTC efetiva, CTC pH 7,0 e a V%, até a profundidade de 0,40 m após 31 meses e 56 meses da aplicação dos tratamentos, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 — Médias de Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva), Capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC pH 7,0) e Saturação por bases (V%) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Profundidade (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 31 meses									
0 - 0,05	13,39	13,64	13,46	13,93	13,14	16,32	13,32	15,66	14,64
0,05 - 0,10	12,41 c	11,97 c	11,73 c	11,81 c	12,66 c	13,37 c	15,70 c	24,46 b	37,38 a
0,10 - 0,20	11,72 c	11,17 c	11,18 c	11,79 c	12,03 c	12,18 c	14,82 a	15,91 a	13,43 b
0,20 - 0,40	11,64	11,42	13,48	11,06	11,23	11,99	10,89	12,56	12,44
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	12,87 b	13,78 b	14,05 b	16,34 a	14,08 b	16,45 a	15,32 a	16,61 a	17,88 a
0,05 - 0,10	13,40	13,10	12,78	12,72	13,16	13,58	13,81	14,53	15,54
0,10 - 0,20	12,91	12,68	12,45	12,66	12,99	13,82	12,68	13,72	14,21
0,20 - 0,40	13,61	12,28	13,21	13,26	13,43	14,71	15,41	20,60	22,36
CTC pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 31 meses									
0 - 0,05	57,15 a	36,62 c	29,35 c	28,02 c	35,14 c	29,96 c	42,21 c	46,23 b	59,30 a
0,05 - 0,10	52,21 b	48,28 b	46,46 b	52,17 b	51,07 b	50,23 b	25,42 c	40,00 b	74,81 a
0,10 - 0,20	54,12 a	52,71 a	50,56 a	52,53 a	53,06 a	51,46 a	28,61 b	43,14 a	57,80 a
0,20 - 0,40	52,06	50,11	59,64	50,7	51,44	60,51	52,09	57,01	59,03
CTC pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	56,40 b	45,77 c	43,88 c	37,30 c	50,91 c	39,78 c	43,40 c	48,79 c	67,71 a
0,05 - 0,10	57,24	53,72	53,16	46,55	56,62	57,18	48,88	50,86	62,7
0,10 - 0,20	51,92	50,06	50,81	52,51	53,14	55,48	48,42	49,41	60,36
0,20 - 0,40	57,79	51,4	52,34	54,61	53,71	54,66	39,96	49,52	68,17
V% - 31 meses									
0 - 0,05	6,80 c	31,14 b	43,10 a	49,26 a	33,06 b	54,14 a	26,32 b	27,78 b	9,50 c
0,05 - 0,10	3,56 c	7,96 c	11,22 c	3,79 c	8,73 c	11,96 c	61,68 a	58,44 a	35,87 b
0,10 - 0,20	1,85 c	2,47 c	4,33 c	2,42 c	4,98 c	3,84 c	52,48 a	33,46 b	6,32 c
0,20 - 0,40	1,45	1,67	4,43	2,09	2,13	2,02	4,94	4,04	1,74
V% - 56 meses									
0 - 0,05	4,36 b	20,56 b	22,06 b	39,32 a	14,98 b	37,09 a	28,15 a	25,72 a	10,54 b
0,05 - 0,10	2,62	5,37	3,11	5,12	2,81	4,77	16,49	15,45	5,62
0,10 - 0,20	4,30	4,43	5,75	5,21	8,02	7,68	9,84	10,66	4,04
0,20 - 0,40	3,72 b	9,68 b	6,24 b	6,74 b	7,81 b	10,30 b	31,98 a	32,34 a	15,60 b

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 - 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 - 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 - 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 - 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Para a CTC efetiva de 0,05 a 0,10m, foi observado diferença estatística na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, somente no tratamento com a menor dose de gesso incorporada no sulco (T9), com incremento de 66,9% em relação ao tratamento controle (T1). E de 0,10 a 0,20 m, foi observado um aumento da CTC no tratamento com a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) e com a menor dose de calcário acrescido da menor dose de gesso incorporados no sulco (T8), com incremento do 21 e 26,4%, respectivamente, em relação ao tratamento controle (T1).

Na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, em superfície até 0,05m, para a CTC efetiva os tratamentos: com a maior dose de calcário na faixa de plantio (T4), com a maior dose de calcário e gesso na faixa de plantio (T6), com as menores doses de: calcário, calcário acrescido de gesso e somente gesso incorporado no sulco (T7, T8 e T9), foram superiores aos demais tratamentos, com incremento na CTC efetiva chegando a 28% com a aplicação de gesso incorporado no sulco (T9), em relação ao tratamento controle (T1).

Na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, para a CTC pH 7,0, a menor de gesso incorporados no sulco (T9), o resultado foi semelhante ao tratamento controle (T1), de 0 a 0,05 m. Na camada de 0,05 a 0,10 m, a CTC pH 7,0 teve incremento de 30,2 %, verificado com a menor dose de gesso incorporados no sulco (T9) em relação ao tratamento controle (T1). E de 0,10 a 0,20 m, com exceção do tratamento com a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7), doses e formas de aplicação de calcário, calcário adicionado com gesso, apenas gesso e lama de cal, apresentaram resultados para CTC pH 7,0 semelhantes ao tratamento controle (T1). E na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos para a CTC pH 7,0, o tratamento com dose menor de gesso incorporados no sulco de plantio (T9) foi superior aos demais tratamentos, com incremento de 16,8%, em relação ao tratamento controle (T1).

A V% na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, apresentou incremento significativo na camada superficial, até 0,05 m, chegando a 54,14% com a maior dose de calcário e gesso na faixa de plantio (T6), em relação ao tratamento controle (T1 – 6,79%). De 0,05 a 0,10 m, a aplicação de calcário sem ou com gesso no sulco de plantio (T7 – 61,68% e T8 – 58,44%, respectivamente) apresentaram incrementos significativos para a V% em relação ao tratamento controle (T1 – 3,56%). E em subsuperfície, de 0,10 a 0,20 m, somente a aplicação de calcário no sulco de plantio (T7 – 52,48%) resultou em incremento significativo para a V% em relação ao tratamento controle (T1 – 1,85%).

A V% na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, apresentou incrementos significativos na camada superficial, até 0,05 m, chegando a 39,32% com a maior

dose de calcário na faixa de plantio (T4), em relação ao tratamento controle (T1 – 4,36%). Na camada de 0,20 a 0,40 m, a aplicação de calcário sem ou com gesso incorporado no sulco (T7 – 31,98% e T8 – 32,34%, respectivamente) apresentaram incrementos significativos para a V% em relação ao tratamento controle (T1 – 3,72%).

O aumento da CTC pH 7,0, ocorrido em alguns dos tratamentos, é fundamental para a fertilidade do solo, pois resulta em retenção e disponibilização de cátions como o  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , nutrientes importantes para o crescimento das plantas (ZANDONÁ *et al.*, 2015). Esse efeito provocado pelos corretivos é também evidenciado na V%.

Gabriel *et al.* (2018) observaram efeito de interação entre calcário e gesso para os teores de Ca e Mg trocáveis, V% e m%, onde a aplicação de calcário e gesso aumentou os teores de Ca trocável e a V%. Resultado similar foi observado neste estudo, em que a aplicação conjunta de calcário e gesso aumentou os valores da V%.

Chamam a atenção os elevados valores de CTC pH 7, em todo o perfil de solo. Da mesma forma, as grandes diferenças entre a CTC efetiva e a CTC pH 7, decorrentes dos elevados valores de H+Al (Figura 4 - B). O solo do experimento, assim como ocorre em grande parte da região Serrana Catarinense, possui elevado conteúdo de M.O. A liberação de grande quantidade de  $\text{H}^+$  estrutural com a elevação do pH, de grupos carboxílicos e fenólicos de compostos orgânicos, pode ser decorrente da elevada CTC potencial do solo em questão (MOTTA; MELO, 2019).

#### 6.4 CONCLUSÕES

A utilização de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico em superfície em área total, acrescido de doses e aplicação em superfície seja em área total ou na faixa de plantio e este último com adição de gesso, reduzem parâmetros da acidez do solo e aumentaram os teores de Ca e Mg do solo, porém esses efeitos em geral são restritos à camada superficial, até 0,05 m, do Cambissolo Húmico, enfatizando o efeito residual após os períodos avaliados.

O uso de apenas  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico em superfície em área total, prática comum na região de abrangência do estudo, não elimina o teor de H+Al e a saturação de Al (m%), em cultivo de eucalipto a longo prazo, em Cambissolo Húmico.

A incorporação no sulco de plantio de calcário dolomítico, com ou sem a adição de gesso agrícola, além do uso de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico em superfície em área total, reduz a acidez do solo e aumenta os teores de Ca e Mg nas camadas avaliadas, sendo assim eficaz a médio e longo prazo.



A lama de cal, mesmo em adição de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico em superfície em área total, é uma alternativa ao calcário, pois diminui a acidez do solo e fornece Ca em superfície, mas sua aplicação aumenta também o conteúdo de sódio.

O gesso agrícola aplicado isoladamente com incorporação no sulco de plantio, mesmo com a utilização de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico em superfície em área total, proporciona alterações nos atributos químicos no perfil do solo, como aumento do teor de Ca, CTC efetiva, CTC a pH 7,0 e teores de K, Na e P.

## 7 CAPÍTULO 2 - RESPOSTA DE EUCALIPTO À APLICAÇÃO DE CALCÁRIO, GESSO E LAMA DE CAL EM CAMBISSOLO HÚMICO

### 7.1 INTRODUÇÃO

O cultivo para exploração comercial da madeira no Sul do Brasil, tem ocupado áreas com solos de baixa aptidão agrícola, tanto pelas condições topográficas inadequadas para o plantio mecanizado, quanto pela baixa fertilidade do solo, caracterizada, principalmente, pelos baixos conteúdos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P), além de pH ácido. Isso, associado à intensificação das rotações, pode provocar queda na produtividade florestal, caso medidas de manejo da fertilidade do solo não sejam adotadas (MAEDA; GOMES; BOGNOLA, 2015).

O Ca é o nutriente requerido e exportado em maiores quantidades em cultivos florestais comerciais. Visto que, sob condições de produtividades próximas a  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , são exportados cerca de  $416 \text{ kg ha}^{-1}$  de Ca para a parte aérea, até o sétimo ano de idade da planta (RODRIGUES *et al.*, 2016). O fornecimento de Ca e Mg em plantios florestais normalmente é realizado por meio da aplicação de calcário. Entretanto, produtos alternativos, como gesso e cinzas, também podem ser usados como fonte de Ca e/ou Mg em plantações florestais, mas tanto para as cinzas quanto para o gesso, a concentração de Mg deve ser corrigida para que não haja deficiência deste elemento (ROCHA *et al.*, 2019). A indústria de papel e celulose gera um resíduo conhecido como lama de cal, de reação alcalina e que se qualifica como possível substituto do calcário no aporte de Ca (SIMONETE *et al.*, 2013). Outra forma de alterar a disponibilidade de Ca e Mg às plantas em solos ácidos é a variação na relação cálcio/ magnésio (Ca/ Mg) em corretivos da acidez (MEDEIROS *et al.*, 2008).

Contudo é importante avaliar o comportamento do desenvolvimento de clones modernos de eucalipto às fontes de cálcio, como calcário, resíduo alcalino lama de cal e o gesso agrícola, bem como doses e formas de aplicação desses produtos, para ampliar as opções de sua utilização, às condições edafoclimáticas da Serra Catarinense. Assim, esse estudo buscou avaliar o desenvolvimento da planta a longo prazo, após o uso de doses e formas de aplicação de fontes de cálcio, como o calcário, gesso e lama de cal, no cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden em um Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense.

## 7.2 MATERIAL E MÉTODOS

A descrição da área experimental; os tratamentos aplicados; o delineamento experimental; a amostragem e análises químicas do solo e análise estatística, estão devidamente descritos no capítulo 1 (vide Material e Métodos do item 6.2.1 até o 6.2.4).

### 7.2.1 Parâmetros na planta

O plantio utilizado no experimento foi de segunda rotação e realizado com mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* Maiden (CL7003). As mudas têm origem australiana, procedentes de viveiro da Rigesa, de primeira geração, obtidas por propagação vegetativa. Foram realizadas medições de altura, com auxílio do aparelho vertex e circunferência a altura do peito (CAP), com auxílio de fita métrica, de todas as plantas úteis de cada parcela (8 plantas, 4 plantas por linha, 2 linhas centrais) com auxílio de hipsômetro vertex e fita métrica.

A primeira medição ocorreu 40 meses após o plantio das mudas; aproximadamente aos 3 anos de plantio (34 meses após aplicação dos tratamentos), no dia 22 de fevereiro de 2019. A segunda medição ocorreu aos 51 meses após o plantio das mudas; aproximadamente aos 4 anos de plantio (45 meses após aplicação dos tratamentos), em 29 de janeiro de 2020. A terceira medição ocorreu aos 63 meses após o plantio das mudas; aproximadamente aos 5 anos de plantio (57 meses após aplicação dos tratamentos), em 7 de janeiro de 2021. E a quarta medição ocorreu aos 77 meses após o plantio das mudas; aproximadamente aos 6 anos de plantio (71 meses após aplicação dos tratamentos), no dia 4 de março de 2022.

Posteriormente, converteu-se a CAP em diâmetro a altura do peito (DAP). A partir dos dados de altura e diâmetro, estimou-se o volume de madeira. Para análise de potencial produtivo de uma floresta, o volume constitui uma variável importante, sendo uma informação básica para planejamento de produção (AZEVEDO *et al.*, 2011). O método utilizado para a estimativa de volume foi o do fator de forma (MIRANDA *et al.*, 2015), por se tratar de povoamento em desenvolvimento e pela impossibilidade de corte de alguns indivíduos para ajuste de um modelo volumétrico. A fórmula utilizada foi a seguinte (1):

$$V = \pi \frac{DAP^2}{4} h F \quad (1)$$

Onde: V = volume (m<sup>3</sup>);  $\pi$  = pi; DAP = diâmetro a altura do peito (m); h = altura da árvore (m); F = fator de forma.

O valor do fator de forma utilizado foi de 0,48, média estabelecida de acordo com valores encontrados em literatura (MIRANDA *et al.*, 2015; AZEVEDO *et al.*, 2011). Considerando espaçamento entre plantas de 3,5 x 2,0 m (7 m<sup>2</sup>) estabelecido pela empresa, obteve-se uma densidade de 1429 plantas por hectare (10000 m<sup>2</sup>). Com isso, multiplicou-se o volume do indivíduo pela densidade de plantas, estimando-se o volume que seria encontrado por hectare em cada tratamento avaliado.

Posteriormente foi calculado o Incremento Corrente Anual em Volume - ICA (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), e o Incremento Médio Anual - IMA (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), sendo: ICA a subtração entre volume anual e volume do ano anterior e o IMA a divisão entre volume anual e a idade do povoamento. O ICA, em volume, expressa o crescimento ocorrido entre o início e o fim da estação de crescimento, em um período de 12 meses, correspondendo o que a árvore cresceu no período de um ano. O valor do IMA expressa a média do crescimento total a certa idade da árvore, portanto, expressa a média anual do crescimento para qualquer idade (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

### 7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 7.3.1 Diâmetro altura do peito- DAP (cm) e Altura (m)

O diâmetro na altura do peito (DAP) médio e de altura média, estão na Tabela 4.

Tabela 4 — Altura de plantas e Diâmetro na altura do peito (DAP) médio de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio, nos tratamentos\* estudados, em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.

Tratamentos	DAP (cm)				Altura (m)			
	40 meses	51 meses	63 meses	77 meses	40 meses	51 meses	63 meses	77 meses
T1	12,41	13,82	15,00	16,85	15,52	21,86	21,98	24,03
T2	12,42	13,84	14,82	16,75	15,24	20,05	20,98	22,93
T3	12,78	14,24	15,41	17,27	15,27	20,22	21,04	23,37
T4	12,57	14,04	15,11	16,98	15,32	20,06	20,94	23,76
T5	11,85	13,16	14,28	15,92	15,60	20,59	21,26	23,53
T6	12,20	13,46	14,64	16,04	15,24	20,61	21,38	24,26
T7	12,26	13,54	14,72	16,44	14,26	19,78	20,68	23,61
T8	12,70	14,45	15,46	17,37	15,28	21,01	21,54	23,83
T9	11,88	13,42	14,50	16,41	15,27	20,04	20,82	24,24

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Não significativo na ausência de letras pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Não houve resposta significativa para o diâmetro e altura dos tratamentos em função dos manejos implantados, em relação ao tratamento controle (T1), nas avaliações realizadas, aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio das mudas.

Os valores médios de DAP, independentemente do tratamento, foram de 12,3, 13,8, 14,9 e 16,7 cm para as avaliações realizadas aos 40, 51, 63 e 77 meses após a implantação, respectivamente. No mesmo sentido, as alturas médias para as avaliações aos 40, 51, 63 e 77 meses após a implantação foram de 15,2, 20,5, 21,2 e 23,7 m, respectivamente.

Os valores de diâmetro na altura do peito (DAP) médio tiveram pequenas variações, aos 40 meses com 11,85 a 12,78 cm com aplicação de lama de cal (T5) e com a menor dose de calcário na faixa de plantio (T3), respectivamente; aos 51 meses com 13,16 a 14,45 cm; aos 63 meses com 14,28 a 15,46 cm; e aos 77 meses com 15,92 a 17,37 cm no tratamento com aplicação de lama de cal (T5) e com a aplicação da menor dose de calcário acrescido da menor dose de gesso incorporados no sulco de plantio (T8), respectivamente.

Os valores das alturas das árvores variaram, aos 40 meses com 14,26 a 15,60 m com a aplicação da menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) e com aplicação de lama de cal (T5), respectivamente; aos 51 meses com 19,78 a 21,86 m; aos 63 meses com 20,68 a 21,98 m com a aplicação da menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) e no tratamento controle (T1), respectivamente; e aos 77 meses com 22,93 a 24,26 m com a aplicação da maior dose de calcário em superfície na área total (T2) e com a aplicação da maior dose de calcário acrescido da maior dose de gesso distribuídos na faixa de plantio (T6), respectivamente.

Nenhuma das avaliações realizadas nas plantas de eucalipto, evidenciou efeito significativo no seu desenvolvimento em função dos tratamentos testados, portanto acredita-se que essa ausência de respostas é possivelmente em função da aplicação de 2 ton ha<sup>-1</sup> de calcário, aplicado previamente aos tratamentos, que supriu assim possíveis carências de Ca.

Em sentido paralelo, Gabriel *et al.* (2018), ao avaliar o crescimento inicial de mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*, em Cambissolo Húmico, observaram que não houve influência das doses de calcário e gesso, seja em aplicação isolada ou associada, nas variáveis altura de plantas e diâmetro de colo. Ferreira *et al.* (2020), avaliando os efeitos de uma ampla gama de doses de gesso nos parâmetros de crescimento de eucalipto, em Latossolo

Distrófico no Estado do Paraná, observaram que a aplicação de gesso não afetou a altura das plantas de eucalipto após 36 meses da aplicação dos tratamentos.

Por outro lado, há trabalhos que encontraram respostas significativas de eucalipto à correção do solo. Em estudo realizado por Rodrigues *et al.* (2016), avaliando a produtividade de eucalipto, aos 18 meses de idade, em resposta à aplicação de Ca, em um solo de textura média, na região do Cerrado, foi observado que o crescimento em altura apresentou em média 8,2, 9,5 e 10,0 m de altura, para os tratamentos sem calcário, com calcário e com calcário adicionado de gesso, respectivamente. Estes mesmos autores observaram que a aplicação de calcário proporcionou incremento em diâmetro de eucalipto, com incrementos mais expressivos nesta propriedade dendrométrica em comparação ao crescimento vertical.

Neste mesmo estudo, entretanto com avaliações de DAP aos 12, 15 e 24 meses de idade do cultivo, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), observaram que aos 12 meses, o calcário aplicado em menor dose na superfície (T3) favoreceu o crescimento em diâmetro, de 2,97 cm, em relação ao tratamento testemunha (T1), com 2,42 cm. Aos 15 meses a aplicação de calcário na superfície (T3) com 6,04 cm, e calcário e gesso na superfície (T6) com 5,85 cm, respectivamente, em relação ao gesso no sulco (T9), com 5,15 cm. Durante o experimento, houve uma redução nas diferenças entre os tratamentos. Aos 24 meses, não houve mais diferença significativa entre os tratamentos, embora a calagem superficial (T3) ainda tenha um número médio maior de 9,35 cm, de 4 % em relação ao tratamento controle (T1), com 8,95 cm.

Para a altura, com avaliações de altura aos 12, 15 e 24 meses após o plantio das mudas, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), observaram que aos 12 meses, o uso da menor dose de calcário na superfície da faixa do plantio (T3) proporcionou maior média, de 3,19 m na altura das árvores quando comparado ao calcário e gesso no sulco (T8), com 2,91m, e gesso no sulco (T9), com 2,86 m. No 15º mês após o plantio das mudas, o uso de lama de cal aplicado na superfície da faixa de plantio (T5) resultou em maior altura, onde a média foi de 5,32 m, em relação ao tratamento controle (T1), com 4,91 m, mostrando que o tratamento favorece o crescimento vertical inicial da espécie. O gesso no sulco de plantio (T9) não alterou o crescimento das plantas e foi o tratamento com menor altura entre os demais, mostrando que o uso isolado não apresenta vantagens para a planta. Com isso, até os 15 meses de idade teve-se resposta significativa para a altura, mas não foram verificados em avaliações posteriores aos 24, 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio das mudas.

### 7.3.2 Volume de madeira em m<sup>3</sup> e em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> estimados

Com relação à produtividade das plantas, foi estimado o volume médio de um indivíduo por parcela em m<sup>3</sup>. E a produtividade por hectare, com o volume médio do indivíduo foi multiplicado pela densidade de plantas estimando o volume de *Eucalyptus dunnii* Maiden por hectare, em cada tratamento. Os resultados destes dois parâmetros estão descritos na Tabela 5.

Não houve resposta significativa para o volume em m<sup>3</sup> e em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> estimados dos tratamentos em função dos manejos implantados, em relação ao tratamento controle (T1), nas avaliações realizadas, aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio das mudas.

Tabela 5 — Volume de madeira em m<sup>3</sup> e em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio, nos tratamentos\* estudados, em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.

Tratamentos	Volume em m <sup>3</sup>				Volume em m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>			
	40 meses	51 meses	63 meses	77 meses	40 meses	51 meses	63 meses	77 meses
T1	0,097	0,183	0,218	0,309	138,3	260,9	311,1	441,9
T2	0,092	0,156	0,191	0,274	131,3	222,7	272,0	392,7
T3	0,098	0,166	0,205	0,292	139,5	236,8	292,7	417,4
T4	0,097	0,163	0,202	0,313	139,1	233,3	288,2	447,3
T5	0,086	0,143	0,177	0,252	123,6	204,5	252,4	360,7
T6	0,088	0,150	0,184	0,260	125,9	214,5	263,5	371,4
T7	0,088	0,161	0,202	0,307	126,3	230,0	288,6	438,2
T8	0,098	0,187	0,222	0,312	139,3	266,7	317,9	445,3
T9	0,091	0,155	0,191	0,301	130,1	221,9	272,3	430,3

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Não significativo na ausência de letras pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Para o volume de madeira (m<sup>3</sup>), os valores tiveram pequena variação de 0,086 m<sup>3</sup> (T5) a 0,098 m<sup>3</sup> (T3 e T8) na avaliação realizada aos 40 meses após o plantio, com média geral de 0,09 m<sup>3</sup>. Nas avaliações realizadas aos 51 e aos 63 meses após o plantio, os valores variaram entre 0,14 e 0,17 (T5) a 0,18 e 0,22 m<sup>3</sup> (T8), com médias gerais de 0,16 e 0,20 m<sup>3</sup>, respectivamente. Na última avaliação realizada, 77 meses após o plantio, as amplitudes de

volume de madeira foram de 0,25 (T5) e 0,31 m<sup>3</sup> (T4), com valor médio, entre todos os tratamentos, de 0,29 m<sup>3</sup>.

Em relação ao volume em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, também foi constatado pequenas variações em seus valores, apesar de não haver diferenças estatísticas significativas. Aos 40 meses após o plantio, os valores variaram entre 123,6 (T5) a 139,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T3). Nas duas avaliações seguintes, aos 51 e aos 63 meses após o plantio, os valores de volume variaram entre 204,5 4 e 252 (T5) a 266,7 e 317,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T8), respectivamente. Já na última época de avaliação, aos 77 meses, foram observadas amplitudes de 360,7 (T5) a 447,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T4), respectivamente. Na média, os valores de volume foram de 132,6; 232,4; 284,3 e 416,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> nas avaliações realizadas aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio, respectivamente.

Na avaliação do crescimento inicial de mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em Cambissolo Húmico, Gabriel *et al.* (2018) constataram que não houve influência das doses de calcário e gesso, seja em aplicação isolada ou associada, para o volume cilíndrico. O mesmo resultado que o presente estudo apresenta, ou seja, a aplicação de calcário seja isoladamente ou em associação ao gesso, e com doses crescentes de ambos, não surtiu efeito no desenvolvimento de plantas de *Eucalyptus dunnii* Maiden, mas proporcionou uma melhora nos atributos químicos do solo.

Em compensação, em estudo feito por Rodrigues *et al.* (2016), os autores relataram que houve incrementos no fuste aos 18 meses de 56% com aplicação de calcário em superfície na faixa de plantio chegando aos 23,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, e 99% com aplicação de calcário em área total com adição de gesso na faixa de plantio com produtividade de 29,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Os autores ressaltam ainda que o ganho médio de 58 % no volume de fuste nos tratamentos que receberam a aplicação de calcário isoladamente na faixa de plantio ou área total, comparado com a não aplicação, tornando evidente a resposta do eucalipto à aplicação de calcário, especialmente para suprir a demanda de Ca e Mg.

O volume estimado por hectare, no mesmo estudo, mas com avaliações aos 12, 15 e 24 meses após o plantio das mudas, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), observaram que aos 12 meses após o plantio das mudas, houve aumento no volume com o uso de menor dose de calcário na superfície da faixa do plantio (T3), com 1,53 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha (T1), com 0,93 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Aos 15 meses após plantio das mudas, foi observada diferença significativa com o uso de menor dose de calcário na superfície da faixa do plantio (T3), com 10,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e calcário e gesso na superfície (T6) com 9,51 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, em relação à aplicação de gesso no sulco de plantio (T9), que apresentou o menor valor em volume de 6,74 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. No entanto, aos 24 meses de cultivo, bem como nas avaliações descritas neste estudo aos 40, 51, 63 e 77 meses



após o plantio das mudas, as plantas não apresentaram diferenças significativas no incremento de volume. Entretanto, esses resultados são para o crescimento inicial da planta, onde o acúmulo de Ca ainda é pequeno devido à pequena quantidade de casca e o pequeno volume do fuste, não refletindo a necessidade de povoamentos adultos.

### 7.3.3 Incremento corrente anual - ICA e Incremento médio anual – IMA (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)

Os resultados de Incremento Corrente Anual e Incremento Médio Anual (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) estão descritas na Tabela 6. Não houve resposta significativa para o ICA e o IMA estimados, dos tratamentos em função dos manejos implantados, em relação ao tratamento controle (T1), nas avaliações realizadas, aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio das mudas. Com isso, as aplicações adicionais a aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total, não oferece incremento na produtividade em sua da planta durante o seu ciclo.

Tabela 6 — Incremento Corrente Anual (ICA) e Incremento Médio Anual (IMA), em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio, nos tratamentos\* estudados, em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.

Tratamentos	ICA (m <sup>3</sup> /ha)				IMA (m <sup>3</sup> /ha)			
	40 meses	51 meses	63 meses	77 meses	40 meses	51 meses	63 meses	77 meses
T1	98,5	121,3	57,5	139,3	46,1	65,2	11,5	23,2
T2	91,1	91,4	58,7	120,7	43,8	55,7	11,7	20,1
T3	100,9	98,6	70,7	129,7	46,5	59,2	14,1	21,6
T4	100,4	103,4	64,9	141,2	46,4	58,3	13,0	23,5
T5	88,3	84,8	53,2	109,3	41,2	51,1	10,6	18,2
T6	85,9	97,3	58,0	115,2	42,0	53,6	11,6	19,2
T7	97,4	107,9	56,1	140,6	42,1	57,5	11,2	23,4
T8	101,3	132,5	63,8	139,2	46,4	66,7	12,8	23,2
T9	93,4	105,2	69,2	142,5	43,4	55,5	13,8	23,7

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Não significativo na ausência de letras pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Em relação aos valores de ICA obtidos aos 40 meses, foram observadas pequenas amplitudes de valores de 85,9 (T6) a 101,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T8) na primeira época de avaliação; aos

51 meses, os valores variaram de 84,8 (T5) a 132,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T8). Na terceira avaliação realizada, aos 63 meses, foram observados valores de 53,2 (T5) a 70,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T3), enquanto na última coleta (77 meses) 109,3 (T5) a 142,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T9). Na média, os valores de ICA foram de 95,2; 104,7; 61,3 e 130,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> nas avaliações realizadas aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio, respectivamente.

Para o ICA, em se tratando do mesmo estudo, mas com avaliação aos 24 meses após o plantio das mudas, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), apresentaram que não houve influência das doses e das formas de aplicação dos tratamentos, mas os valores de ICA tiveram uma variação de 33,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, no tratamento de lama de cal na faixa de plantio (T5), a 40,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, no tratamento com aplicação de 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio (T3).

Para o incremento médio anual (IMA) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, observou-se pequenas variações aos 40 meses de 41,2 (T5) a 46,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T3). Na segunda avaliação, realizada aos 51 meses após o plantio, os valores variaram de 51,1 (T5) a 66,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T8); já na terceira avaliação, 63 meses após o plantio, amplitudes de 10,6 (T5) a 14,1 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> (T3) foram observadas. Na última avaliação, aos 77 meses, as variações ficaram entre 18,2 (T5) a 23,7 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> (T9). Na média, os valores de IMA foram de 44,2; 58,1; 12,3 e 21,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> nas avaliações realizadas aos 40, 51, 63 e 77 meses após o plantio, respectivamente.

No IMA, no mesmo trabalho, mas com avaliação aos 24 meses após o plantio das mudas, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), relataram que não houve influência das doses e das formas de aplicação dos tratamentos, mas os valores de IMA tiveram uma variação de 17,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, com aplicação de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio (T5), a 21,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, com aplicação de 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio (T3).

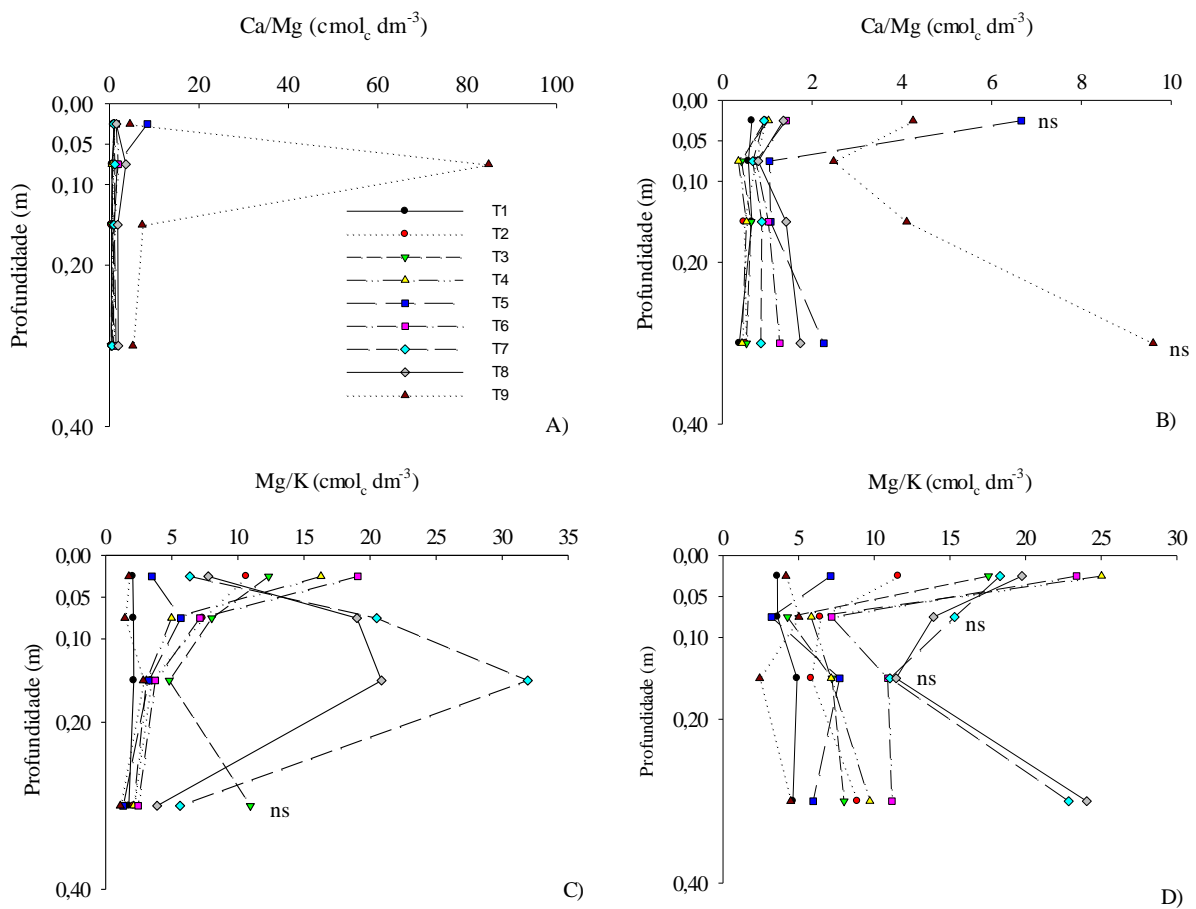
Já no presente estudo, que se trata do mesmo experimento de Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), mas com avaliações no período de 40, 51, 63 e 77 meses de idade, também houve variação nos valores de IMA, e confirma-se que os menores valores são com a aplicação de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio (T5), porém os maiores valores encontram-se no tratamento com 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio (T3) aos 40 e 63 meses; no tratamento com aplicação de 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário adicionado de 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio (T8) aos 51 meses; e no tratamento com aplicação de 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio (T9) aos 77 meses.

O alto volume de produção anual de madeira por área e um curto ciclo, o Brasil é referência mundial na produtividade de plantios florestais, as mudanças climáticas podem ser um dos fatores que impactaram na queda de produtividade média por ano no plantio de eucalipto de 38,6 m<sup>3</sup>/ha, em 2019, para 36,8 m<sup>3</sup>/ha (IBÁ, 2021).

### 7.3.4 Relações dos nutrientes do solo

No solo, as relações de Ca/Mg e Mg/K estão apresentadas, conforme a Figura 8.

Figura 8 — Relações de Ca/Mg e Mg/K nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A e C) e 56 meses (B e D) da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

\*ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, a relação Ca/Mg na camada superficial até 0,05 m foi maior no tratamento com aplicação de lama de cal na faixa de plantio (T5), alcançando valores médios de 8,45 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup> (T5) e 0,92 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup> (T7); já em todas as demais

camadas, os valores de Ca/Mg sempre foram maiores no tratamento com aplicação da menor dose de gesso incorporados no sulco de plantio (T9), sendo os maiores valores observados de 32,4  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , (Figura 8, A). Na segunda avaliação, aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, a relação de Ca/Mg nas camadas de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m foi maior no tratamento com aplicação da menor dose de gesso incorporado no sulco de plantio (T9). Nestas camadas, a relação alcançou 3,3  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , (Figura 8, B).

O desbalanço entre Ca e Mg pode acentuar a deficiência de magnésio, sobretudo quando a relação Ca/Mg torna-se muito alta, sendo assim, pode ocorrer a inibição da absorção de Mg (e possivelmente também de K) pelas plantas (MEDEIROS *et al.*, 2008). Em solos naturalmente pobres a aplicação contínua de calcário dolomítico e/ou lama de cal, da mesma forma que se utilizado o gesso agrícola, pode afetar a relação Ca/Mg, com repercussões negativas no crescimento e nutrição das plantas (SIMONETE *et al.*, 2013).

A falta de aporte de Mg no solo com aplicação de lama de cal ou gesso nos remete a um quesito importante: a relação entre estes nutrientes, que impõe uma investigação no momento de aplicação destes materiais, pois uma relação Ca/Mg muito elevada pode prejudicar a absorção do Mg pelas plantas. Em estudo sobre o fornecimento de Ca com lama de cal e seus efeitos na disponibilidade de macronutrientes e na produção de matéria seca de plantas de eucalipto, Simonete *et al.* (2013) observaram que o uso contínuo de lama de cal em rotações sucessivas de plantios florestais sem a adição de Mg, poderá exaurir esse nutriente, sobretudo em solos que possuem baixa disponibilidade de Mg, sendo indispensável a complementação do resíduo com esse nutriente, pois pode limitar a produtividade dos próximos ciclos de plantios florestas.

A relação Mg/K para a camada superficial até 0,05 m, na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, foi superior nos tratamentos com aplicação da maior dose de calcário em superfície, localizado na faixa de plantio de plantio das mudas (T4) e com a aplicação da maior dose de calcário acrescido da maior dose de gesso distribuídos na faixa de plantio das mudas (T6). Nestes tratamentos citados a relação foram de 16,28 e 19,07  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , enquanto nos demais tratamentos o valor médio ficou em 6,3  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Para a camada de 0,05 a 0,10 m, a relação de Mg/K foi superior nos tratamentos com a aplicação da menor dose de calcário incorporado no sulco de plantio das mudas (T7) e com a aplicação da menor dose de calcário acrescido da menor dose de gesso incorporados no sulco de plantio (T8), sendo observados 20,51 e 19,01  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Já na camada de 0,10 a 0,20 m, foi observado que com a aplicação da menor dose de calcário incorporado no sulco de plantio das mudas (T7) houve maior relação de Mg/K (31,9  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), conforme a Figura 8, (C).

Na segunda avaliação, aos 56 meses após aplicação dos tratamentos, na camada até 0,05m os valores na relação Mg/K foram superiores aos demais os tratamentos com a aplicação da menor ou maior dose de calcário em superfície na faixa de plantio (T3 e T4), no tratamento acrescido de gesso (T6) e com a menor dose de calcário e menor dose de calcário acrescido de gesso incorporado no sulco (T7 e T8), com relação de 17,5; 25; 23,4; 18,3 e 19,7  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente. Na camada de 0,20 – 0,40 m, os valores na relação Mg/K foram superiores aos demais nos tratamentos com as menores doses de calcário incorporado no sulco, com ou sem a adição de gesso (T7 e T8), com 22,8 e 24,1  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente, (Figura 8, D).

O fornecimento isolado de Ca, por meio da lama de cal ou do gesso agrícola, elevou o teor desse cátion em relação ao Mg e também ao K (dados não apresentados). No mesmo sentido, os valores da relação Mg/K foram maiores nos tratamentos em que o calcário dolomítico, fornecedor de Mg, foi aplicado. Contudo, estas alterações não foram suficientes para influenciar o crescimento das plantas de eucalipto, como relatado ao longo do texto. Altos teores de potássio podem inibir a absorção de Ca e/ou Mg, e estes, podem reduzir a absorção de K pelas plantas (MARSCHNER, 2012). Relaciona-se esse fato a ação antagônica entre estes cátions confirmada pelo aumento na relação K/Ca, embora não significativo (ROCHA *et al.*, 2008).

Em estudo realizado por Medeiros *et al.* (2008), com o intuito de avaliar o efeito de diferentes proporções entre cálcio e magnésio em corretivos da acidez sobre a absorção de nutrientes e produção inicial de matéria seca de plantas de milho, aplicados a um solo com alto tamponamento de pH. Os autores concluíram que crescentes proporções de cálcio em relação ao magnésio, por meio da aplicação de corretivos da acidez, aumentou o teor e a saturação de cálcio na CTC do solo, reduziu os teores de magnésio e não afetou os de potássio.

A relação entre Ca/Mg é importante, pois o excesso de um pode afetar disponibilidade do outro, bem como na sua absorção. Apesar de estabelecidas as relações Ca/Mg ideais para as plantas, não se sabe a partir de qual proporção destes na CTC começam a surgir problemas nutricionais nas plantas (MEDEIROS *et al.*, 2008). Para Mendonça (2006), a relação Ca/Mg no solo deve situar-se no intervalo de 1:1 até o máximo de 10:1, considerando o teor mínimo de Mg de 0,5  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ .

A ausência de resposta observada no presente estudo para os diferentes manejos testados reforça a menor exigência do gênero *Eucalyptus* à correção da acidez. As plantas apresentam elevada exigência do elemento Ca, sendo este o nutriente extraído em maiores quantidades (VIEIRA *et al.*, 2015). A aplicação inicial de 2  $\text{ton ha}^{-1}$  em área total pode ter fornecido as quantidades de Ca, assim como de Mg, exigidas pelas plantas para alcançar seu pleno

crescimento. Merece destaque ainda que a aplicação de pequenas quantidades de calcário, de 1 a 2 ton ha<sup>-1</sup>, já é uma prática comum nas áreas cultivadas com espécies florestais na região serrana de Santa Catarina.

Além de que o fornecimento de Ca pode ser considerado mais importante do que a neutralização completa da acidez, outros dois fatores merecem ser destacados: a tolerância ao Al<sup>3+</sup> e o possível acesso a formas de nutrientes no solo menos disponíveis às plantas. As plantas florestais, como o eucalipto, aparentam apresentar maior tolerância ao Al<sup>3+</sup>, havendo menor risco de este elemento causar toxidez ao sistema radicial (RAHMAN; UPADHYAYA, 2021). O outro fator a ser discutido é o possível aproveitamento de nutrientes, como Ca, Mg, K e P, presentes em formas menos disponíveis; o acesso aos estoques destes nutrientes presentes em formas de menor labilidade pode garantir o adequado desenvolvimento de plantas florestais (GATIBONI *et al.*, 2020).

#### 7.4 CONCLUSÕES

As aplicações de doses de fontes de cálcio, calcário, lama de cal e gesso agrícola, em superfície sejam elas em área total ou na faixa de plantio, ou incorporadas no sulco de plantio, adicionais à aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário em superfície em área total, não promoveram incrementos significativos na altura, diâmetro e na produtividade do *Eucalyptus dunnii* Maiden, determinados aos 40, 51, 63 e 77 meses de idade das árvores cultivadas em Cambissolo Húmico do Planalto Sul de Santa Catarina.

A aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total, pode ser suficiente para o desenvolvimento do *Eucalyptus dunnii* Maiden durante o seu ciclo, cultivadas em Cambissolo Húmico do Planalto Sul de Santa Catarina.

A relação Ca/Mg é maior com a aplicação de lama de cal e gesso agrícola do que com aplicação de calcário dolomítico, em função de uma maior solubilidade no solo destes produtos, enquanto a relação Mg/K, maiores valores são observados em áreas corrigidas com calcário dolomítico.

## 8. CAPÍTULO 3 – INFLUÊNCIA DE DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FONTES DE CÁLCIO PARA O ALUMÍNIO E SUAS FORMAS NO SOLO EM CULTIVO COM EUCALIPTO

### 8.1 INTRODUÇÃO

Os solos ácidos ocupam mais de 40% da superfície terrestre. O Al na sua forma livre ( $\text{Al}^{3+}$ ) é um dos fatores de maior preocupação neste tipo de condição, uma vez que ocupa parte da CTC do solo e apresenta sérios prejuízos ao desenvolvimento do sistema radicial das plantas (YANG *et al.*, 2015).

O teor de Al trocável é obtido por meio da extração com a solução de KCl utilizada mundialmente e sua quantificação geralmente é feita por titulometria, usando solução alcalina padronizada. Entretanto, o Al “trocável” extraído por KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , pode estar superestimado em função da dissolução de espécies de Al não trocáveis, influenciadas pelo pH, pela concentração e pelas características químicas do extrator, assim como pelo tempo de extração (KISSEL; GENTZSCH; THOMAS, 1971; OATES; KAMPRATH, 1983). As espécies químicas consideradas mais tóxicas são:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{AlOH}^{2+}$  e  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ , e as não tóxicas são aquelas complexadas com ligantes orgânicos e inorgânicos na solução do solo (CUNHA *et al.*, 2018 a, b). Assim, estudar espécies florestais com altos níveis de Al no solo é fundamental para aumentar o potencial produtivo destes solos e melhorar a produtividade das culturas agrícolas e florestais (YANG *et al.*, 2015).

Sabe-se que algumas espécies de eucalipto e pinus apresentam adaptação às condições relacionadas à acidez do solo, mas que demandam grandes quantidades de cátions básicos e, esta demanda, está relacionada de forma linear à taxa de crescimento (ROCHA *et al.*, 2019). Neutralizar o Al e, possivelmente ao mesmo tempo, fornecer quantidades suficientes de nutrientes essenciais, como o Ca, é fundamental. Assim, os efeitos negativos da acidez do solo, em geral justificam a sua correção que é comumente realizada por meio da aplicação de calcário. As alterações nas propriedades químicas do solo causadas pela aplicação de calcário na superfície dependem da dose de aplicação, do tempo de reação e geralmente são limitadas aos poucos centímetros superiores do perfil do solo (RHEINHEIMER *et al.*, 2018).

Considerando o exposto, este trabalho objetivou verificar a influência de doses e formas de aplicação de fontes de cálcio, calcário dolomítico, gesso agrícola e lama de cal a longo prazo, nas formas de Al no solo, no cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden em um Cambissolo Húmico, que apresenta alto teor de Al trocável, no Planalto Sul Catarinense.

## 8.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A descrição da área experimental; os tratamentos aplicados; o delineamento experimental; a amostragem e análise estatística, estão devidamente descritos no capítulo 1 (vide Material e Métodos do item 6.2.1 até o 6.2.4).

### 8.2.1 Análises das formas de alumínio no solo

Após processamento das amostras, foram testados os seguintes extratores para Al: para a obtenção do  $\text{Al}^{3+}$  utilizou-se a solução de KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$ . Para isso, pesou-se 2,5 gramas de solo em 50 ml de solução de KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$ , que foram agitados em agitador horizontal a 120 rpm por 30 minutos. O frasco com a solução permaneceu em repouso até o dia seguinte (15- 18 horas) para favorecer a decantação, após retirou o sobrenadante, o qual foi reservado para posterior análise do teor de  $\text{Al}^{3+}$ . E posteriormente realizou a titulação ácido-base, titulou-se o extrato com NaOH 0,0125 M, adicionou-se três gotas de fenolftaleína, até observar a cor rosa persistente por mais de 10 segundos (TEDESCO *et al.*, 1995). O alumínio extraído com KCl foi considerado como trocável.

Para a forma de Al ligado a M.O em complexos de baixa à média estabilidade (URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995) foi empregada a solução extratora de cloreto de cobre ( $\text{CuCl}_2$ ) 0,5 mol  $\text{L}^{-1}$ , segundo Juo; Kamprath, (1979). Pesaram-se 2 g de solo em tubos falcon de 50 mL, adicionando-se 20 mL do extrator (manteve-se a proporção). As amostras foram agitadas a 120 rpm por 30 min em agitador horizontal. Depois, as amostras foram permaneceram em repouso até o dia seguinte (15 – 18 horas) para favorecer a decantação (adaptação). A quantificação do Al nesse extrato foi feita por espectrofotometria de absorção atômica (EAA). O extrator  $\text{CuCl}_2$  se tem mostrado efetivo na extração das formas trocáveis e não trocáveis de Al, particularmente do alumínio complexado pela M.O, embora possam extrair igualmente polímeros de hidróxi-Al inorgânicos (Juo; Kamprath, 1979). Portanto, o alumínio extraído com  $\text{CuCl}_2$  é considerado como trocável + não trocável.

Para extrair formas de baixa cristalinidade e amorfas de compostos de ferro e de alumínio empregou-se a solução de oxalato de amônio 0,2 mol  $\text{L}^{-1}$  tamponado a pH 3, segundo McKeague; Day, (1966). Para o preparo da solução do oxalato de amônio tamponado a pH 3, pesou-se 81g de oxalato de amônio mono-hidratado e 54g de ácido oxálico  $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e dissolvidos em 5 L de água destilada. Foram preparadas duas soluções separadas de 500 ml de oxalato de amônio (28 g  $\text{L}^{-1}$ ) e 500 ml de ácido oxálico (25 g  $\text{L}^{-1}$ ), que foram utilizadas para



corrigir o pH. A solução foi estocada, após atingir o pH 3 em frasco de polietileno, mantendo-a em local escuro. Pesou-se 0,4 gramas de solo em tubos falcon de 50 ml, sendo adicionados 20 ml do extrator (manteve-se a proporção), as amostras foram agitadas a 120 rpm num período de 4 horas no escuro (para evitar a reação fotoquímica), centrifugadas a 2000rpm por 10 minutos, foi medido o pH. O Al por esse método foi quantificado por EAA.

Para a determinação do Al total no solo, segundo Embrapa, (2017), pesou-se 1 grama de solo em Erlenmeyer de 250 ml, foi adicionado 20 ml de ácido sulfúrico e água (1:1), foi aquecido em chapa aquecedora e após levantar fervura permaneceu por 30 minutos, com funis; posteriormente ao resfriamento foi adicionado 50 ml de água destilada, após foi filtrado e completado para chegar a um volume de 250 ml. O Al foi quantificado por EAA. O Valor de Al total ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ) na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, foi realizado apenas no tratamento controle (T1) até a profundidade de 0,40m. Foram realizadas as médias dos 4 blocos para obtenção dos resultados.

### 8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

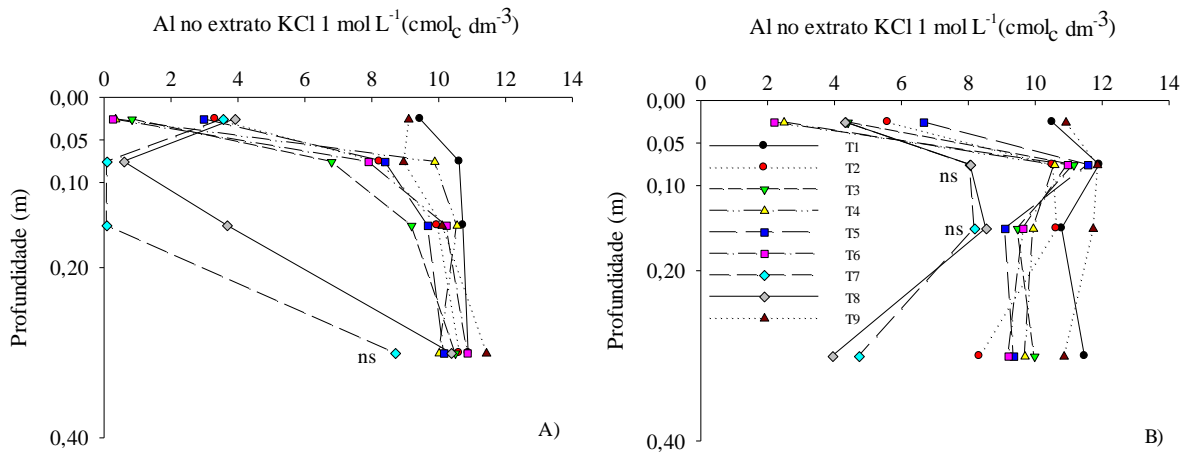
Para constar foi realizado a análise de Al total para o tratamento controle (T1), com avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, em todas as profundidades avaliadas.

O Valor de Al total na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, no tratamento controle (T1) até a profundidade de 0,40m, observou média para a camada de 0 a 0,05 m de  $3,4 \pm 1,4 \text{ g kg}^{-1}$ , para a camada de 0,05 a 0,10 m de  $4,5 \pm 2,1 \text{ g kg}^{-1}$ , para a camada de 0,10 a 0,20 m de  $4,6 \pm 2,8 \text{ g kg}^{-1}$  e na camada de 0,20 a 0,40 m de  $4,7 \pm 2,7 \text{ g kg}^{-1}$ .

#### 8.3.1 Alumínio no extrato por KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (Al-KCl)

O alumínio trocável ( $\text{Al}^{+3}$ ) que foi extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, nas avaliações aos 31 e 56 meses após a aplicação dos tratamentos, nas camadas avaliadas, pode ser observado na Figura 9, e os valores estão descritos no APÊNDICE F.

Figura 9 — Teor de Al em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>), nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 meses (A) e 56 meses (B) da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

\*ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Todos os tratamentos que incluíram doses e formas de aplicação de calcário dolomítico, com adição de gesso e com lama de cal, reduziram a concentração de Al<sup>3+</sup> em até 91,4% (redução aproximada de 9,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, para menos de 1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), na camada superficial até 0,05 m, em relação ao controle (T1) na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos. Em média para as camadas de 0,05 a 0,10m e 0,10 a 0,20 m, a aplicação da menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) e da menor dose de calcário e gesso incorporados no sulco de plantio (T8) reduziram a concentração de Al trocável em cerca de 99,4% e 80,2%, respectivamente, em relação ao tratamento controle (T1), conforme a Figura 9, (A).

Na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, o Al<sup>3+</sup>, à exceção do tratamento com aplicação apenas do gesso (T9), todos os tratamentos com doses e formas de aplicação de calcário dolomítico, com adição de gesso e com lama de cal, reduziram a concentração de Al trocável em até 79,2% (redução aproximada de 10,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para menos de 2,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, na camada superficial até 0,05 m, em relação ao tratamento controle (T1). E de 0,20 a 0,40m, a menor dose de calcário incorporado no sulco (T7) e a menor dose de calcário

e gesso incorporados no sulco (T8), reduziram a concentração de  $Al^{3+}$  em cerca de 58,9% e 65,8 %, respectivamente, em relação ao tratamento controle (T1), conforme a Figura 9, (B).

A redução na concentração do  $Al^{3+}$ , em função da adição de corretivos da acidez, está diretamente relacionada ao aumento do pH do solo. O gesso agrícola, apesar de não alterar o pH, pode contribuir com a redução da concentração e m%. De acordo com o manual de adubação e calagem para RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016), as espécies florestais são tolerantes ao Al trocável e têm menores respostas à correção da acidez.

Em relação a acidez do solo, a aplicação de calcário no sulco de plantio com menor dose (T7) e menor dose de calcário adicionado a menor dose de gesso (T8) apresentaram maiores respostas de correção da acidez em profundidade em função da incorporação do material no solo, alcançando camadas mais profundas. Com isso, temos menores teores de  $Al^{3+}$  em profundidade, beneficiando assim o crescimento melhor das raízes.

Avaliando a eficiência do gesso combinado com calcário, na melhoria dos atributos químicos do solo, em Latossolo Vermelho no RS, Dalla Nora *et al.* (2014) observaram que os decréscimos mais elevados nos teores de Al ocorreram na camada de 0,25-0,40 m; este efeito foi decorrente da alta solubilidade do gesso (cerca de 10 vezes maior que a do calcário), fazendo com que logo nos primeiros seis meses fossem constatados resultados positivos, corroborando assim os resultados do presente estudo.

Em estudo por Zandoná *et al.* (2015), que avaliou a influência da aplicação de gesso agrícola, com e sem calcário, nos atributos químicos do solo e na produtividade de milho e soja, em sistema plantio direto, observaram que os teores de  $Al^{3+}$  no solo foram baixos nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm e inferiores a 10 % de m%. No entanto, na camada de 20-40 cm, em geral, o teor de Al trocável foi superior ao das camadas superficiais, corroborando com os resultados apresentados neste trabalho.

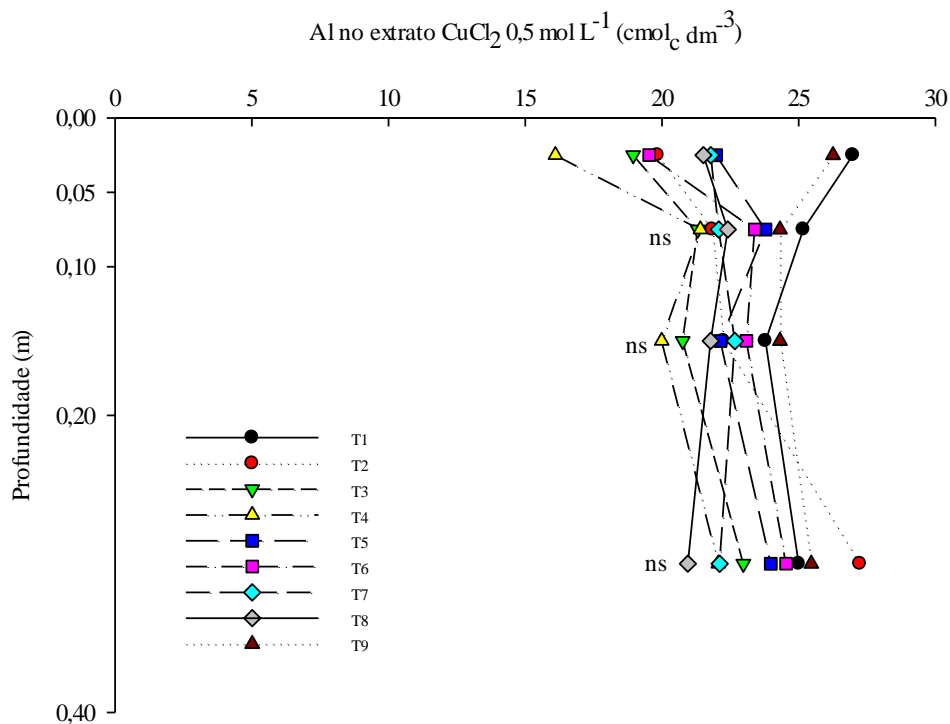
Neste mesmo estudo, entretanto com avaliação após 9 meses da aplicação dos tratamentos, em janeiro de 2017, Pflieger; Cassol; Simonete, (2020), observaram que a aplicação de calcário incorporado no sulco de plantio (T7) e com gesso (T8) reduziram o  $Al^{3+}$  em 89% e 80% na camada 0 a 0,20 m e 69% e 47%, na camada 0,20 a 0,40 m, respectivamente. Já no presente estudo, estes mesmos tratamentos, também foram eficazes na redução do  $Al^{3+}$ , na avaliação aos 31 meses após a aplicação dos tratamentos, em dezembro de 2018, para as camadas de 0,05 a 0,20 m, por vezes maiores ao que os autores relataram, bem como na avaliação aos 56 meses após aplicação dos tratamentos, em novembro de 2020, para a camada de 0,20 a 0,40 m. O que nos remete que a redução do  $Al^{3+}$  deve-se à concentração dessas fontes

de Ca, em uma área menor, além de sua incorporação, o que contribuiu para seu efeito em toda a profundidade avaliadas.

### 8.3.2 Alumínio no extrato de cloreto de cobre 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Al – CuCl<sub>2</sub>)

O Al extraído com cloreto de cobre 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Al – CuCl<sub>2</sub>), que extrai Al trocável + não trocável, pode ser observado na Figura 10, e os teores estão descritos no APÊNDICE F.

Figura 10 — Al em CuCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

\*ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

Houve redução do teor de Al – CuCl<sub>2</sub>, formas trocáveis + não trocáveis de Al, com a maior dose de calcário em superfície na faixa de plantio (T4), diminuindo em até 40,3%, em relação ao tratamento controle (T1) na camada superficial até 0,05m na avaliação aos 56 meses

após a aplicação dos tratamentos. Entretanto, nas demais camadas avaliadas não houve respostas significativas.

O extrator  $\text{CuCl}_2$  (JUO; KAMPRATH, 1979), se tem mostrado efetivo na extração das formas trocáveis e não trocáveis de Al, particularmente do alumínio complexado pela matéria orgânica, embora possam extrair igualmente polímeros de hidróxi-Al inorgânicos (JUO; KAMPRATH, 1979; HARGROVE, THOMAS, 1981). As formas não trocáveis do Al, embora não exerçam efeitos fitotóxicos diretos, atuam no tamponamento do pH do solo e afetam a atividade do  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo (JUO; KAMPRATH, 1979), influenciando, assim, na sua necessidade de calcário.

Em estudo realizado por Cunha *et al.* (2015) que abrange solos ácidos de diversas regiões brasileiras, os autores observaram que para o total das amostras, os teores de Al quantificados no extrato de  $\text{CuCl}_2$  tiveram em média 1,9 vez maiores do que no extrato de KCl, mas ocorreram casos em que foram bem mais altos. E no presente estudo também pode - se observar que os teores de Al quantificados no extrato de  $\text{CuCl}_2$  foram superiores ao do extrato de KCl nos tratamentos avaliados.

No presente trabalho, na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, na camada superficial considerando 0 a 0,10 m, a média dos teores de Al no extrato de KCl foi de  $8,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , enquanto o valor médio quantificado no extrato de  $\text{CuCl}_2$  foi de  $22,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , sendo, em média, portanto, 2,7 vezes maiores do que o primeiro. Na camada subsuperficial, considerando 0,10 a 0,40m, o valor médio de Al no extrato de KCl foi de  $9,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , e o valor médio de Al no extrato de  $\text{CuCl}_2$  foi de  $23,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , sendo assim um valor médio de 2,5 vezes mais Al do que no extrato de KCl.

Em horizontes superficiais, a maior extração de Al pelo  $\text{CuCl}_2$  verifica-se pela maior afinidade do íon Cu em deslocar Al de compostos orgânicos (JUO; KAMPRATH, 1979; OATES; KAMPRATH, 1983) e à alta acidez da solução tamponada, que provém da liberação das formas potencialmente reativas de Al, originadas de complexos com a MO, bem como de parte de polímeros inorgânicos discretos de Al-OH, de Al amorfo ou de baixa cristalinidade e também de polímeros hidróxi-Al localizados nos espaços entrecamadas dos filossilicatos 2:1 (SHIGEMITSU, 1975; URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995).

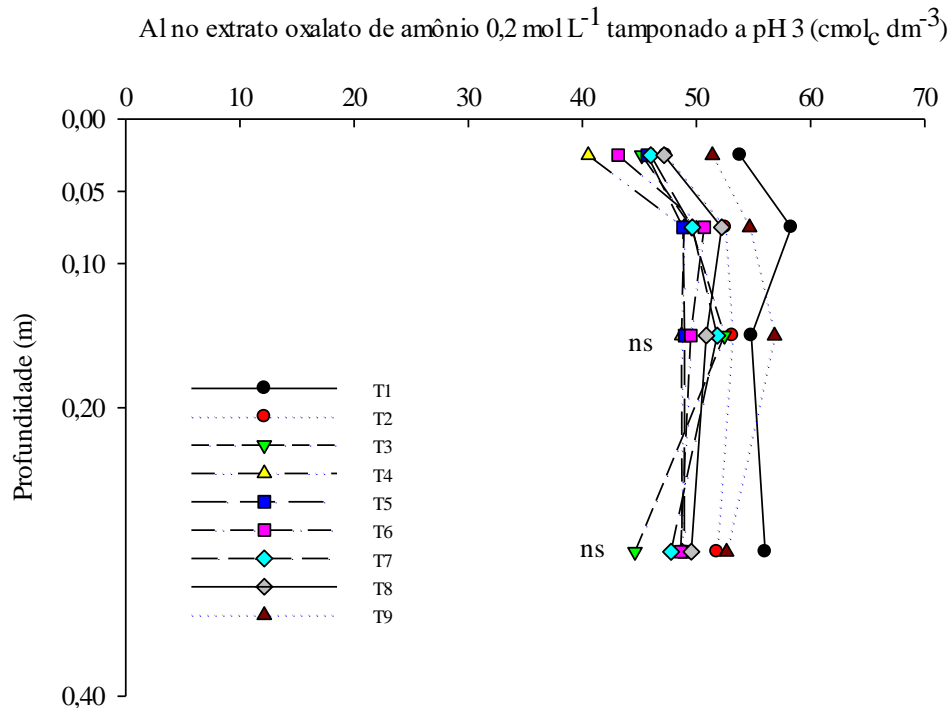
Em solos ácidos de várias regiões brasileiras, no trabalho realizado por Cunha *et al.* (2015), os autores observaram que as metodologias tradicionalmente realizadas de extração de Al pelas soluções de  $\text{CuCl}_2$  e de pirofosfato de sódio (pH 10), para quantificação de formas de Al ligadas a compostos orgânicos, apontaram níveis muito altos de Al, incompatíveis com os

baixos teores de M.O da maioria dos solos, indicando que devem ter dissolvido também formas inorgânicas de baixa cristalinidade do elemento.

### 8.3.3 Alumínio no extrato de oxalato de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ tamponado a pH 3 (Al – oxalato)

O Al extraído com oxalato de amônio  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  tamponado a pH 3,0 (Al – oxalato), considerado Al de baixa cristalinidade ou amorfo, pode ser observado na Figura 11, e os teores estão descritos no APÊNDICE F.

Figura 11 — Al em oxalato de amônio  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  tamponado a pH 3 ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

\*ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 –  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 –  $1,75 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 –  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 –  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$  de lama de cal na faixa de plantio; T6 –  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico +  $2,75 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso na faixa de plantio; T7 –  $1,75 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 –  $1,75 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário +  $1,38 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 –  $1,38 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso incorporados no sulco de plantio.

Para a avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, na camada de 0 a 0,05m houve redução no valor do Al - oxalato com a maior dose de calcário em superfície na faixa de plantio (T4) de até 24,7% em relação ao tratamento controle (T1). Na camada 0,05 a 0,10m a redução do Al - oxalato foi de até 16,2% com aplicação de lama de cal na faixa de plantio (T5) em relação ao tratamento controle (T1). Nas demais camadas não houve resposta significativa, os teores podem ser observados no APÊNDICE F.

Segundo Cunha; Almeida; Barbosa, (2014), em solos ácidos de diversas regiões brasileiras, os teores de Al quantificados nos extratos de oxalato de amônio a pH 3 foram maiores que quando extraídos com a solução não tamponada de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. A solução de oxalato de amônio parece não ter dissolvido apenas Al vindo de compostos inorgânicos amorfos, como também uma parcela considerável de compostos orgânicos, ocorrendo provavelmente em função das associações mais complexas e estáveis do Al com a M.O. Estes autores concluíram que a metodologia de extração do Al<sup>3+</sup> com a solução de KCl 1mol L<sup>-1</sup>, portanto, superestimou as formas trocáveis de Al nos solos estudados. Esse efeito decorreu da alta concentração salina do sal utilizado, que, ao incrementar a hidrólise, dissolveu parcela de Al proveniente de compostos inorgânicos amorfos e Al de compostos orgânicos.

Em solos ácidos de várias regiões brasileiras no trabalho realizado por Cunha *et al.* (2015) os autores observaram que os altos teores de Al determinados nos extratos de oxalato de amônio apresentaram participação expressiva de formas inorgânicas amorfas ou de baixa cristalinidade de compostos de Al na maioria dos solos estudados, apontando que tais compostos podem estar sendo dissolvidos e quantificados como Al trocável quando se realiza a metodologia tradicional, havendo, desta forma, superestimação dos seus teores.

No presente estudo, na avaliação aos 56 meses após a aplicação dos tratamentos, na camada superficial considerando 0 a 0,10 m, a média dos teores de Al no extrato de KCl foi de 8,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, enquanto o valor médio quantificado no extrato de oxalato de amônio foi de 49,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, sendo, em média, 6 vezes maiores do que o primeiro. E em camada subsuperficial, considerando 0,10 a 0,40m, o valor médio de Al no extrato de KCl foi de 9,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, e o valor médio de Al no extrato de oxalato de amônio foi de 50,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, portanto um valor médio de 5,5 vezes mais Al do que no extrato de KCl.

Conforme Cunha *et al.* (2015), em trabalho envolvendo solos ácidos de diversas regiões brasileiras, os autores apontaram que nos horizontes superficiais dos solos, a média do teor de Al atingido pelo KCl 1 mol L<sup>-1</sup> foi de 2,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, enquanto o teor médio quantificado no extrato de oxalato de amônio foi de 89 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, sendo assim, em média, 31 vezes maiores do que o primeiro. E os teores médios de Al no extrato de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> dos horizontes subsuperficiais

foram mais elevados, com  $10,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , para uma média de  $110 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  no extrato de oxalato de amônio, o que representa apenas 11 vezes mais Al do que no extrato de KCl.

#### 8.4 CONCLUSÕES

A aplicação de fontes de Ca, mesmo em adição a aplicação de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário em superfície em área total, de doses e aplicado em superfície seja na área total, na faixa de plantio ou incorporado no sulco de plantio, com ou sem a adição de gesso, assim como a aplicação lama de cal reduz os teores de Al extraído com KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , Al extraído com  $\text{CuCl}_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e Al extraído com oxalato de amônio  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  tamponado a pH 3,0, entretanto, esse efeito restringe-se à camada superficial, a longo prazo.

O gesso agrícola incorporado no sulco de plantio, mesmo com a aplicação de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário em superfície em área total, não afeta os teores de  $\text{Al}^{3+}$ , Al extraído com  $\text{CuCl}_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e Al extraído com oxalato de amônio  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  tamponado a pH 3,0.



## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As culturas agrícolas em geral respondem muito bem à elevação do pH, aumentando seu crescimento e produção. Entretanto, as culturas florestais, como a do gênero *Eucalyptus*, apresentam baixa resposta à elevação do pH pela calagem, pois apresentam tolerância a solos ácidos. Para essas culturas florestais, a resposta das plantas à aplicação de calcário, quando existente, tem sido atribuída à elevação dos níveis de Ca e Mg no solo, e não diretamente devido à correção da acidez do solo. Assim, o fornecimento de Ca pode ser considerado mais importante do que a neutralização completa da acidez.

As culturas florestais apresentam um ciclo mais longo e uma absorção mais lenta de nutrientes, o que pode induzir a um pensamento equivocando de que apresentam baixa exportação de nutrientes. O manejo prático das empresas tem sido geralmente a aplicação de 1 a 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico durante a implantação da floresta, utilizado apenas para aumentar os níveis de Ca e Mg do solo e suprir as exportações geradas pelas culturas durante o ciclo, principalmente Ca, que é exportado em maior quantidade pela colheita.

Mesmo com o conhecimento prático das empresas florestais e a mudança de classificação das culturas florestais pela CQFS-RS/SC, fatores a serem averiguados são a compreensão da redução da acidez do solo e dos parâmetros relacionados à acidez, a longo prazo. A quantidade e a forma de disponibilizar o suprimento de Ca, viabilizando um melhor uso de fontes de Ca, como calcário dolomítico, gesso agrícola e lama de cal. Bem como, a compreensão da influência dessas quantidades e formas de disponibilizar o Ca, a influência destes nas formas de Al no solo e a viabilização do desenvolvimento da planta, principalmente em povoamentos adultos de eucalipto.

Assim, as recomendações para Ca e Mg em povoamentos adultos para os estados do RS e SC são de 4,0 e 1,0 cmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente (CQFS-RS/SC, 2016). Foi adotado pela empresa Klabin S/A, para toda a área estudada, em aplicação prévia a aplicação dos tratamentos, a dose de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total. Os tratamentos, mesmo com essa dose aplicada, foram eficientes para reduzir atributos relacionados à acidez do solo, e alcançar níveis recomendados de Ca e Mg pela cultura, não somente em superfície, mas também em camadas mais profundas com tratamentos onde teve incorporação no sulco de plantio, nas avaliações aos 31 e 56 meses após a aplicação dos tratamentos, ou seja, em povoamento adulto de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense.

Entretanto, apenas essa aplicação que a empresa adota de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total, não foi suficiente para aumentar o pH em água a 5,2 e chegar a teores de Ca com 4,0 cmolc dm<sup>-3</sup> nas avaliações aos 31 e 56 meses após a aplicação dos tratamentos. A lama de cal, mesmo em adição de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total, é uma alternativa ao calcário, pois diminui a acidez do solo e fornece Ca em superfície, mas sua aplicação aumenta também o conteúdo de sódio.

Como a disponibilidade de Ca e Mg para a cultura do eucalipto é importante para garantir um bom desenvolvimento da planta, não podemos deixar de averiguar se os níveis recomendados estão sendo alcançados. Com este estudo, verificamos que a aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total, se faz suficiente para o desenvolvimento da planta e que não teria necessidade de aplicar doses acima deste valor, bem como outras formas de aplicação dessas fontes de Ca, considerado para o período do cultivo. E que mesmo com doses acima da aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total, e formas de aplicação distintas dessas fontes de Ca, não garantem maiores produtividades do *Eucalyptus dunnii* Maiden, em Cambissolo Húmico no Planalto Sul Catarinense. A relação Ca/Mg, mesmo com a adição de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total, é maior com a aplicação de lama de cal e gesso agrícola do que com aplicação de calcário dolomítico, em função de uma maior solubilidade no solo destes produtos, enquanto a relação Mg/K, maiores valores são observados em áreas corrigidas com calcário dolomítico.

Considerando que, os solos do Planalto Sul Catarinense são ácidos, e que o Cambissolo Húmico em questão tem em torno de 10 cmolc dm<sup>-3</sup> de Al trocável, os tratamentos estudados independentemente de doses ou forma de aplicação das fontes de Ca, mostraram-se eficientes para reduzir as formas de Al no solo, como Al trocável, Al trocável + não trocável e Al de baixa cristalinidade ou amorfo, mesmo após um longo período das aplicações dos tratamentos, exceto pela aplicação de gesso incorporada no sulco de plantio, mesmo que esta tenha a aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície em área total. O que podemos enfatizar é que a forma disponível do Al, ou seja o Al trocável, com doses superiores a 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, assim como a utilização de lama de cal e a combinação de calcário e gesso agrícola, independentemente da forma de aplicação, e mesmo após um longo período da aplicação, são importantes para a sua redução.

Finalmente, destaca-se a necessidade de a cada cultivo de eucalipto verificar os níveis de Al, Ca e Mg no solo para garantir assim um bom desenvolvimento da planta. Considerando assim que a escolha das técnicas de adubação, assim como as dosagens, deve ser baseada em resultados de pesquisa científica, experiências locais e no histórico de resposta das plantas.

## 10 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; MEDEIROS, J. C.; COSTA, A.; RENGEL, M. Aplicação de resíduo alcalino na superfície de Cambissolos. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 888 - 898, 2011.

ACR. Associação Catarinense de Empresas Florestais. **Anuário estatístico de base florestal para o Estado de Santa Catarina 2019 – Ano base 2018**. Disponível em:< [https://www.apreflorestas.com.br/wp-content/uploads/2020/03/Anuario\\_ACR\\_2019\\_atualizado.pdf](https://www.apreflorestas.com.br/wp-content/uploads/2020/03/Anuario_ACR_2019_atualizado.pdf) > Acesso em: 29 junho de 2019.

ALMEIDA, J. A.; ERNANI, P. R.; MAÇANEIRO, K. C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n. 4, p.651-656, 1999.

ALVARES, C. A.; STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C; de MORAES GONÇALVES, J. L; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2014.

ANIKWE, M. A. N.; IBUDIALO, E. A. N. Influence of lime gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu Southeastern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, v. 158, p. 32-38, 2016.

ARAÚJO, L. G; FIGUEIREDO, C. C; SOUSA, D. M. G; NUNES, R. S; REIN, T.A. Influence of gypsum application on sugarcane yield and soil chemical properties in the Brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, Australia, v. 11, p. 1557-1563, 2016.

ARAÚJO, L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; SOUSA, D. M. G. Gypsum application increases the carbon stock in soil under sugar cane in the Cerrado region of Brazil. **Soil Research**, Austrália, v. 55, p 38-48, 2017.

AZEVEDO, G. B; SOUSA, G.T.O; BARRETO, P.A.B; CONCEIÇÃO JÚNIOR, V. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 309-318, 2011.

BACHE, B. W. Aluminum mobilization in soils and waters. **Journal Geology Society**. London, v.143, p.699-706, 1986.

BAMBOLIM, A.; CAIONE, G.; SOUZA, N.F.; SEBEN-JUNIOR, G.F.; FERBONINK, G.F. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 2, n. 3, p. 34–38, 2015.

BASSO, L. H. M.; GONÇALVES, A. N.; SILVEIRA, L. V. A; LIMA, G.P.P. Efeito do alumínio no crescimento de brotações de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivadas in vitro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.167-177, 2003.

BOSSOLANI, J. W; CRUSCIOL, C. A. C; MERLOTI, L. F; MORETTI, L. G; COSTA, N. R; TSAI, S. M; KURAMAE, E. E. Long-term lime and gypsum amendment increase nitrogen fixation and decrease nitrification and denitrification gene abundances in the rhizosphere and soil in a tropical no-till intercropping system. **Geoderma**, v. 375, p. 1-12, 2020.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W. Uso de corretivos granulados na agricultura. **IPNI-International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba-SP, n. 154, p. 17-21, 2016.

CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 2, p. 209-216, 2011.

CAMARGO, M. L. P; MORAES, C. B; MORI, E.S; GUERRINI, I. A; MELLO, J. M; ODA, S. Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Científica**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.191-196, 2004.

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

COMISSÃO DE QUÍMICA FERTILIDADE DO SOLO (CQFS) – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11.ed. Frederico Westphalen: Núcleo regional Sul - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 376p, 2016.

CONSTANTINO, V. R. L.; ARAKI, K.; SILVA, D. de O.; OLIVEIRA, W.de. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 490-498, 2002.

CRUSCIOL, C. A. C.; FOLTRAN, R.; ROSSATO, O. B.; McCRAY, J. M.; ROSSETTO, R. Effects of surface application of calcium-magnesium silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v. 38, p. 1843-1854, 2014.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; BARBOZA, B. B. Relação entre o alumínio extraível com KCl e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v.38, n.5, p.1387-140, 2014.

CUNHA, G.O.M; ALMEIDA, J.A; TESTONI, S.A; BARBOSA, B.B. Formas de Alumínio em Solos Ácidos Brasileiros com Teores Excepcionalmente Altos de Al<sup>3+</sup> Extraível com KCl. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v. 39, p.1362-1377, 2015.

CUNHA, G. O. M; ALMEIDA, J. A; ERNANI, P.R; PEREIRA, E.R; SKORONSKI, E; LOURENÇO, L.S; BRUNETTO, G. Chemical species and aluminum concentration in the solution of acid soils cultivated with soybean and corn under liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v 42, p.1-16, 2018a.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; ERNANI, P. R.; PEREIRA, E. R.; BRUNETTO, G. Composition, chemical speciation and activity of ions in the solution of Brazilian acid soils. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife – PB, v.13, n.3, p. 1-10, 2018b.

DALLA NORA, D; AMADO, T. J.C; BORTOLOTTI, R.P; FERREIRA, A. O; KELLER, C; KUNZ, J. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. **Magistra**, Cruz das Almas – BA, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2014.

DELHAIZE, E.; RYAN, P. R. Aluminum Toxicity and Tolerance in Plants. **Plant Physiology**, Austrália, v. 107, n. 2, p. 315–321, 1995.

DIAS, L. P. D; GATIBONI, L. C; BRUNETTO, G; SIMONETE, M. A; BICARATTO, B. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em solo sem e com calagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria – RS, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª edição, Brasília – DF, 575p, 2017.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: Comunicações Técnicas Florestais, UnB, 47p, 2005.

ERNANI, Paulo Roberto. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages – SC, 118 - 209p, 2016.

FAGERIA, N.K; MOREIRA, A; MORAES, L. A. C; MORAES, M. F. 2014. Influence of lime and gypsum on yield and yield components of soybean and changes in soil chemical properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 45, p. 271-283, 2014.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.2, p.6-16, 1998.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras – MG, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FERREIRA, C.F; BASSACO, V.M; PEREIRA, M; PAULETTI, V; PRIOR, S.A; MOTTA, A.C.V. Dendrometric Analysis of Early Development of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* with Gypsum use Under Subtropical Conditions. **Floresta Ambiente**. Rio de Janeiro, v.27, n.1, p. 1-10, 2020.

FIGUEIREDO, O. A. R.; ALMEIDA, J. A. Quantificação das formas trocáveis e não trocáveis de alumínio em solos ácidos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas – SP, v: 15, p.151-156, 1991.

FILHO, E. P.; SANTOS, P. E. T; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos Indicados para Plantio no Estado do Paraná**. Embrapa Florestas, 45p, 2006.

GABRIEL, C. A; CASSOL, P. C; SIMONETE, M.A; MORO, L; PFLEGER, P; MUMBACH, G.L. Lime and gypsum applications on soil chemical attributes and initial growth of *Eucalyptus*. **Floresta**, Curitiba - PR, v. 48, n. 4, p. 573-582, 2018.

GAMA, M. A. P; PROCHNOW, L. I; GAMA, J. R. N. F. Estimativa da acidez potencial pelo método SMP em solos ocorrentes no Nordeste Paraense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v. 26, p. 1093–1097, 2002.

GATIBONI, LC; SILVA, WC; MUMBACH, GL; SCHMITT, DE; IOCHIMS, DA; STAHL, J; VARGAS, CO. Use of exchangeable and nonexchangeable forms of calcium, magnesium,

and potassium in soils without fertilization after successive cultivations with *Pinus taeda* in southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, Germany, v. 20, p. 665–674, 2020.

GUIMARÃES, C. C, FLORIANO, E. P, VIEIRA, F. C. B. Limitações químicas ao crescimento inicial de *Eucalyptus saligna* em solos arenosos do Pampa Gaúcho: estudo de caso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.7, p.1183-1190, jul, 2015.

HARGROVE, W. L; THOMAS, G. W. Extraction of aluminum organic matter complexes. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, p.151-153, 1981.

HARTWIG, I; OLIVEIRA, A.C; CARVALHO F.I.F; BERTANI, I; SILVA, J.A.G; SCHMIDT, D.A.M; VALÉRIO, I.P; MAIA, L.C; FONSECA, D.A.R; REIS, C.E.S. Associated mechanisms of aluminum tolerance in plants. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina – PR, v. 28, n. 2, p. 219–228, 2007.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Anuário Estatístico da IBÁ, 2021, ano base 2020**. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>> Acesso em 18 mai. 2022.

INAGAKI, T.M; SÁ, J. C. M; CAIRES, E. F; GONÇALVES, D. R.P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 231, p. 156-165, 2016.

JUO, A.S.R; KAMPRATH, E.J. Copper as an extractant for estimating the reactive aluminum pool in acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, p. 35-38. 1979.

KISSEL, D. E.; GENTZSCH, E. P.; THOMAS, G. W. Hydrolysis of nonexchangeable acidity in soils during salt extractions of exchangeable acidity. **Soil Science**, v.111, p. 293-297, 1971.

LIMA, E. S.; MONTANARI, R.; LOVERA, L. H.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GONZÁLEZ, A. P. Variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia – MS, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2017.

MACIEL, T. M. S.; ALVES, M. C.; SILVA, F. C. Atributos químicos da solução e do solo após aplicação de resíduo da extração de celulose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.19, n.1, p.84-90, 2015.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I.A. Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo – PR, v. 33, n. 74, p. 169-177, 2013.

MAEDA, S.; GOMES, J.B.V.; BOGNOLA, I.A. Crescimento de *Eucalyptus benthamii* submetido à aplicação de lama de cal e cinza de madeira. **Embrapa Florestas** - Comunicado Técnico, Colombo – PR, 1ª ed, p.1-9, 2015.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic, 3.ed., 649p, 2012.

McKEAGUE, J. A; DAY, J. H. Dithionite-and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal Soil Science**, v.46, p.13-22, 1966.

MEDEIROS, J.C.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D; GATIBONI, L.C. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina – PR, v. 19, p. 93- 98, 2008.

MENDONÇA, J. F. B. **Solo: Substrato da Vida**. 1.ed. Brasília: EMBRAPA, 155p, 2006.

MEURER, Egon. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. *et al.* **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa – MG, 66 – 86p, 2007.

MIGUEL, P. S. B; GOMES, F.T; ROCHA, W.S.D; MARTINS, C.E; CARVALHO, C.A; OLIVEIRA, A.V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, Juiz de Fora – MG, v. 24, p. 11–30, 2010.

MIRANDA, D. L. C.; JUNIOR, V. B.; GOUVEIA, D. M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Plena**, Sergipe, v.11, n.11, p.1-8, 2015.

MOTTA, ACV; MELO, VF. Química dos solos ácidos. IN: MELO, VF.; ALLEONI, LRF. **Química e Mineralogia do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Viçosa – MG, 1381p, 2019.

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

OATES, K. M.; KAMPRATH, E. J. Soil acidity and liming: I. Effect of the extracting solution cation and pH on the removal of aluminum from acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p.686-689, 1983.

OLIVEIRA, J. T. S; HELLMEISTER, J.C; SIMÕES, J.W; FILHO, M.T. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1 - Avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba – SP, n. 56, p. 113–124, 1999.

PAES, F.A.S.V; LIMA, A.M.N; HAKAMADA, R.E; BARROS, N.F. Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v. 37, p. 1081-1090, 2013.

PAULETTI, V; PIERRI, L; RANZAN, T; BARTH, G; MOTTA, A.C.V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v. 38, p. 495-505, 2014.

PRATT, P. F; BAIR, F. L. A comparison of three reagents for the extraction of aluminum from soils. **Soil Science**, v.91, p.357-359, 1961.

PÉRTILE, P; ALBUQUERQUE, J.A; GATIBONI, L.C; COSTA, A; LUCIANO, R.V. Corrective potential of alkaline residue (Dregs) from cellulose industry in an Acid Soil cultivated under no-tillage. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 48, p. 1868-1880, 2017.

PFLEGER, Priscylla. **Atributos químicos e crescimento inicial de eucalipto em Cambissolo Húmico tratado com doses e formas de aplicação de corretivos**. 2018. 98p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2018. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/cav/id\\_cpmenu/1478/Priscylla\\_Pfleger\\_15694158941837\\_1478.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1478/Priscylla_Pfleger_15694158941837_1478.pdf). Acesso em: 29 de junho de 2019.

PFLEGER, P; CASSOL, P.C; SIMONETE, M.A. Eucalyptus inicial growth on Humic Cambisol with application of limestone, gypsum, and lime mud. **Floresta**, Curitiba – PR, v. 50, n. 4, p. 1788 - 1797, 2020.

RAHMAN, R; UPADHYAYA, H. Aluminium Toxicity and Its Tolerance in Plant: A Review. **Journal of Plant Biology**, Korean, v. 64, p. 101-121, 2021.

RAIJ, B.; V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420p, 2011.

RHEINHEIMER, D. S; TIECHER, T; GONZATTO, R; ZAFAR, M; BRUNETTO, G. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a longterm experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v.313, p.7–16, 2018.

ROCHA, J.B.O; POZZA, A. A. A; CARVALHO, J.G; SILVA, C. A; CURI, N. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo húmico da Zona da Mata (MG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba – SP, v. 36, n. 80, p. 255-263, 2008.

ROCHA, J.H.T., de MORAES GONÇALVES, J. L, GAVA, J.L., GODINHO, T.O., MELO, E.A.S.C., BAZANI, J.H., HUBNER, A., ARTHUR JUNIOR, J.C., WICHERT, M.P. Forest residue maintenance increased the wood productivity of a *Eucalyptus* plantation over two short rotations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 379, p. 1–10, 2016.

ROCHA, J.H; du TOIT, B; de MORAES GONÇALVES, J. L. Ca and Mg nutrition and its application in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 442, p. 63–78. 2019.

RODRIGUES, F.A.V; ALVAREZ, V. H; BARROS, N, F; SILVA, I. R; NEVES, J, C.L. Produtividade de eucalipto aos 18 meses de idade, na região do Cerrado, em resposta à aplicação de cálcio, via calcário e gesso agrícola. **Scientia Forestalis**, Piracicaba – SP, v. 44, n. 109, p.67-74, 2016.

RODRIGUES, M., GANANÇA, J.F.T., da SILVA, E.M; dos SANTOS, T.M.M; SLASKI, J. J; ZIMNY, J; de CARVALHO, M. Â. A.P. Evidences of organic acids exudation in aluminium stress responses of two Madeiran wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 66, p. 857–869, 2019.



ROSSIELLO, R. O. P; NETTO, J. J. Toxidez de Alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Minas Gerais: SBSC, p. 375-418, 2006.

SALET, R. L. **Toxidez de alumínio no sistema de plantio direto**. 1998,109p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS. 1998. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/2662solos.pdf>. Acesso em: 20 de junho de 2020.

SHIGEMITSU, A. Extraction of active aluminum from acid soils in Japan with different reagents. **Geoderma**, v.14, p. 63-74, 1975.

SCHWERTMANN, U. Use of oxalate from Fe extraction from soils. **Canadian Journal Soil Science**, v.53, p.244-246, 1973.

SIMONETE, M. A; CHAVES, D.M; TEIXEIRA, C.F.A; MORO, L; NEVES, C.U. Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v. 37, p. 1343-1351, 2013.

SILVA, F.R; ALBUQUERQUE, J.A; GATIBONI, L.C; COSTA, A. Uso da cinza da combustão de biomassa florestal como corretivo de acidez e fertilidade de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages – SC, v.12, n.3, p. 304-313, 2013.

SILVA, F.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; GATIBONI, L.C.; MARANGONI, J.M. Cinza de biomassa florestal: Alterações nos atributos de solos ácidos do Planalto Catarinense e em plantas de eucalipto. **Scientia Agraria**. Curitiba, v. 10, p. 475- 482, 2009.

SILVA, E.V., BOUILLET, J.P., de MORAES GONÇALVES, J.L., ABREU JUNIOR, C.H., OCHEUZE TRIVELIN, P.C., HINSINGER, P., JOURDAN, C., NOUVELLON, Y., STAPE, J.L., LACLAU, J.P. Functional specialization of *Eucalyptus* fine roots: contrasting potential uptake rates for nitrogen, potassium and calcium tracers at varying soil depths. **Functional Ecology**, British Ecological Society, v. 25, p. 996 – 1006, 2011.

SILVA, I. R; NOVAIS, R.F; JHAM, G.N; BARROS, N.F; GEBRIM, F.O; NUNES, F.N; NEVES, J.C.L; LEITE, F.P. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism. **Tree Physiology**, Victoria, Canadá, v. 24, n. 11, p. 1267 – 1277, 2004.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v. 32, p. 675-688, 2008.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do Solo**. 1.ed. Minas Gerais: SBSC, 205 – 274p, 2007.

RSTUDIO TEAM (2021). **RStudio: Integrated Development Environment for R**. RStudio, PBC, Boston, MA. Disponível em:< <http://www.rstudio.com/>> Acesso em 4 de mar. 2021.

TEDESCO, M. J; GIANELLO, C; BISSANI, C. A; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. (Boletim Técnico, 5). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2.ed., 174p, 1995.

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

UBERTI, A. A. A. **Santa Catarina: proposta de divisão territorial em regiões edafoambientais homogêneas**. 2005. 185 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, SC, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102371/211338.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 junho de 2020.

URRUTIA, M.; MACÍAS, F.; GARCÍA-RODEJA, E. Evaluación del  $\text{CuCl}_2$  y del  $\text{LaCl}_3$  como extractantes de aluminio en suelos ácidos de Galicia. **Nova Acta Científica Compostelana (Biología)**, Santiago de Compostela, v.5, p.173-182, 1995.

VARGAS, G.; MARQUES, R. Crescimento e Nutrição de Angico e Canafístula sob Calagem e Gessagem. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, p.1-10, 2017.

VIEIRA, M; SCHUMACHER, M.V; TRÜBY P; ARAÚJO, E.F. Implicações nutricionais com base em diferentes intensidades de colheita da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**, Santa Maria – RS, v. 45, n. 3, p. 432–439, 2015.

WITSCHORECK, R; SCHUMACHER, M. V. Alocação de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. na região de Guaíba - Rio Grande do Sul. **Cerne**. v. 21 n. 4 p. 625-632, 2015.

YANG M.; TAN L.; XU Y.; ZHAO Y.; CHENG F.; YE S.; JIANG, W. Effect of low pH and aluminum toxicity on the photosynthetic characteristics of different fast-growing *Eucalyptus* vegetatively propagated Clones. **PLoS ONE**,10(6): e0130963, 2015.

ZANDONÁ, R. R; BEUTLER, A. N; BURG, G. M; BARRETO, C. F; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia – GO, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

## APÊNDICES

APÊNDICE A — Proporções dos elementos expressos como MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO e ZnO em amostras de calcário dolomítico, gesso agrícola e lama de cal aplicados no solo.

Elemento	Material		
	Calcário	Gesso	Lama de Cal
	----- (%) -----		
MgO	22,38	3,16	1,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,55	1,45	0,48
SiO <sub>2</sub>	15,76	8,65	1,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,39	0,99	0,77
SO <sub>3</sub>	0,47	45,68	0,89
K <sub>2</sub> O	0,90	0,05	0,00
CaO	50,83	33,47	93,15
MnO	0,12	0,02	0,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,33	3,03	0,40
CuO	0,01	0,01	0,01
ZnO	0,01	0,01	0,01

Fonte: Pflieger, (2018).

Analizado por espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (FRX).

APÊNDICE B — Valores de pH em água, pH em CaCl<sub>2</sub> e índice SMP nos tratamentos\*  
estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de  
cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m  
após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de  
*Eucalyptus dunnii*.

Profundidade (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
pH em água - 31 meses									
0 - 0,05	4,14 d	4,79 b	5,1 a	5,23 a	4,91 b	5,39 a	4,83 b	4,52 c	4,02 d
0,05 - 0,10	4,22 d	4,46 c	4,52 c	4,29 d	4,32 d	4,19 d	5,72 a	4,88 b	3,81 e
0,10 - 0,20	4,22 b	4,27 b	4,31 b	4,2 b	4,23 b	4,16 b	5,46 a	4,51 b	3,94 b
0,20 - 0,40	4,10 a	4,18 a	4,17 a	4,16 a	4,22 a	4,02 b	4,32 a	3,98 b	3,93 b
pH em água - 56 meses									
0 - 0,05	4,04 c	4,47 b	4,53 b	4,95 a	4,37 b	4,80 a	4,68 a	4,24 c	3,77 c
0,05 - 0,10	4,01	4,12	4,06	4,06	4,05	3,99	4,36	4,28	3,84
0,10 - 0,20	4,16	4,14	4,18	4,16	4,27	4,11	4,33	4,16	3,82
0,20 - 0,40	4,09 b	4,17 b	4,17 b	4,13 b	4,16 b	4,11 b	4,78 a	4,43 a	3,77 b
pH em CaCl <sub>2</sub> - 31 meses									
0 - 0,05	3,69 b	4,30 a	4,58 a	4,50 a	4,47 a	4,88 a	4,24 a	4,14 a	3,72 b
0,05 - 0,10	3,64 c	3,81 c	3,92 c	3,74 c	3,82 c	3,86 c	5,19 a	4,66 b	3,74 c
0,10 - 0,20	3,66 c	3,69 c	3,76 c	3,7 c	3,73 c	3,72 c	4,94 a	4,26 b	3,75 c
0,20 - 0,40	3,66	3,67	3,69	3,74	3,70	3,66	3,78	3,68	3,62
pH em CaCl <sub>2</sub> - 56 meses									
0 - 0,05	3,58 c	4,00 b	4,06 b	4,48 a	3,92 b	4,35 a	4,24 a	4,08 b	3,60 c
0,05 - 0,10	3,58	3,64	3,58	3,62	3,56	3,61	3,86	3,91	3,61
0,10 - 0,20	3,66	3,59	3,7	3,7	3,76	3,71	3,82	3,82	3,58
0,20 - 0,40	3,60 b	3,70 b	3,68 b	3,69 b	3,71 b	3,76 b	4,37 a	4,20 a	3,63 b
Índice SMP - 31 meses									
0 - 0,05	3,84 c	4,52 a	4,83 a	4,98 a	4,60 a	5,01 a	4,33 b	4,28 b	3,82 c
0,05 - 0,10	3,88 c	3,98 c	4,05 c	3,88 c	3,94 c	4,01 c	5,31 a	4,94 b	3,94 c
0,10 - 0,20	3,82 c	3,86 c	3,92 c	3,86 c	3,88 c	3,89 c	5,03 a	4,43 b	3,82 c
0,20 - 0,40	3,86	3,89	3,77	3,88	3,88	3,74	3,91	3,81	3,75
Índice SMP - 56 meses									
0 - 0,05	3,81 b	4,19 a	4,21 a	4,60 a	4,01 b	4,50 a	4,32 a	4,16 a	3,72 b
0,05 - 0,10	3,78	3,88	3,85	4,06	3,79	3,81	4,11	4,04	3,74
0,10 - 0,20	3,88	3,93	3,88	3,88	3,90	3,86	4,00	3,98	3,75
0,20 - 0,40	3,78 b	3,97 b	3,89 b	3,86 b	3,89 b	3,90 b	4,48 a	4,25 a	3,76 b

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

APÊNDICE C — Valores de Acidez Potencial (H+Al), Al trocável (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>) e saturação por Al (m%) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii*.

Profundidade (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 31 meses									
0 - 0,05	53,21 a	26,28 b	16,71 c	14,42 c	24,96 b	13,88 c	32,42 b	34,46 b	53,74 a
0,05 - 0,10	50,41 a	44,52 a	41,51 a	50,22 a	46,80 a	44,74 a	9,80 b	16,12 b	46,36 a
0,10 - 0,20	53,12 a	51,48 a	48,55 a	51,28 a	50,68 a	49,48 a	13,84 c	30,89 b	54,45 a
0,20 - 0,40	51,30	49,28	56,64	49,62	50,34	59,36	49,90	54,82	57,99
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	54,02 a	37,57 b	34,22 b	23,42 b	43,47 b	25,51 b	32,40 b	36,48 b	60,73 a
0,05 - 0,10	55,74	51,11	51,51	44,4	55,02	54,56	43,12	44,4	59,01
0,10 - 0,20	49,80	48,00	48,80	49,77	49,22	51,28	43,92	44,21	57,87
0,20 - 0,40	55,66 a	47,45 a	49,11 a	51,02 a	49,62 a	49,13 a	29,27 b	33,25 b	56,65 a
m% - 31 meses									
0 - 0,05	71,65 a	23,62 b	6,18 b	2,41 b	24,73 b	1,61 b	27,99 b	31,03 b	64,12 a
0,05 - 0,10	85,13 a	69,45 a	58,10 a	83,44 a	66,10 a	60,22 a	0,46 c	3,85 c	28,90 b
0,10 - 0,20	91,42 a	88,60 a	81,94 a	89,40 a	80,38 a	84,08 a	0,38 c	25,32 b	75,44 a
0,20 - 0,40	93,60	92,74	81,89	90,67	90,27	90,41	79,97	82,56	91,68
m% - 56 meses									
0 - 0,05	81,76 a	39,96 b	31,48 b	15,38 b	48,54 a	13,52 b	30,02 b	26,06 b	62,14 a
0,05 - 0,10	88,72	79,48	87,02	83,08	87,81	80,33	59,44	58,06	77,33
0,10 - 0,20	83,51	83,28	76,11	78,46	71,08	69,38	64,66	62,57	82,84
0,20 - 0,40	84,52 a	67,16 a	75,48 a	73,21 a	70,41 a	62,36 a	33,04 b	26,86 b	55,74 a

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário

dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

APÊNDICE D — Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii*.

Profundidade (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 31 meses									
0 - 0,05	1,86	4,74	6,03	6,75	8,44	9,30	4,34	7,12	4,01
0,05 - 0,10	0,48 b	1,48 b	1,98 b	0,56 b	2,37 b	3,42 b	7,97 b	18,51 a	27,64 a
0,10 - 0,20	0,22 b	0,30 b	0,62 b	0,38 b	1,00 b	0,88 b	7,14 a	7,83 a	2,59 b
0,20 - 0,40	0,14 c	0,19 c	0,21 c	0,41 c	0,44 c	0,38 c	0,70 b	1,26 a	0,68 b
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	0,86 b	3,90 a	4,56 a	6,93 a	5,09 a	8,10 a	5,22 a	6,92 a	5,34 a
0,05 - 0,10	0,42	0,88	0,42	0,52	0,54	1,07	2,59	3,12	2,34
0,10 - 0,20	0,81	0,59	1,07	0,88	2,02	2,03	1,94	2,66	1,8
0,20 - 0,40	0,57 b	1,36 b	1,07 b	1,10 b	2,00 b	2,84 b	5,04 b	10,83 a	10,11 a
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 31 meses									
0 - 0,05	1,37 c	5,07 b	6,07 a	6,40 a	1,28 c	6,38 a	4,64 b	4,06 b	0,94 c
0,05 - 0,10	0,86 c	1,91 c	2,60 c	1,11 c	1,58 c	1,80 c	7,24 a	5,03 b	0,45 c
0,10 - 0,20	0,51 c	0,67 c	1,12 c	0,62 c	1,00 c	0,83 c	7,35 a	4,16 b	0,51 c
0,20 - 0,40	0,38	0,39	2,50	0,44	0,34	0,44	1,24	0,71	0,17
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	1,16 b	3,92 a	4,79 a	6,64 a	2,01 b	5,88 a	5,44 a	5,08 a	1,28 b
0,05 - 0,10	0,81	1,45	0,98	1,38	0,78	1,34	2,93	3,1	1,09
0,10 - 0,20	1,06	1,22	1,67	1,6	1,6	1,97	2,32	2,32	0,46
0,20 - 0,40	1,27 b	2,29 b	1,90 b	2,23 b	1,76 b	2,46 b	5,36 a	5,58 a	1,12 b

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

APÊNDICE E — Relação de Ca/Mg e Mg/K nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii*.

Profundidade (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Ca/Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 31 meses									
0 - 0,05	1,13 c	0,94 c	1,00 c	1,06 c	8,45 a	1,46 c	0,92 c	1,51 c	4,54 b
0,05 - 0,10	0,54 b	0,64 b	0,68 b	0,52 b	1,70 b	1,91 b	1,18 b	3,62 b	84,77 a
0,10 - 0,20	0,43 b	0,36 b	0,48 b	0,66 b	1,04 b	0,95 b	0,98 b	1,82 b	7,27 a
0,20 - 0,40	0,36 b	0,46 b	0,32 b	0,86 b	1,42 b	0,86 b	0,54 b	1,94 b	5,20 a
Ca/Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	0,66	0,96	0,95	1,03	6,66	1,42	0,93	1,36	4,25
0,05 - 0,10	0,58 b	0,74 b	0,43 b	0,36 b	1,05 b	0,75 b	0,68 b	0,80 b	2,48 a
0,10 - 0,20	0,66 b	0,48 b	0,64 b	0,54 b	1,08 b	1,03 b	0,88 b	1,42 b	4,11 a
0,20 - 0,40	0,38	0,52	0,54	0,44	2,26	1,28	0,86	1,74	9,60
Mg/K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 31 meses									
0 - 0,05	2,04 d	10,63 b	12,32 b	16,28 a	3,48 d	19,07 a	6,36 c	7,75 c	1,74 d
0,05 - 0,10	2,09 b	7,32 b	8,02 b	4,97 b	5,68 b	7,12 b	20,51 a	19,01 a	1,44 b
0,10 - 0,20	2,12 c	3,41 c	4,80 c	3,08 c	3,26 c	3,74 c	31,93 a	20,87 b	2,84 c
0,20 - 0,40	1,74	2,11	10,94	2,11	1,31	2,44	5,62	3,88	1,1
Mg/K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	3,60 b	11,58 b	17,55 a	25,02 a	7,12 b	23,36 a	18,32 a	19,76 a	4,16 b
0,05 - 0,10	3,61	6,43	4,27	5,84	3,21	7,18	15,31	13,92	5,02
0,10 - 0,20	4,9	5,83	7,21	7,15	7,71	10,9	11,04	11,44	2,42
0,20 - 0,40	4,62 b	8,88 b	8,01 b	9,71 b	5,97 b	11,16 b	22,85 a	24,05 a	4,48 b

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 - 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 - 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 - 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 - 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.

APÊNDICE F — Teores de Al em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> após 31 e 56 meses da aplicação dos tratamentos, Al em CuCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> e Al em oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> tamponado a pH 3 (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>) nos tratamentos\* estudados, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Profundidade (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Al - KCl (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 31 meses									
0 - 0,05	9,44 a	3,31 b	0,81 c	0,32 c	2,96 b	0,24 c	3,54 b	3,90 b	9,08 a
0,05 - 0,10	10,61 a	8,22 a	6,78 a	9,86 a	8,38 a	7,88 a	0,07 b	0,58 b	8,93 a
0,10 - 0,20	10,72 a	9,94 a	9,17 a	10,53 a	9,66 a	10,21 a	0,06 c	3,66 b	10,08 a
0,20 - 0,40	10,88	10,60	10,48	9,99	10,14	10,84	8,69	10,36	11,41
Al - KCl (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	10,50 a	5,58 b	4,38 b	2,47 b	6,65 b	2,18 b	4,31 b	4,30 b	10,90 a
0,05 - 0,10	11,91	10,5	11,13	10,56	11,56	10,95	8,03	8,05	11,84
0,10 - 0,20	10,79	10,62	9,45	9,92	9,08	9,62	8,17	8,52	11,71
0,20 - 0,40	11,47 a	8,32 a	9,96 a	9,67 a	9,34 a	9,18 a	4,72 b	3,93 b	10,84 a
Al - CuCl <sub>2</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	26,98 a	19,84 b	18,95 b	16,10 b	21,98 b	19,53 b	21,79 b	21,52 b	26,26 a
0,05 - 0,10	25,17	21,84	21,31	21,41	23,79	23,39	22,08	22,41	24,32
0,10 - 0,20	23,79	22,25	20,76	19,99	22,14	23,09	22,67	21,78	24,32
0,20 - 0,40	25,00	27,24	22,98	22,06	23,98	24,54	22,11	20,95	25,46
Al - oxalato (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) - 56 meses									
0 - 0,05	53,82 a	47,32 b	45,22 b	40,50 b	45,72 b	43,13 b	46,01 b	47,16 b	51,40 a
0,05 - 0,10	58,32 a	52,50 b	49,57 b	48,92 b	48,84 b	50,68 b	49,64 b	52,21 b	54,66 a
0,10 - 0,20	54,81	53,14	52,46	48,70	48,98	49,51	51,83	50,87	56,84
0,20 - 0,40	56,02	51,79	44,62	48,76	48,94	48,61	47,78	49,55	52,64

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total; T3 - 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T4 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de plantio; T5 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de plantio; T6 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de plantio; T7 - 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio; T8 - 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio; T9 - 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso incorporados no sulco de plantio.



APÊNDICE G — pH em água, pH em CaCl<sub>2</sub>, índice SMP, H+Al, m%, Ca, Mg, CTC efetiva, CTC pH 7,0, e V% nos tratamentos\* estudados, em coleta realizada na entrelinha, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Profundidade (m)	Tratamentos		Tratamentos	
	T1	T2	T1	T2
	pH em água		Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
0 - 0,05	3,91	4,64	3,24	5,90
0,05 - 0,10	4,02	4,26	0,14	2,30
0,10 - 0,20	4,00	4,06	0,41	0,50
0,20 - 0,40	4,01	4,14	0,26	0,94
	pH CaCl <sub>2</sub>		Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
0 - 0,05	3,61	4,28	1,85 b	6,10 a
0,05 - 0,10	3,58	3,84	0,92	3,36
0,10 - 0,20	3,61	3,64	0,89	1,58
0,20 - 0,40	3,61	3,72	0,69	1,72
	Índice SMP		CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
0 - 0,05	3,75	4,36	16,19	15,82
0,05 - 0,10	3,79	4,01	13,58	14,64
0,10 - 0,20	3,86	3,80	13,88	13,50
0,20 - 0,40	3,85	3,84	13,06	13,28
	H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		CTC pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
0 - 0,05	57,80 a	31,18 b	63,19 a	43,51 b
0,05 - 0,10	55,12	46,27	56,42	52,20
0,10 - 0,20	51,18	55,41	52,69	57,74
0,20 - 0,40	51,42	52,12	52,60	54,98
	m %		V %	
0 - 0,05	69,64	22,86	8,28	31,09
0,05 - 0,10	90,28	59,96	2,34	14,36
0,10 - 0,20	89,21	82,36	2,92	4,24
0,20 - 0,40	91,20	77,91	2,21	5,41

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste T (LSD) a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total.

APÊNDICE H — Teores de K, Na e P nos tratamentos\* estudados, em coleta realizada na entrelinha, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Profundidade (m)	Tratamentos		Tratamentos		Tratamentos	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
	K (mg dm <sup>-3</sup> )		Na (mg dm <sup>-3</sup> )		P (mg dm <sup>-3</sup> )	
0 - 0,05	105,00	112,50	7,50	8,50	7,75	6,35
0,05 - 0,10	91,00	92,50	4,00	5,00	5,30	4,60
0,10 - 0,20	78,50	83,50	4,50	4,50	3,38	5,48
0,20 - 0,40	82,00	76,00	4,00	4,00	21,70	3,55

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste T (LSD) a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total.

APÊNDICE I — Relação de Ca/Mg e Mg/K nos nove tratamentos\* estudados, em coleta realizada na entrelinha, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii*.

Profundidade (m)	Tratamentos		Tratamentos	
	T1	T2	T1	T2
	Ca/Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		Mg/K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
0 - 0,05	1,86	0,94	6,78 b	21,33 a
0,05 - 0,10	0,18 b	0,58 a	4,01	14,66
0,10 - 0,20	0,43	0,31	4,56	7,66
0,20 - 0,40	0,36	0,54	3,42	9,29

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste T (LSD) a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 - 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície na área total.

APÊNDICE J — Teores de Al em KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), Al em  $\text{CuCl}_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e Al em oxalato de amônio  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  tamponado a pH 3 nos tratamentos\* estudados, em coleta realizada na entrelinha, com doses e modo de aplicação de calcário, gesso e lama de cal, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após 56 meses da aplicação dos tratamentos, em plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Profundidade (m)	Tratamentos		Tratamentos		Tratamentos	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
	Al - KCl ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ )		Al - $\text{CuCl}_2$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ )		Al - oxalato ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ )	
0 - 0,05	10,80 a	3,50 b	26,81 a	19,03 b	56,32 a	49,56 b
0,05 - 0,10	12,27	8,71	27,26	23,32	63,10	56,32
0,10 - 0,20	12,36	11,18	25,20	24,16	62,00	57,64
0,20 - 0,40	11,88	10,42	24,49	22,70	60,28	57,94

Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste T (LSD) a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \* T1 - controle; T2 –  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico superficialmente em área total.