



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

TESE DE DOUTORADO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E CRESCIMENTO INICIAL DE  
EUCALIPTO EM CAMBISSOLO HÚMICO TRATADO COM  
DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE CORRETIVOS**

**PRISCYLLA PFLEGER**

**LAGES, 2018**



**PRISCYLLA PFLEGER**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E CRESCIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO EM  
CAMBISSOLO HÚMICO TRATADO COM DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE  
CORRETIVOS**

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

**LAGES  
2018**

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

Pfleger, Priscylla

Atributos químicos e crescimento inicial de eucalipto em Cambissolo Húmico tratado com doses e formas de aplicação de corretivos / Priscylla Pfleger. -- Lages, 2018.  
98 p.

Orientador: Paulo Cezar Cassol

Co-orientador: Álvaro Luiz Mafra

Tese (Doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2018.

1. Resíduo alcalino. 2. Alumínio. 3. Acidez do solo. 4. Eucalyptus dunnii. I. Cassol, Paulo Cezar. II. Mafra, Álvaro Luiz. , .III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

**PRISCYLLA PFLEGER**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E CRESCIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO EM  
CAMBISSOLO HÚMICO TRATADO COM DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE  
CORRETIVOS**

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.

**Banca examinadora:**

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

(Prof. Dr. Paulo Cezar Cassol)  
UDESC

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

(Prof. Dr. Paulo Roberto Ernani)  
UDESC

\_\_\_\_\_  
(Prof. Dr. Geedre Adriano Borsoi)  
UDESC

\_\_\_\_\_  
(Dr<sup>a</sup> Marcia Aparecida Simonete)  
Blumeterra Serviços e Comércio

\_\_\_\_\_  
(Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta)  
UFPR

**Lages, 28 de setembro de 2018**



## **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 estabelecimento 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 dos laboratórios de Química e Fertilidade do Solo e Física do Solo por toda ajuda e momentos de descontração.

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

Ao professor Everton, por disponibilizar o Laboratório de tratamento de água e resíduos – LABTRAT, para realização de análises, e ao Diego e Gabriel pela ajuda na condução das mesmas.

Aos responsáveis pelo Laboratório de Análises de Solo, Ederson e Matheus.

Aos meus pais por toda educação e paciência, e ao meu irmão. Em especial ao meu pai por incentivo aos estudos e realização do Doutorado, seguindo seus passos na área acadêmica.

Ao amado, Tássio, que acompanhou o final desta trajetória, incentivando e motivando para que pudesse concretizar esta etapa da minha carreira.

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

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

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) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Doutorado em Ciência do Solo, Lages, 2018.

O cultivo do eucalipto tem aumentado no Brasil, com expressiva expansão das áreas exploradas para tal produção nas últimas décadas. Entretanto, as áreas de cultivo em geral possuem solos de acidez elevada, altos teores de alumínio trocável, e baixa saturação por bases, sobretudo no sul do Brasil. O eucalipto é considerado uma espécie tolerante á acidez do solo, o que tem levado à falta da utilização de corretivos ou sua aplicação em doses insuficientes, incorrendo em risco de degradação da fertilidade do solo e, conseqüentemente, em queda na produtividade. Contudo, poucas pesquisas têm avaliado a resposta do eucalipto à correção de acidez do solo. Com isso, o presente trabalho objetivou avaliar alterações nos atributos químicos e a resposta dendrométrica de um cultivo de *Eucalyptus dunnii* em decorrência de diferentes doses e formas de aplicação de corretivos de acidez em um Cambissolo Húmico. Para isso foi conduzido um experimento a campo onde foram aplicados os 9 tratamentos a seguir: T1 – controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário na faixa de preparo; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário na faixa de preparo; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo; T6 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa de preparo; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário no sulco; T8 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso no sulco; T9 – 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso no sulco. Os tratamentos foram aplicados 6 meses após o plantio das mudas. Amostras de solo nas camadas 0 - 0,05 m, 0,05 - 0,10 m, 0,10 – 0,20 m, e 0,20 – 0,40 m, e de folhas da cultura foram coletadas aos 6 e aos 12 meses após aplicação dos tratamentos, respectivamente. Foram determinados os atributos químicos do solo, o teor de nutrientes no tecido foliar e a estimativa de volume. A aplicação de lama de cal em superfície reduziu a acidez do solo nos primeiros 0,05 m e a calagem incorporada no sulco de plantio aumentou o pH do solo em toda a profundidade avaliada. A lama de cal e o calcário aplicados na faixa de preparo ou no sulco de plantio reduziram os teores fitotóxicos de alumínio no solo. O calcário e lama de cal aumentaram a saturação por bases e reduziram a saturação por alumínio nos primeiros 0,05 m do solo. A incorporação do calcário no sulco proporcionou estes resultados em profundidade até 0,40 m. A maior dose de calcário adicionada de gesso e o calcário incorporado no sulco aumentaram a capacidade de troca de cátions. A dose 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário aplicada em superfície promoveu incremento em volume estimado de madeira aos 12 meses de cultivo. Não houve aumento na produtividade do eucalipto aos 24 meses. O calcário, lama de cal e gesso não promoveram diferenças no teor de macronutrientes em tecido foliar no primeiro ano de cultivo do eucalipto. A lama de cal apresenta efeito similar ao calcário em todos os atributos avaliados.

**Palavras-chave:** Resíduo alcalino. Alumínio. Acidez do solo. *Eucalyptus dunnii*.



## ABSTRACT

PFLEGER, Priscylla. **Chemical attributes and eucalyptus initial growth on Haplumbrept as affected by lime application methods and doses.** 2018. 98p. Thesis – Santa Catarina State University, Campus of Agroveterinary Sciences, PhD in Soil Science, Lages, 2018.

Eucalyptus cultivation has increased in Brazil, with the expansion of the areas explored for production in the last decades. However, cultivated areas generally have acid soils, with high exchangeable aluminum contents and low base saturation, especially in southern Brazil. Eucalyptus is a tolerant type to soil acidity, which leads to a lack of use of correctives or its application in insufficient doses, incurring the risk of degradation of soil fertility and, consequently, a fall in productivity. However, few studies evaluated the response of eucalyptus to liming. With this, the aim of this study was to evaluate changes in soil chemical composition and dendrometric responses of a *Eucalyptus dunnii* crop due to different doses and forms of acidity correction in a Cambissolo Húmico. For this, an experiment was conducted in a field where the following 9 treatments were performed: T1 - control; T2 - 3.5 t ha<sup>-1</sup> of lime in total area; T3 - 1.75 t ha<sup>-1</sup> of lime in the ridge band; T4 - 3.5 t ha<sup>-1</sup> lime in the ridge band; T5 - 3.5 t ha<sup>-1</sup> of lime mud in the ridge band; T6 - 3.5 t ha<sup>-1</sup> of lime + 2.75 t ha<sup>-1</sup> of gypsum in the ridge band; T7 - 1.75 t ha<sup>-1</sup> of lime in the groove; T8 - 1.75 t ha<sup>-1</sup> of lime + 1.38 t ha<sup>-1</sup> of gypsum in the groove; T9 - 1.38 t ha<sup>-1</sup> of gypsum in the groove. The treatments were applied 6 months after planting the seedlings. Soil samples in layers 0 - 0.05 m, 0.05 - 0.10 m, 0.10 - 0.20 m, and 0.20 - 0.40 m, and leaves samples of the culture were collected at 6 and at 12 months after application of the treatments, respectively. Soil chemical attributes and nutrient content in leaf tissue were determined. Lime mud applied on the surface reduced the soil acidity in the first 0.05 m, and lime incorporated into the planting groove increased soil pH throughout the evaluated depth. The lime mud and lime applied in the ridge band or in the planting groove reduced the phytotoxic levels of aluminum in the soil. Lime and lime mud increased base saturation and reduced saturation by aluminum in the first 0.05 m of soil. The lime incorporation into the groove provided these results in depth up to 0.40 m. The higher dose of lime added with gypsum and lime incorporated into the groove increased the cation exchange capacity. The 1.75 t ha<sup>-1</sup> dose of lime applied on the surface promoted increase in estimated bulk volume at 12 months of cultivation. There was no increase in eucalyptus productivity at 24 months. Lime, lime mud and gypsum applications did not promote differences in macronutrient content in leaf tissue in the first year of eucalyptus cultivation. The lime mud presents an effect like lime in all evaluated attributes.

**Keywords:** Alkaline residue. Aluminium. Soil acidity. *Eucalyptus dunnii*.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Croqui de uma unidade experimental com 4 linhas e 6 plantas por linha, totalizando 24 indivíduos de <i>Eucalyptus dunnii</i> . ....	38
Figura 2 – Distribuição dos tratamentos sorteados em cada bloco experimental, totalizando 36 unidades experimentais. ....	39
Figura 3 – Valores de pH em água e teores de Al, nos nove tratamentos estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m. ...	42
Figura 4 – Teores de Ca e Mg nos nove tratamentos estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m. ....	46
Figura 5 – Teores de Na e K nos nove tratamentos estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m. ....	50
Figura 6 – Valores de capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) nos nove tratamentos estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m. ....	52
Figura 7 – Saturação por bases (V) e saturação por Al (m) nos nove tratamentos estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m. ...	54





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos e respectivas doses, doses equivalentes, materiais, forma e local de aplicação no solo. ....	35
Tabela 2 – 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. ....	37
Tabela 3 – Descrição dos tratamentos com respectivas doses, materiais, forma e local de aplicação no solo. ....	62
Tabela 4 – Altura de plantas de <i>Eucalyptus dunnii</i> aos 12, 15 e 24 meses de idade em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação. ....	65
Tabela 5 – Diâmetro na altura do peito (DAP) médio de plantas de <i>Eucalyptus dunnii</i> aos 12, 15 e 24 meses de idade em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação. ....	68
Tabela 6 – Volume de madeira (m <sup>3</sup> ) médio de um indivíduo de <i>Eucalyptus dunnii</i> aos 12, 15 e 24 meses de idade em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação. ....	70
Tabela 7 – Volume de madeira (m <sup>3</sup> ) estimado por hectare de <i>Eucalyptus dunnii</i> aos 12, 15 e 24 meses de idade, e incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) aos 24 meses de idade em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação. ....	73
Tabela 8 – Teor dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio determinados em tecido foliar de indivíduos de <i>Eucalyptus dunnii</i> com 12 meses de idade cultivados em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação. ....	76



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO COM CULTIVO DE EUCALIPTO TRATADO COM DIFERENTES DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO, GESSO AGRÍCOLA E LAMA DE CAL</b> .....	<b>23</b>
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1.1	<b>Eucalipto, solo e acidez</b> .....	<b>23</b>
2.1.2	<b>Calcário, gesso agrícola e lama de cal</b> .....	<b>26</b>
2.1.3	<b>Alumínio, cálcio e magnésio</b> .....	<b>29</b>
2.1.4	<b>Capacidade de troca de cátions e saturação por bases</b> .....	<b>31</b>
2.2	HIPÓTESES .....	33
2.3	OBJETIVOS.....	33
2.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.4.1	<b>Descrição da área experimental</b> .....	<b>34</b>
2.4.2	<b>Tratamentos aplicados e delineamento experimental</b> .....	<b>35</b>
2.4.3	<b>Análises químicas e estatística</b> .....	<b>39</b>
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
2.5.1	<b>Alumínio e pH em água</b> .....	<b>40</b>
2.5.2	<b>Cálcio, magnésio, sódio e potássio</b> .....	<b>45</b>
2.5.3	<b>Capacidade de troca de cátions, saturação por bases e saturação por alumínio</b> .....	<b>51</b>
2.6	CONCLUSÕES.....	57
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO II – DESENVOLVIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO À APLICAÇÃO DE CALCÁRIO, GESSO E LAMA DE CAL EM CAMBISSOLO HÚMICO</b> .....	<b>59</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	59
3.2	HIPÓTESES .....	60
3.3	OBJETIVOS.....	61
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	61
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65
3.5.1	<b>Altura, diâmetro e volume estimado</b> .....	<b>65</b>
3.5.2	<b>Estado nutricional das plantas</b> .....	<b>75</b>
3.6	CONCLUSÕES.....	79
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>83</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>95</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil atingiu uma estimativa de 7,84 milhões de hectares ocupados por plantios florestais em 2016, tendo crescimento de 0,5% em comparação ao ano anterior (IBA, 2017), considerando ainda que esta estimativa abrange somente empresas registradas, onde a área que realmente é ocupada por estes plantios é muito maior. Desse total, 72% são representados por plantios de eucaliptos, cuja produção se destaca a nível mundial pelo alto rendimento e competitividade de custos de produção (GUIMARÃES et al., 2015).

O gênero *Eucalyptus*, popularmente conhecido como eucalipto, por apresentar alto rendimento e se adaptar a diversas condições climáticas e diferentes solos, é tratado como tolerante à acidez e baixa fertilidade do solo, e que normalmente não requer adubação para seu desenvolvimento. Entretanto, diversos estudos indicam que a produtividade aumenta quando há melhor suprimento de nutrientes, menor acidez e umidade adequada no solo. Assim, há necessidade de estudos com relação a sensibilidade à acidez do solo e toxidez por alumínio (Al) das espécies florestais plantadas, visto que há uma grande variação entre elas, especialmente quanto à resposta à aplicação de corretivos (VARGAS; MARQUES, 2017).

Solos ácidos ocupam mais de 40% da superfície arável da terra, e com isso, estudar a tolerância de espécies florestais a altos níveis de Al no solo é importante para aumentar o potencial produtivo destes solos e melhorar a produtividade de culturas agrícolas e florestais (YANG et al., 2015). No sul do Brasil, especialmente nas regiões mais altas, como o Planalto Catarinense, os solos são ácidos, com pH geralmente abaixo de 5,0, capacidade de troca de cátions variável, baixa saturação por bases e teores elevados de Al (UBERTI, 2005), Grande parte dos plantios de eucalipto de Santa Catarina ocorrem nessa região, onde a correção da acidez do solo é necessária para proporcionar melhores condições de solo para o desenvolvimento das plantas.

O solo deve ser avaliado em sua capacidade de disponibilizar nutrientes às plantas, para melhor definição de quantidades e tipos de fertilizantes e corretivos, e do manejo geral que devem ser adotados. Vários materiais têm sido estudados quanto seu potencial corretivo do solo, além do potencial fertilizante, como por exemplo resíduos de indústrias em geral e da madeira, celulose e papel. (CORRÊA

et al., 2009; MACIEL et al., 2015; POSSATO et al., 2014; MAEDA; BOGNOLA, 2013).

O calcário, que é o corretivo da acidez padrão, geralmente é aplicado em superfície nos plantios florestais. Assim, corrige a acidez e eleva teores de Ca e Mg na camada superficial, pois seus efeitos se concentram na zona de contato com o solo e sua movimentação em profundidade é muito baixa. Já o gesso, como complemento, pode contribuir para que o Ca e o Mg alcancem camadas mais profundas, sendo interessante para estimular o desenvolvimento radicular enquanto a ação corretiva do calcário ainda não atingiu camadas mais profundas (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Avaliando efeito do calcário e do gesso sobre atributos químicos do solo em cultivo de duas espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, Vargas & Marques (2017) encontraram redução dos teores de Al trocável ( $Al^{3+}$ ) e da acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) após aplicação de calcário, e elevação dos teores de  $Ca^+$ ,  $Mg^+$  e saturação por bases (V%). Com aplicação de gesso, que apresenta maior solubilidade e reatividade, o teor de  $Ca^+$  foi superior ao tratamento que recebeu a mesma quantidade na forma de calcário e diminuiu a saturação por Al, não por redução dos teores de Al e sim pela elevação da capacidade de troca de cátions a pH 7 (T). A calagem resultou em melhoria da qualidade das mudas produzidas.

Rodrigues et al. (2016) avaliaram produtividade de eucalipto após aplicação de calcário e gesso e observaram aumento na produtividade após aplicação de calcário de pelo menos 56%. Na aplicação de calcário e gesso, se comparado a ausência ou presença isolada do calcário, foi maior. Avaliando 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. Comparando produtividade e características físicas e químicas da madeira de eucalipto após aplicação bio sólido (lodo de esgoto) e adubação química (calcário dolomítico + suplementação) em Latossolo Vermelho-Amarelo, Barreiros et al. (2007) obtiveram aumento na produtividade após aplicação dos tratamentos, com semelhança entre adubação química e aplicação de bio sólido.

Apresentando adaptação às condições relacionadas à acidez do solo, geralmente os plantios de eucalipto não recebem calagem e restam dúvidas sobre seu comportamento e resposta após aplicação de corretivos da acidez e complementos. Além disso, também há demandas de estudos para se conhecer as

alterações que esses materiais provocam nos atributos químicos do solo relacionado à acidez. Assim, estudos sobre doses e formas de aplicação da calagem e outros corretivos são necessários a fim de aprimorar as recomendações atuais frente a expansão da eucaliptocultura na região Sul do Brasil (GUIMARÃES et al., 2015).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos nas propriedades químicas do solo com relação à acidez e o crescimento inicial de *Eucalyptus dunnii* em função da aplicação de calcário dolomítico, gesso agrícola e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.





## 2 CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO COM CULTIVO DE EUCALIPTO TRATADO COM DIFERENTES DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO, GESSO AGRÍCOLA E LAMA DE CAL

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1.1 Eucalipto, solo e acidez

O eucalipto é uma espécie que evoluiu ao longo do tempo se adaptando em diferentes condições de temperatura, disponibilidade nutricional, condições de estresse hídrico e outros, o que explica o grande número de espécies existentes hoje na natureza e sua ampla dispersão a partir de sua região de origem (FILHO et al., 2006). Com origem na Oceania, o gênero *Eucalyptus* corresponde a árvores com elevada taxa de crescimento, tronco em formato retilíneo e madeira com variações nas propriedades tecnológicas, sendo possível sua utilização nas mais diversificadas áreas (OLIVEIRA et al., 1999).

Através de conhecimentos silviculturais e avanços no melhoramento genético durante a metade do último século, a capacidade produtiva de biomassa cresceu de maneira expressiva no Brasil. As áreas de plantio dessa espécie prevalecem em relação as outras devido à grande versatilidade de uso da sua madeira. Seu uso vai desde a finalidade energética até produtos nobres como lâminas e móveis (FILHO et al., 2006).

Com a crescente demanda por produtos madeireiros e a escassez de madeira de espécies arbóreas nativas, a exploração de áreas florestais aumenta e a busca por espécies de crescimento rápido como o eucalipto é de grande interesse, principalmente pela grande variabilidade em espécies (WILCKEN et al., 2008).

Para as condições da Região Sul do Brasil, poucas são as espécies de eucalipto economicamente importantes. Considerando a boa aptidão para produção de madeira com fins energéticos e/ou sólidos madeiráveis, a Embrapa Florestas dado ênfase a pesquisas com as espécies *Eucalyptus dunnii*, *E. benthamii*, *E. saligna* e *E. grandis* (FILHO et al., 2006).

Um dos componentes importantes de um ecossistema agrícola que pode ser alterado com facilidade pelo homem é o solo. Em regiões úmidas há predominância

de solos ácidos e com isso são realizadas correções através da calagem, necessária para se melhorar a produtividade dos plantios (TEBALDI et al., 2000).

Os solos podem ser naturalmente ácidos dependendo do material que lhe dá origem e do processo de intemperismo (SOUSA et al., 2007), além dos cultivos e adubações que podem levar a esse processo (LOPES et al., 1991). Em regiões com altos níveis de precipitação, os solos sofrem maior perda de cátions de caráter básico (Ca, Mg, K e Na) do complexo de troca por lixiviação, restando conseqüentemente os de caráter ácido (H e Al) (SOUSA et al., 2007). É o caso da maioria dos solos do Sul do Brasil, que tem Al trocável elevado e baixa saturação por bases, sendo a calagem imprescindível para melhor produção das culturas (ALMEIDA et al., 2005).

Entre os solos característicos do Sul do Brasil, se destacam os Cambissolos, cuja descrição se dá por Horizonte B Incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Sequência de horizontes A ou Hístico, Bi, C, com ou sem R. Solos de fortemente a imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-avermelhado até vermelho escuro, e de alta a baixa saturação por bases, válido também para a atividade química da fração argila. O horizonte B incipiente (Bi) tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, e o solum geralmente apresenta teores uniformes de argila. Estrutura em blocos, granular ou prismática, alguns casos de solos com ausência de agregados, com estrutura em grãos simples ou maciça. A presença de plintita ou gleização pode ocorrer em solos desta classe (MENDONÇA, 2006; EMBRAPA, 2006).

A acidez do solo pode ser de dois tipos, ativa e potencial, sendo a última resultante da soma da acidez trocável e não-trocável. A acidez ativa corresponde ao hidrogênio ( $H^+$ ) dissociado na solução do solo que tem sua forma expressa em valor de pH. A acidez potencial trocável refere-se aos íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$  retidos na superfície dos colóides por forças eletrostáticas enquanto a não-trocável é representada pelo hidrogênio de ligação covalente associado aos colóides de carga negativa variável e compostos de Al. Considerando estes conceitos, a calagem visa corrigir parte da acidez potencial de modo a diminuir a toxicidade do Al que é prejudicial às plantas (LOPES et al., 1991). Com a determinação da acidez potencial ( $H + Al$ ) é possível medir o poder tampão do solo, calcular capacidade de troca de cátions indiretamente e recomendar doses adequadas de corretivo (GAMA et al., 2002).

O Al apresenta alta relação carga/tamanho e baixo valor de constante de hidrólise ( $pK_h = 5,14$ ), indicando que sua hidrólise é mais fácil que de outros elementos, como cálcio ( $Ca - pK_h = 12,70$ ), magnésio ( $Mg - pK_h = 11,42$ ) e sódio ( $Na - pK_h = 14,48$ ). Com a hidrólise do Al ( $Al^{+3}$ ), ocorre a liberação de hidrogênios ( $H^+$ ) refletindo na acidez do solo (ERNANI, 2008; BRANCALIÃO et al., 2015). Além da sua atuação na acidez do solo, o Al influencia na fisiologia da planta atuando na inibição da divisão celular, na síntese de DNA e mitose, afeta a fixação do P, reduz a respiração celular, afeta absorção e transporte de nutrientes e água, e altera metabolismo de poliaminas, resultando em inibição do crescimento radicular, produção de biomassa e altura das plantas (BASSO et al., 2007).

Lima et al. (2007) obtiveram crescimento de plantas de mamoneira prejudicado após adição de Al. Basso et al. (2003) concluíram que em doses crescentes de Al houve indisponibilização de nutrientes, alterando metabolismo celular, ocasionando alteração na morfologia da parte aérea, acúmulo de massa seca e redução de proteínas solúveis totais.

A aplicação de corretivos como calcário e gesso eleva os teores de Ca e Mg, além de outros elementos, e com isso ocorre também a elevação da saturação por bases. Conseqüentemente, a saturação dos sítios de ligação por Al reduz, tendo maior presença de Ca e Mg no solo, o que resulta em mais contato com o sistema radicular. Observando trabalhos que envolveram calagem do solo, os resultados mostram redução da acidez, redução da saturação por Al e elevação da saturação por bases (FURTINI NETO et al., 1999; SENA et al., 2010; BAMBOLIM et al., 2015).

Amaral et al. (2017) observaram redução na concentração de Al trocável após aplicação de gesso agrícola até a profundidade de 0,40 m. explicado pelo aumento das concentrações de Ca e Mg no perfil do solo, ocorrendo liberação do enxofre (S) e formação de par iônico com o  $SO_4^{-2}$  proveniente do gesso. Com isso, ocorre aumento da exploração radicular, aumento de absorção de água e nutrientes posteriormente convertidos em aumento de produtividade.

A acidez do solo afeta a produção de culturas não somente pela possível presença de Al trocável, mas pela interferência na disponibilidade de nutrientes para as plantas. A calagem aumenta produção de nitrato, que é mais móvel no perfil do solo (ROSOLEM et al, 2003), aumenta disponibilidade de fósforo (P), pois reduz a adsorção de fosfato no solo (CARDOSO et al., 2015) e aumenta CTC melhorando

capacidade de retenção de cátions no solo (K, Ca, Mg) podendo fornecer estes nutrientes para a planta em longo prazo.

### **2.1.2 Calcário, gesso agrícola e lama de cal**

O calcário, ou rocha calcária moída, é o corretivo padrão, geralmente empregado para elevar o pH e aumentar a quantidade de bases trocáveis (ROSSIELLO; NETTO, 2006). Este material tem em sua composição minerais de calcita e dolomita (carbonatos de Ca e/ou Mg) pouco solúveis em água. E para que ocorra neutralização da acidez do solo, estes compostos precisam entrar em contato com as partículas do solo, então é necessária sua incorporação (WEIRICH NETO et al., 2000). O calcário reduz a atividade do Al através de sua precipitação como hidróxido, e em algumas regiões distantes das mineradoras seu custo acaba inviabilizando seu uso. Por isso, considera-se que a seleção de espécies tolerantes é de grande importância no manejo de solos ácidos (ROSSIELLO; NETTO, 2006).

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. 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%.

É desejável que o calcário também se desloque para as camadas mais profundas do solo, onde geralmente há baixo teor de Ca e alto de Al, porém, devido sua baixa solubilidade e baixa mobilidade, sua ação acaba sendo restrita na camada em que foi incorporada. Entretanto, em solos com maior teor de material orgânico, pode ocorrer movimentação do Ca para camadas mais profundas do solo além do local onde esse cátion foi aplicado (PÁDUA et al., 2006). A presença deste cátion na solução do solo em contato com as raízes é essencial para sobrevivência da planta, pois o mesmo não é móvel e não é translocado da parte aérea para raízes em crescimento (CAIRES et al., 2001). Caso o calcário aplicado não seja incorporado adequadamente, o processo apresenta risco de supercalagem superficial e gerar problemas de correção inadequada da acidez em camadas mais profundas (PÁDUA et al., 2008).

Este problema pode ocorrer em casos onde a correção da acidez em profundidade é necessária, mas o sistema de cultivo existente não necessita de

preparo convencional não havendo revolvimento do solo, que tem um certo custo pois exige máquinas e equipamentos caros (CAIRES et al., 1998). Os custos de aplicação de calcário são altos, mesmo no início do processo produtivo, e por escassez de recursos, as doses muitas vezes ficam abaixo do recomendado, ou até mesmo, deixa-se de aplicar o produto, o que resulta em baixo rendimento das culturas. Assim, é interessante testar alternativas de doses e formas de aplicação de calcário e outros corretivos para aumentar o rendimento e obter maiores chances de lucro para os produtores (ALMEIDA et al., 1999; ROCHA et al., 2008).

A calagem neutraliza o Al do solo, fornece Ca e Mg como nutrientes e promove o aumento da CTC efetiva, reduzindo a lixiviação de bases. Permite um melhor desenvolvimento radicular facilitando a absorção e a utilização dos nutrientes e da água (SOUSA et al., 2007). Também estimula atividade microbiana e favorece fixação biológica de nitrogênio (N) no caso de algumas espécies florestais (BELLOTE; NEVES, 2001). Já a gessagem não aumenta o pH, mas pode diminuir a toxicidade do Al, especialmente pelo aumento da saturação relativa de Ca na CTC.

A elevação do pH pelo calcário é devida a presença do  $\text{CO}_3^{2-}$  que se hidroliza promovendo reações na solução aumentando os teores de  $\text{OH}^-$  na solução do solo e conseqüentemente a redução de íons  $\text{H}^+$  pela formação de água, e  $\text{Al}^{3+}$  através de precipitados de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (LOPES, 1998).

O gesso agrícola é um sulfato de Ca ( $\text{CaSO}_4$ ) resultante da fabricação do ácido fosfórico. Sua utilização na agricultura tem sido pesquisada e recomendada (CHRISTO; SANTOS, 1990). Além de fonte de Ca trocável no solo, o gesso agrícola atua reduzindo a saturação por Al em camadas ácidas mais profundas do solo devido a sua maior solubilidade em água (2,05 g/L) em relação ao calcário (0,014 g/L) e presença do íon acompanhante  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ao ser aplicado no solo, parte do gesso dissolvido desloca-se para as camadas inferiores aumentando os teores de Ca, reduzindo a toxidez por Al, o que favorece o aprofundamento do sistema radicular, aumentando o volume de solo explorado para absorção de água e nutrientes pelas plantas em épocas de estiagem (MENDONÇA, 2006). A solubilização do gesso no solo é representada pela reação:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{\text{sol}} + \text{SO}_4^{2-}_{\text{sol}} + \text{CaSO}_4^0_{\text{sol}}$  (NETO et al., 2001).

As espécies de plantas têm diferentes níveis de tolerância a toxidez de Al, inclusive entre plantas de mesma espécie. Por isso não existe uma definição de qual é a condição de deficiência de Ca ou toxicidade ao Al que se deve realizar a

gessagem. Além disso deve-se analisar o solo, além da superfície até 0,20 m, em sua camada de subsuperfície, de 0,20 – 0,40 m (NETO et al., 2001).

Estudos de resposta dos clones modernos de eucalipto à calagem e à gessagem, inclusive em modo localizado no sulco de plantio, são necessários fornecendo subsídios para o ajuste das recomendações desses corretivos às condições edafoclimáticas da Serra Catarinense, aumentando o rendimento de madeira e o retorno econômico da atividade. As áreas florestais são implantadas geralmente em solos de baixa aptidão agrícola em regiões de topografia inadequada para cultivos mecanizados e por serem ácidos e de baixa fertilidade natural (Maeda; Bognola, 2013).

De toda área florestal registrada produzida no país, a produção de celulose atualmente compreende 34% do mercado comparado com outras finalidades do uso da madeira produzida (IBÁ, 2017). Com a elevada produção do setor surge a alta geração de resíduos na indústria que necessitam de uma destinação adequada. Cerca de 48 toneladas de resíduos são geradas para cada 100 toneladas de celulose produzida (BELLOTE et al., 1998).

Entre os principais resíduos gerados no processamento da madeira para extração de celulose e fabricação de papel, destacam-se a lama da cal, gerada nos filtros de lama de cal (carbonato de Na), grits, gerado no processo de apagamento da cal para produção de licor branco (soda cáustica), dregs, gerados na clarificação do licor verde (carbonato de Na + sulfeto), casca da madeira de pinus ou eucalipto, resíduo celulósico, cinzas oriundas da queima de biomassa e lodo da estação de tratamento de efluentes (ANHAIA; BORSZOWSKI, 2012; MAEDA et al., 2015). Apesar das unidades de recuperação para reutilização existentes no processo, a quantidade residual supera a da recuperação, sendo necessários estudos com relação a viabilidade de uso em outros setores, como o de correção e fertilização de áreas de plantios.

O uso destes resíduos vem ganhando importância pelas suas características químicas e físicas, podendo serem utilizados como fonte nutricional para as culturas florestais e atuarem na melhoria de propriedades físicas e químicas do solo. Esta importância aumenta considerando a crescente demanda mundial por fertilizantes que causam elevação nos custos de aquisição e aplicação, levando silvicultores a procurar meios alternativos para reduzir despesas (MAEDA et al., 2015).

Durante a recuperação do licor de cozimento no processo de cozimento da madeira para separação das fibras de celulose o resíduo lama de cal é gerado. Este material possui alto teor de Ca e poder relativo de neutralização total (PRNT) acima de 90%, sendo qualificado como excelente corretivo da acidez do solo (MAEDA; BOGNOLA, 2013). Portanto, quando se trata de insumos não convencionais, que apresentam baixo custo e alto potencial de incremento na produtividade, a pesquisa se torna atraente. Dentre estes insumos podemos citar os resíduos industriais como a lama de cal (STAPPE; BALLONI, 1988).

Contudo, deve-se considerar que em sua constituição há presença de Na, embora em baixa proporção, que pode ter potencial de salinidade e desagregação ao solo, e baixo teor de Mg, necessitando talvez de adubação complementar no futuro em relação a este nutriente. Maeda e Bognola (2013) estudando efeitos da aplicação de resíduos no solo observaram que os mesmos reduzem acidez do solo e teores de Al, e que a lama de cal foi mais efetiva como fonte de Ca, aumentando expressivamente a relação Ca/Mg. Para Maeda et al. (2014) o Na não foi caracterizado um problema pois, encontraram alterações somente com doses mais elevadas, e considerando sua solubilidade e seu baixo teor no solo, a sua saída do sistema seria rápida.

### **2.1.3 Alumínio, cálcio e magnésio**

O Al compõe 8% da crosta terrestre ficando em terceiro lugar em abundância na litosfera, após oxigênio e silício (CONSTANTINO et al., 2002), é um cátion trivalente de pequeno raio iônico e alta densidade, e tem grande afinidade por oxinions inorgânicos e orgânicos. O Al ocorre na fase sólida do solo como forma de minerais primários ou secundários, como aluminossilicatos, oxi-hidróxidos, sulfatos e fosfatos (ROSSIELLO; NETTO, 2006). A forma solúvel do elemento é tóxica à maioria das plantas mesmo em concentrações micromolares, o potencial de toxidez é alto, porém a maior parte do Al é rodeado por ligantes ou ocorrem em outras formas não fitotóxicas como aluminossilicatos e precipitados. Assim, em baixos valores de pH sua solubilização é aumentada (DELHAIZE; RYAN, 1995) e a presença de Al é o maior fator limitante no crescimento das plantas em solos ácidos (NOBLE et al., 1996; TAHARA et al., 2005) além do Mn, o próprio pH e deficiência

ou baixa disponibilidade de elementos essenciais como Ca, Mg, P e Mo (AGGANGAN et al, 1996).

Algumas plantas são mais tolerantes a certos níveis de Al no solo, apresentando maior adaptabilidade em solos ácidos como, por exemplo, o eucalipto. Dois mecanismos podem explicar a tolerância das plantas ao Al, um conhecido como mecanismo de exclusão e outro como mecanismo interno ou de reparo. No primeiro, o Al é impedido de chegar aos sítios de toxicidade devido à liberação de ácidos orgânicos (malato, citrato e oxalato) pelas raízes, que complexam estavelmente o Al (quelação), impedindo sua absorção e evitando sua interação com componentes celulares e sua entrada no simplasto radicular (MIGUEL et al., 2010; HARTWIG et al., 2007). Apesar de secreção de ácidos orgânicos, como malato e citrato, poderem contribuir para a adaptação global de espécies de eucalipto em solos alumino-tóxicos, não significa ser o único mecanismo básico de tolerância ao Al (SILVA et al., 2004). O segundo permite a entrada do Al na célula. Porém, este é neutralizado por enzimas ou isolado no interior do vacúolo, onde ocorre a complexação dos cátions (MIGUEL et al., 2010). Há também especulações sobre um maior número de mecanismos de tolerância ao Al e as diferenças entre espécies vegetais quanto a estes mecanismos (HARTWIG et al., 2007).

O sintoma mais facilmente observado na fitotoxicidade de Al é a inibição do alongamento das raízes (DELHAIZE; RYAN, 1995) com subsequente prejuízo de absorção de nutrientes e água (NGUYEN et al., 2003). O ápice da raiz (coifa, meristema e zona de alongação) acumula mais Al e acarreta maiores danos físicos que tecidos de raízes maduras (DELHAIZE; RYAN, 1995).

Em trabalho realizado por Yang et al. (2015), o baixo pH associado a toxicidade por Al resultou em decréscimo no conteúdo de clorofila, taxa de fotossíntese, taxa de transpiração e eficiência no uso da água causados pela redução das células do mesófilo foliar e desenvolvimento de folhas mais finas. Eles afirmam também que, para clones de eucalipto, a taxa fotossintética pode ser considerada como um indicador de referência para tolerância ao Al, mas diferentes espécies apresentam diferentes respostas devido aos diferentes níveis de tolerância.

Basso et al. (2003) submeteram brotações de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* a crescentes doses de Al e observaram alterações estruturais na parte aérea, notou-se diminuição do crescimento em altura e formação de massa



calosa, enrijecida, com sinais visíveis de oxidação, promovendo um escurecimento do material vegetal.

O Ca está presente no solo em teores que podem passar de  $250 \text{ g kg}^{-1}$  e pode ocorrer nas formas de carbonatos, sulfatos e silicatos. Geralmente em maiores teores em solos argilosos do que arenosos apresentando-se nas formas trocável e solúvel. Por ser um cátion, participa do fenômeno de troca de cátions (CTC) sendo retido como  $\text{Ca}^{2+}$  nas superfícies com cargas negativas das argilas e da matéria orgânica do solo (VITTI et al., 2006).

Este nutriente é absorvido pelas plantas na forma  $\text{Ca}^{2+}$  e após transportado para as folhas torna-se imóvel (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; SOUSA et al., 2007; VITTI et al., 2006). Com isso, em deficiência de Ca, as folhas jovens e tecidos novos desenvolvem sintomas como aspecto gelatinoso nas pontas e nos pontos de crescimento, e em casos severos ocorre a morte do ponto de crescimento (LOPES, 1998) afetando o desenvolvimento das raízes e o crescimento da planta.

O Mg é o oitavo elemento mais abundante na crosta terrestre com teor médio de  $19,3 \text{ g kg}^{-1}$  dependendo da origem geológica. É encontrado nas formas não-trocável, trocável e na solução do solo (DECHEN; NACHTIGALL, 2007) sendo a forma não-trocável a predominante (VITTI et al., 2006).

Com a deficiência de  $\text{Mg}^{2+}$ , os sintomas são mais evidentes nas folhas, as mais velhas são afetadas primeiro seguindo para as mais jovens, apresentando sintomas como clorose ou pintas vermelhas/roxas, podem apresentar áreas necrosadas e posteriormente a perda das mesmas (WALLACE, 1946).

A relação entre Ca e Mg também é importante, pois o excesso de um pode afetar disponibilidade do outro assim como 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  $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ .

#### **2.1.4 Capacidade de troca de cátions e saturação por bases**

A composição dos minerais de argila em camadas de tetraedros de silício (Si) e/ou octaedros de Al é definida no processo de sua formação, quando pode

acontecer de um átomo de  $\text{Al}^{3+}$  entrar no espaço de um  $\text{Si}^{4+}$ , ou um átomo de  $\text{Mg}^{2+}/\text{Fe}^{2+}$  ocupar o lugar de um de  $\text{Al}^{3+}$ . Isto ocorre devido à similaridade em seus raios iônicos e é conhecida por substituição isomórfica (ERNANI, 2008). Assim, as estruturas passam a ter um excedente de cargas negativas em proporção direta ao número de átomos substituídos (MATHEW; RAO, 1997) e a natureza corrige através de outros cátions ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ), os cátions trocáveis (JENNY, 1980).

Outro mecanismo de geração de cargas negativas na superfície das partículas coloidais do solo é a desprotonação de grupos funcionais das substâncias húmicas e de moléculas de água e oxidrilas adsorvidas à superfície de óxidos de Fe e Al e às arestas laterais das argilas, promovida pelo aumento no pH do solo (ERNANI, 2008).

Cátions trocáveis do solo são elementos aderidos a superfície dos minerais do solo, ou de compostos orgânicos, que podem ser substituídos por outros presentes na solução salina caracterizando uma reação reversível (CHAPMAN, 1965). Assim, a capacidade de troca de cátions (CTC) é definida como a soma de todos os cátions trocáveis do solo e é expressa em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  de solo (RONQUIM, 2010). A CTC é uma característica físico-química fundamental e um bom indicador de atividade coloidal e através dela é possível ter uma ideia dos minerais adsorvidos que predominam na fração argila, não necessitando de determinações de mineralogia (RAIJ, 1969).

Em solos tropicais, a capacidade de troca de cátions é devida, principalmente, às substâncias húmicas, argilas minerais e, em parte, aos óxidos de ferro (Fe) e Al. Considerando que a maioria de suas cargas são negativas, os cátions são mais adsorvidos, mas em virtude de alguns sítios coloidais apresentarem cargas positivas, o mesmo pode atrair ânions (RONQUIM, 2010).

Solos adequados para nutrição de plantas geralmente possuem alta CTC, sendo capazes de reter grandes quantidades de cátions como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ . Porém, se as cargas estão ocupadas por elementos tóxicos ou com potencial tóxico ( $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ ) este solo acaba por ser pobre. Em situações de baixa CTC do solo, devem ser evitadas adubações e calagens em grande quantidade, a fim de evitar perdas nutricionais por lixiviação (RONQUIM, 2010).

A saturação da CTC por bases é um índice importante que indica condições gerais de fertilidade do solo, sendo também utilizada como complemento na nomenclatura dos mesmos (RONQUIM, 2010). Ela descreve a quão preenchida por

cátions básicos estão as superfícies das partículas minerais do solo. Em pH próximo a 7 podemos encontrar saturação de 100% (JOHNSTON, 2005). Com isso a saturação de bases é calculada por:

$$V(\%) = \frac{Ca + Mg + Na + K}{Ca + Mg + Na + K + H + Al} \times 100$$

Um baixo valor representa baixa quantidade de cátions que saturam as cargas negativas dos coloides do solo indicando que o restante está sendo neutralizado por íons  $Al^{3+}$  e  $H^+$  (RONQUIM, 2010). Quando a saturação por bases é baixa, isto é, abaixo de 50%, o solo em questão é denominado Distrófico, enquanto os de alta saturação, valores iguais ou superiores a 50%, são Eutróficos (EMBRAPA, 2006).

## 2.2 HIPÓTESES

A aplicação localizada de corretivos da acidez do solo, na superfície da faixa de preparo ou incorporada no sulco de plantio das mudas de eucalipto, possibilita redução do efeito tóxico do Al à essa cultura com dose menor do que a aplicação em área total.

O calcário, mesmo quando aplicado em dose menor que a necessária para eliminar o Al trocável na camada de 0 a 0,20 m do solo, reduz a atividade desse elemento, aumenta o pH e a saturação de bases em grau suficiente para evitar prejuízo ao desenvolvimento inicial de eucalipto.

O resíduo industrial alcalino “lama de cal” tem efeito semelhante ao do calcário como corretivo da acidez do solo e fonte de Ca para plantio de eucalipto.

O gesso agrícola promove a descida de Ca no perfil do solo e reduz a atividade do Al em camadas mais profundas do que o calcário.

## 2.3 OBJETIVOS

Avaliar alterações nos atributos químicos do solo relacionados à acidez após adição de doses de calcário, com ou sem adição de gesso agrícola, em superfície na

área total, na faixa de preparo, ou no sulco de plantio das mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Avaliar os efeitos do resíduo alcalino “lama de cal” como substituto ao calcário e seu complemento, gesso agrícola, na correção da acidez do solo e atributos químicos a ela relacionados.

Avaliar o efeito das diferentes doses e formas de aplicação de calcário, lama de cal e gesso agrícola nos teores de Ca, Mg, Na, K e Al trocável, na CTC e nas saturações por bases e por Al do solo.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.4.1 Descrição da área experimental

O experimento foi instalado em condições de campo em 2016 no município de Bocaina do Sul no estado de Santa Catarina. A área experimental se encontra na fazenda “Guarujá”, que pertence a empresa Klabin S/A e é destinada ao plantio comercial de eucalipto. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é Cfb, subtropical sem estação seca (ALVARES et al., 2014), altitude de 860 m, temperatura média anual de 16,5°C e precipitação média anual de 1500mm.

A região tem como material de origem o basalto da formação Serra Geral, uma rocha vulcânica básica que ocupa maior parte do Planalto Catarinense (POTTER et al., 2004). O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo Húmico de textura argilosa e relevo ondulado.

Na média da camada 0 - 0,2 m, o solo apresentava antes do experimento teor de argila: 35%, MO: 4%, pH (água): 4,1, Al: 10,7 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Ca: 0,25 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Mg: 0,30 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</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 0,2 - 0,4 m argila: 38%, MO: 3,2%, pH (água): 4,2, Al: 10,8 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Ca: 0,15 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Mg: 0,15 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</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>. A área recebeu segunda rotação com plantio de mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* (CL7003). As mudas têm origem australiana, procedentes de viveiro da Rigesa, de primeira geração e por propagação vegetativa.

### 2.4.2 Tratamentos aplicados e delineamento experimental

O solo apresentava antes da instalação dos tratamentos pH na solução SMP de 4,2. A partir desse valor de pH SMP foi estipulada a dose de 5,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário a ser aplicado no solo para elevar seu pH em água a 5,2 (ALMEIDA et al., 1999). Antes da instalação dos tratamentos houve aplicação de 2,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário em superfície na área total, antes do plantio das mudas. Esta aplicação foi subtraída da dose estipulada de 5,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário considerando a correção da camada 0 – 0,10 m esperada para o período de cultivo de 8 anos. Com isto, estabeleceu-se dose de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário a ser aplicado.

A dose de gesso foi estabelecida para fornecer quantidade equivalente à metade da quantidade de Ca adicionada com o calcário. Considerando-se que o Mg tem presença insignificante na lama de cal, espera-se que o seu uso propicie diferente nível de saturação com Mg no solo, possibilitando a avaliação da influência desse atributo no rendimento de madeira. Foram estabelecidos para avaliação os seguintes tratamentos:

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

Tratamento	Dose	Dose equivalente	Material	Aplicação	Forma
1	-	-	controle	-	-
2	3,5 t ha <sup>-1</sup>	3,5 t ha <sup>-1</sup>	CD	superficial	AT
3	1,75 t ha <sup>-1</sup>	6,1 t ha <sup>-1</sup>	CD	superficial	FP
4	3,5 t ha <sup>-1</sup>	12,3 t ha <sup>-1</sup>	CD	superficial	FP
5	3,5 t ha <sup>-1</sup>	12,3 t ha <sup>-1</sup>	LC	superficial	FP
6	3,5 t ha <sup>-1</sup> + 2,75 t ha <sup>-1</sup>	12,3 t ha <sup>-1</sup> + 9,6 t ha <sup>-1</sup>	CD + GA	superficial	FP
7	1,75 t ha <sup>-1</sup>	20,4 t ha <sup>-1</sup>	CD	incorporado	S
8	1,75 t ha <sup>-1</sup> + 1,38 t ha <sup>-1</sup>	20,4 t ha <sup>-1</sup> + 16,0 t ha <sup>-1</sup>	CD + GA	incorporado	S
9	1,38 t ha <sup>-1</sup>	16,0 t ha <sup>-1</sup>	GA	incorporado	S

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CD = calcário dolomítico, LC = lama de cal, GA = gesso agrícola, AT = área total, FP = faixa de preparo, S = sulco de plantio.

A calagem prévia ocorreu 6 meses antes da aplicação dos tratamentos. O plantio das mudas ocorreu em outubro de 2015. Os tratamentos foram aplicados em superfície com distribuição manual, em abril de 2016, e 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.

Os corretivos utilizados no experimento foram o calcário dolomítico (PRNT: 56% e umidade: 1%) e lama de cal (PRNT: 87% e umidade: 30,5%). Os materiais 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. O espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de energia utiliza os padrões na forma de pastilhas prensadas (o equipamento identifica as características espectrais da amostra, independentemente do tipo da matriz, e um software determina a composição elementar por meio de algoritmos) (MORAIS, 2017).

A Tabela 2 apresenta a quantificação das 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 dos produtos aplicados.

Tabela 2 – 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
Outros	1,24	3,48	1,37

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

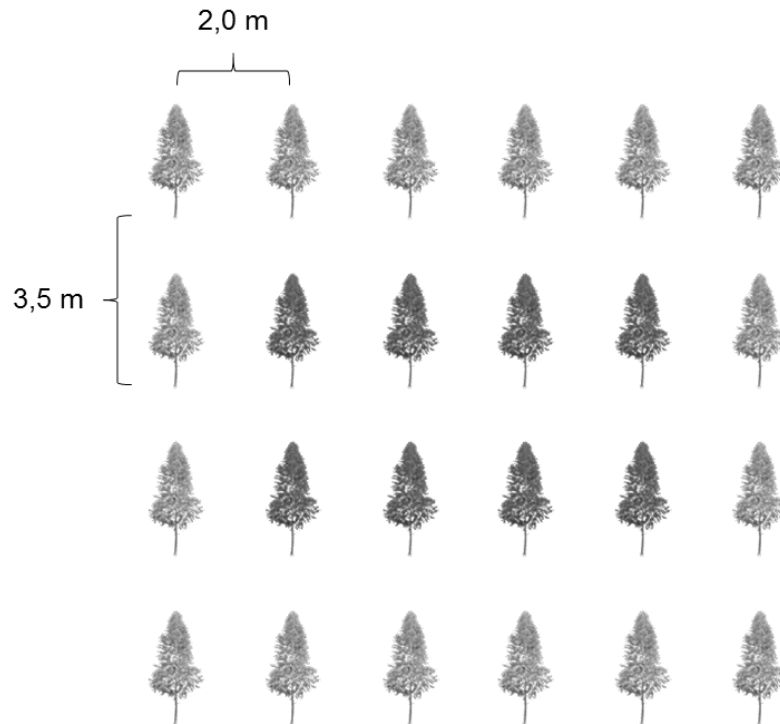
Analisado por espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (FRX).

A adubação mineral com N, P e K foi realizada igualmente em todos os tratamentos onde foram empregadas as fontes de nitrato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente, em 3 aplicações, 200g por planta (04 – 26 – 06) 10 dias após o plantio, 200g por planta (15 – 00 – 30) 90 dias após o plantio e 150g por planta (10 – 05 – 30) 365 dias após o plantio, em cobertura.

As mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* 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, e formação de camalhão (faixa de preparo) com largura de 1 m. O tratamento controle teve aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em área total antes do plantio das mudas, aplicação que abrangeu toda a área experimental e foi realizada 6 meses antes da aplicação dos tratamentos.

Os tratamentos foram organizados em delineamento experimental em blocos completos com 4 repetições, totalizando 36 unidades experimentais. Cada parcela é composta por 24 plantas (6 plantas x 4 linhas) sendo a área útil formada pelas 8 plantas centrais (Figuras 1 e 2).

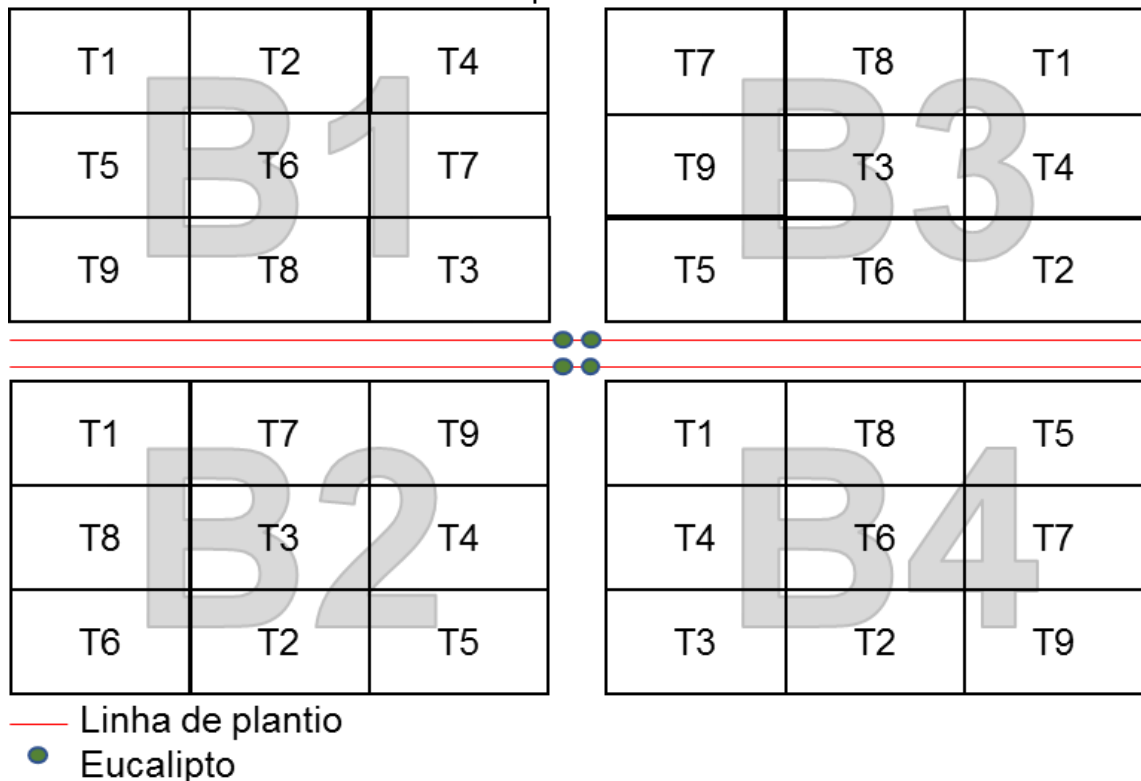
Figura 1 – Croqui de uma unidade experimental com 4 linhas e 6 plantas por linha, totalizando 24 indivíduos de *Eucalyptus dunnii*.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.



Figura 2 – Distribuição dos tratamentos sorteados em cada bloco experimental, totalizando 36 unidades experimentais.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

### 2.4.3 Análises químicas e estatística

Aos nove meses após aplicação dos tratamentos foram coletadas amostras compostas por 4 pontos subamostrais de solo na linha de plantio em todos os tratamentos com auxílio de trado holandês nas camadas de 0 - 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,40 m de profundidade. As amostras foram secadas, moídas e peneiradas em 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 K e Na extraíveis (Mehlich 1). A determinação destes elementos após extração foi por titulação ácido-base (Al), espectrofotometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica – EAAFG ContrAA 700® Analytik Jena (Ca e Mg) e fotômetro de chama – Digimed DM-62 (K e Na). Determinaram-se também as CTCs e a saturação por bases com base na metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

As análises estatísticas, teste F e teste de Tukey, foram realizadas com auxílio do software estatístico R versão 3.3.1 (R Core Team, 2016) e gráficos elaborados em Sigmaplot versão 11.0 (Systat Software, Inc., Chicago, IL, USA).

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1 Alumínio e pH em água

A aplicação de calcário em superfície, tanto em área total (T2), quanto localizado na faixa de preparo de plantio das mudas em meia dose ou dose cheia (T3 e T4, respectivamente) e acrescido de gesso (T6), não promoveu alterações significativas nos valores de pH na camada superficial até 0,05 m em comparação ao tratamento controle (T1) (Figura 3). Entretanto, aumento significativo no pH foi observado após aplicação de lama de cal em superfície localizado na faixa de preparo (T5) ou calcário incorporado no sulco de plantio das mudas (T7), com valores obtidos de 5,5 e 5,3, respectivamente.

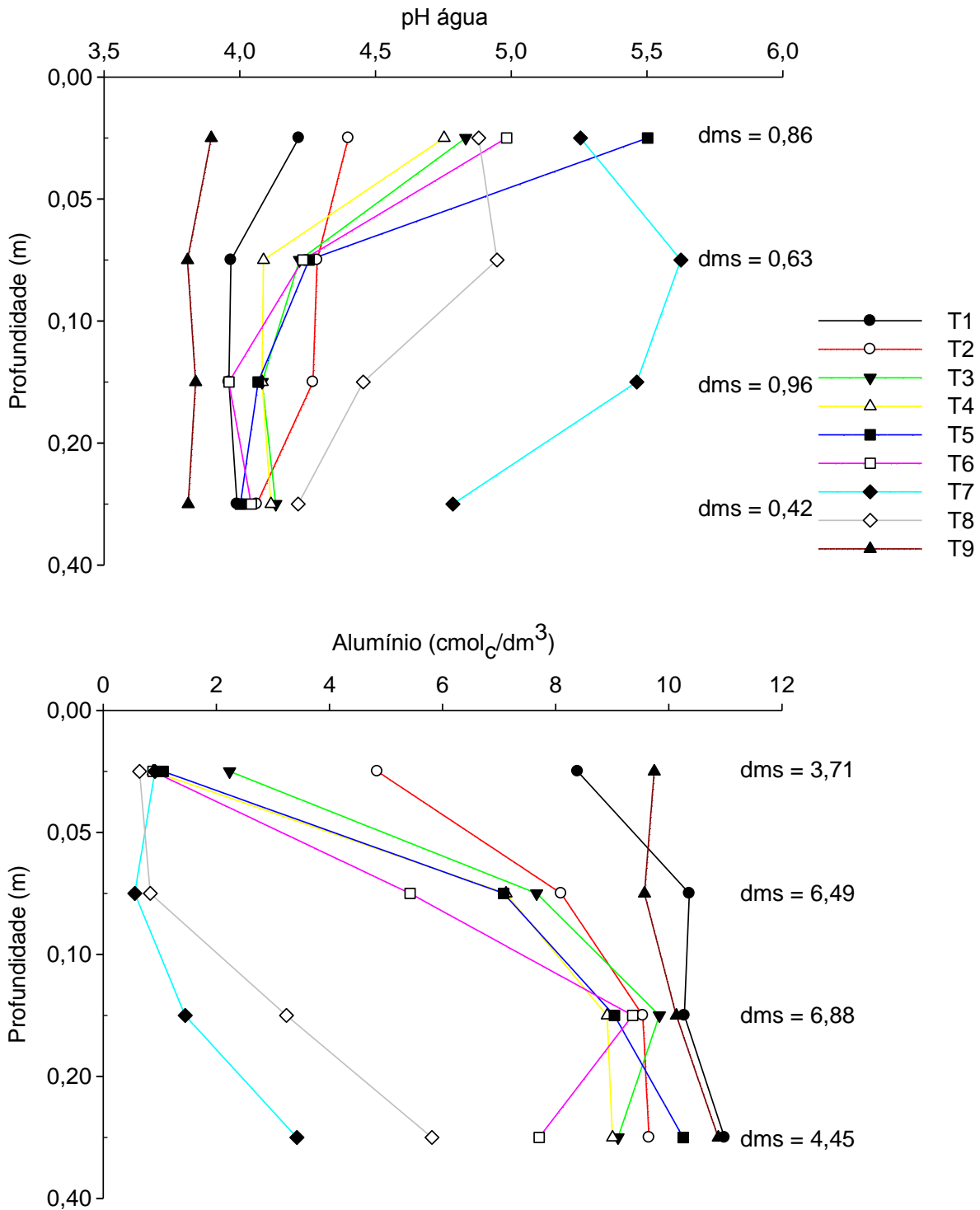
A aplicação de calcário localizado na faixa de preparo de plantio (T3, T4 e T6), a aplicação de lama de cal (T5) ou calcário no sulco de plantio (T7 e T8) reduziram concentração de Al trocável em até 92% (redução aproximada de 9  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$  para menos de 1  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ), na camada superficial até 0,05 m. A aplicação do calcário em área total (T2) não diferiu estatisticamente do tratamento controle (T1). A aplicação de gesso não causou efeitos significativos em relação ao pH do solo e nos teores de Al trocável.

Estes resultados são consonantes com os encontrados por vários autores em trabalhos (CHATZISTATHIS et al., 2015; PRADO; NATALE, 2004; CAIRES et al., 2000; ZAMBROSI et al., 2007; PETRERE; ANGHINONI, 2001). O aumento do pH do solo após aplicação de calcário se deve pela dissociação do carbonato de Ca ou de Mg, quando em contato com a água, resultando em íons  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$ . Após esta reação ocorre redução na concentração de  $\text{H}^+$  no solo pela reação com  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$  formando água e gás carbônico (CAIRES; JORIS, 2016).

Com aplicação de calcário convencional, Bambolim et al. (2015) encontraram eficácia na correção da acidez do solo que resultou no aumento do pH e, conseqüentemente, diminuição da acidez potencial ( $\text{H}^+\text{+Al}$ ), mas não encontraram redução no teor de Al trocável. Assim como no presente estudo, conforme houve

aumento do pH, os teores de Al trocável decresceram (Figura 3), porém não chegaram a valores nulos, mesmo com pH atingindo a faixa de 5,5, possivelmente pelos valores extremamente altos deste elemento no solo e sua alta capacidade de tamponamento.

Figura 3 – Valores de pH em água e teores de Al, nos nove tratamentos\* estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

\*T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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.

O gesso aplicado no sulco (T9) apresentou os valores mais baixos de pH dentre todos os tratamentos e profundidades avaliados, inclusive em relação ao tratamento controle (T1), sendo encontrados valores de 3,9 e 4,2, em camada superficial até 0,05 m (T9 e T1, respectivamente). Concomitantemente os teores de Al determinados foram os mais elevados, onde foram encontrados respectivamente valores de 9,57 a 10,88  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , da camada superficial para a mais profunda, no tratamento 9, e de 8,39 a 10,99  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  no tratamento controle (T1) (Figura 3).

O gesso agrícola não altera o pH por ser um sal neutro, e alguns trabalhos avaliaram o gesso agrícola com propósito de redução nos teores de Al (ZANDONÁ et al., 2015), além do fornecimento de Ca para as culturas. A presença de gesso agrícola não causou efeito significativo nos teores de Al no presente trabalho, assim como observado por Borges et al. (1998) e Zambrosi et al. (2007) trabalhando com Latossolos. Além do fato do gesso ser um sal neutro, este resultado pode ter ocorrido neste trabalho, pois os solos da classe Cambissolo Húmico são altamente tamponados.

Em alguns casos podem ocorrer redução do pH com o tempo. No trabalho de Soratto & Crusciol (2008), efeito isolado da gessagem não foi observado e com o passar do tempo houve diminuição do pH sendo mais evidente nos tratamentos que não receberam calagem. Serafim et al. (2012) observaram que o gesso agrícola alterou o PCZ do solo e aumentou a lixiviação dos cátions  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , além do  $\text{Ca}^{2+}$  e do ânion  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ernani et al. (2001) encontraram redução do pH com adição de gesso incorporado ou não, atribuído à hidrólise do Al, deslocado das cargas negativas pelo Ca aplicado, e pelo aumento da concentração de eletrólitos, considerando que o solo estudado (Cambissolo Húmico) tem predomínio de carga negativa.

Na camada subsuperficial de 0,05 m a 0,10 m somente a aplicação de calcário incorporado no sulco de plantio das mudas alterou significativamente o pH atingindo 5,6 com aplicação de calcário (T7) e 4,9 com aplicação de calcário com adição de gesso agrícola (T8). A partir de 0,10 m de profundidade até 0,40 m, somente a aplicação de calcário no sulco de plantio (T7) foi eficaz estatisticamente em reduzir a acidez do solo. Quanto a concentração de Al trocável no solo, houve redução com aplicação de calcário sem ou com gesso no sulco de plantio (T7 e T8, respectivamente) em relação ao tratamento controle (T1).

Em trabalho conduzido por Soratto & Crusciol (2008), verificou-se que a calagem em superfície sem aplicação de gesso agrícola promoveu aumento do pH em sal ( $\text{CaCl}_2$ ) nos primeiros 0,05 m de profundidade, e que os efeitos da calagem abaixo dos primeiros 0,05 m foram observados após 6 meses (até 0,10 m) e após 12 meses (0,20 a 0,40 m). Já em presença de gesso agrícola, os efeitos foram mais rápidos chegando aos 0,10 m em 3 meses e aos 0,20 m em 6 meses.

A lama de cal (T5) mostrou comportamento semelhante ao calcário em superfície na faixa de preparo (T4), sendo estatisticamente similar a este, onde foi observado diferença de 0,7 unidade de pH e  $0,17 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  de Al na camada até 0,05 m. O efeito de ambos foi igual estatisticamente em todas as profundidades avaliadas. Nas camadas inferiores apresentou valores decrescentes de pH com o aumento da profundidade, assim como os demais tratamentos com aplicação superficial de calcário, independente da dose. Já a concentração de Al apresentou aumento de valor de acordo com aumento da profundidade, variando de  $1,06 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  em superfície a  $10,26 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  em camada mais profunda. Comportamento em profundidade abaixo de 0,05 m não diferiu estatisticamente do tratamento controle (T1).

O calcário aplicado superficialmente e localizado na faixa de preparo de plantio, com somente metade da dose de calcário (T3), com dose cheia de calcário (T4) e com dose cheia de calcário acrescido de dose cheia de gesso (T6) apresentaram resultados de pH e Al iguais estatisticamente tanto em superfície como em profundidade. Isso sugere que a dose aplicada de calcário pode ser reduzida, assim como o gesso, que não trouxe benefícios nestes dois atributos químicos do solo. Numericamente a maior diferença de pH encontrada para estes três tratamentos é de 0,2 unidade e para Al é de  $2,23 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ . Em experimento conduzido por Ernani et al. (2001), a partir da metade da dose de calcário necessária para elevar o pH até 6 o Al trocável já deixou de existir e não foi observado efeito significativo da aplicação do gesso sobre os teores de Al.

Caires et al. (1998) observaram aumento do pH e redução do Al trocável, até 10 cm de profundidade, somente 12 meses após a aplicação do calcário em superfície, e o pH continuou aumentando com o tempo de acordo com as doses aplicadas evidenciando continuidade de reação do corretivo no solo. Sendo que em profundidade os efeitos se acentuaram com o tempo. Em relação ao gesso, os autores observaram que não influenciou no pH, assim como o presente trabalho, porém

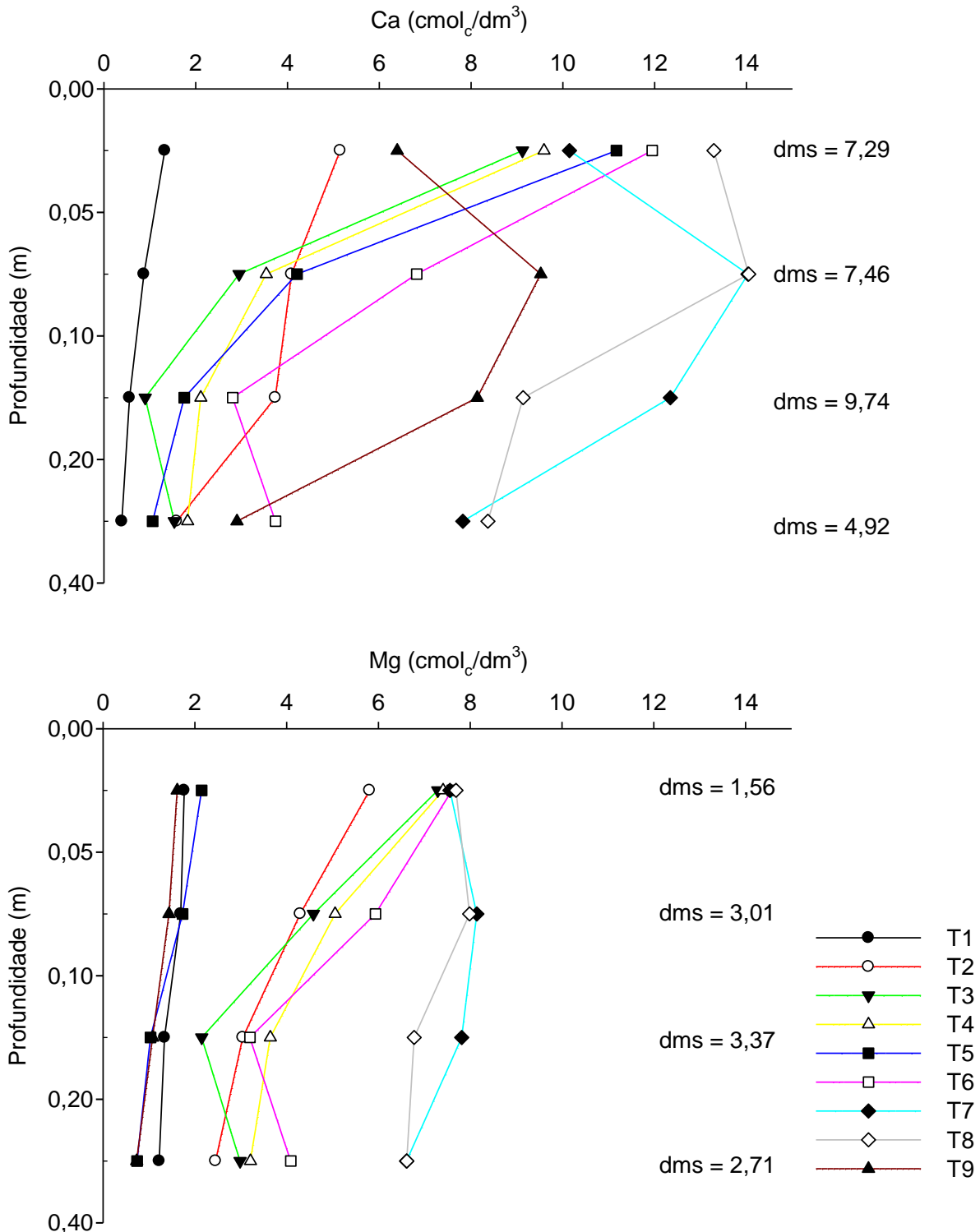
observaram redução dos teores de Al trocável com o uso de gesso constatado já oito meses após sua aplicação.

A aplicação de calcário no sulco de plantio com meia dose (T7) e meia dose de calcário acrescido de meia dose de gesso (T8) apresentaram maiores respostas de correção da acidez em profundidade devido a incorporação do material no solo, atingindo camadas mais profundas. Apesar de melhor correção em profundidade comparado com tratamentos de aplicação em superfície, sua correção se limita à faixa do sulco de plantio, de onde foram extraídas as amostras de solo, sendo uma área tratada bem menor que os outros tratamentos, considerando que o crescimento radicular abrange áreas maiores, adjacentes e com ausência de corretivo.

### **2.5.2 Cálcio, magnésio, sódio e potássio**

Os teores de Ca apresentaram incrementos significativos após a aplicação de calcário, gesso e lama de cal em superfície. Em profundidade os incrementos ocorreram somente nos tratamentos em que o modo de aplicação foi no sulco de plantio devido a sua incorporação. O comportamento está descrito na Figura 4 e os valores estão descritos no APÊNDICE B. O Mg teve incremento na sua concentração, na superfície até 0,05 m, nos tratamentos cuja aplicação envolveu calcário dolomítico. Em profundidade seu incremento ocorreu onde a forma de aplicação foi incorporada no sulco de plantio ou com as maiores doses de calcário e gesso aplicados em conjunto em superfície.

Figura 4 – Teores de Ca e Mg nos nove tratamentos\* estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

\*T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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.



Observou-se que o calcário e lama de cal aplicados em superfície concentrados na faixa de preparo de plantio das mudas ou incorporados no sulco diferiram estatisticamente do tratamento controle (T1), na camada de 0 a 0,05 m, aumentando os teores de Ca em até 10 vezes (Figura 4). Em contrapartida, a aplicação do calcário em superfície com distribuição em área total (T2) e aplicação de gesso no sulco de plantio (T9) não promoveram incrementos significativos. Os aumentos obtidos condizem com o esperado uma vez que foram aplicados produtos com composição predominante de Ca de forma concentrada em uma área específica.

Os valores de Ca encontrados variaram de 1,33  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  no tratamento controle (T1) a 13,29  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  com calcário e gesso no sulco de plantio (T8), na camada de 0 a 0,05 m. Em subsuperfície, de 0,05 m a 0,10 m, os tratamentos com aplicação de calcário ou gesso no sulco de plantio apresentaram incrementos significativos. A partir de 0,10 m de profundidade somente os tratamentos com aplicação de calcário no sulco de plantio apresentaram resultados significativos, onde na camada mais profunda avaliada (0,20-0,40 m) os valores obtidos foram de 7,82  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  e 8,37  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (T7 e T8, respectivamente).

Medeiros et al. (2013) também compararam o resíduo alcalino de indústria de celulose com o calcário e encontraram que os dois corretivos adicionam cátions básicos ao solo, além de elevar o pH. Lima et al. (2017) também estudaram efeitos da lama de cal e encontraram que sua aplicação adicionada de fertilizante promoveu melhoria nos teores de Ca e Mg no solo, sendo este recomendável na substituição do calcário. Para Petrere & Anghinoni (2001), a aplicação de calcário em superfície ou incorporado, aumenta os teores de Ca e Mg trocáveis em relação a tratamentos testemunhas de forma proporcional as doses aplicadas, onde a aplicação em superfície resultou em um gradiente em profundidade a partir da superfície.

Ernani et al. (2001) observaram que a incorporação do corretivo aumentou a concentração do cátion acompanhante na solução, porém a aplicação em superfície alterou apenas na camada superficial, enquanto o gesso agrícola promoveu maior percolação de cátions do que o corretivo, principalmente quando incorporado; e afirmaram que a sua aplicação em superfície diminui a lixiviação e aumenta o tempo de seu efeito residual.

O fator dose não apresentou efeito significativo entre os tratamentos T3 e T4, cujos resultados foram semelhantes. A lama de cal (T5) apresentou resultados

iguais estatisticamente aos tratamentos com aplicação de calcário, tanto em superfície como camadas mais profundas, o que era esperado devido a presença de Ca em grande proporção na sua composição química, da mesma forma que o calcário.

Para o Mg observou-se diferença significativa em camada superficial até 0,05 m, onde os maiores teores se enquadram nos tratamentos com aplicação de calcário dolomítico. A aplicação de lama de cal (T5) e de gesso (T9) não apresentaram incrementos para este elemento, sendo iguais estatisticamente ao tratamento controle (T1), pois em suas composições o teor de Mg é inexpressivo, não sendo suficiente para apresentar diferenças de acréscimo no solo. A aplicação de gesso no sulco (T9) apresentou valores numericamente menores de concentração do Mg no solo em toda profundidade analisada em comparação aos outros tratamentos, variando de 1,62  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  em superfície a 0,74  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  na camada mais profunda.

Resultados diferentes foram observados em trabalho conduzido por Ernani et al. (2001), onde houve redução nos teores de Mg após aplicação de gesso agrícola, fato explicado pela mobilidade do Mg e incorporação do material, diferenças na CTC e teor de matéria orgânica, que afetam as cargas e a quantidade de íons presentes na solução do solo. Além disso a dose de gesso aplicada foi de 12,1  $\text{t ha}^{-1}$ , cerca de 9 vezes mais que a dose aplicada no presente trabalho.

A aplicação de calcário em superfície distribuído em área total (T2) apresentou menor concentração de Mg em superfície até 0,05 m em relação ao calcário aplicado localizado na faixa de preparo ou no sulco de plantio. Aplicando o calcário em área total, há maior distribuição do corretivo, com conseqüente redução na concentração de produto por área. Em subsuperfície até 0,10 m obteve-se teores maiores com aplicação de doses maiores de calcário em superfície sem ou com gesso (T4 e T6). Abaixo de 0,10 m, o calcário e o gesso aplicados em conjunto em dose maior em superfície (T6) e o calcário aplicado no sulco de plantio sem ou com adição de gesso (T7 e T8, respectivamente), são os tratamentos que promoveram incremento nos teores de Mg.

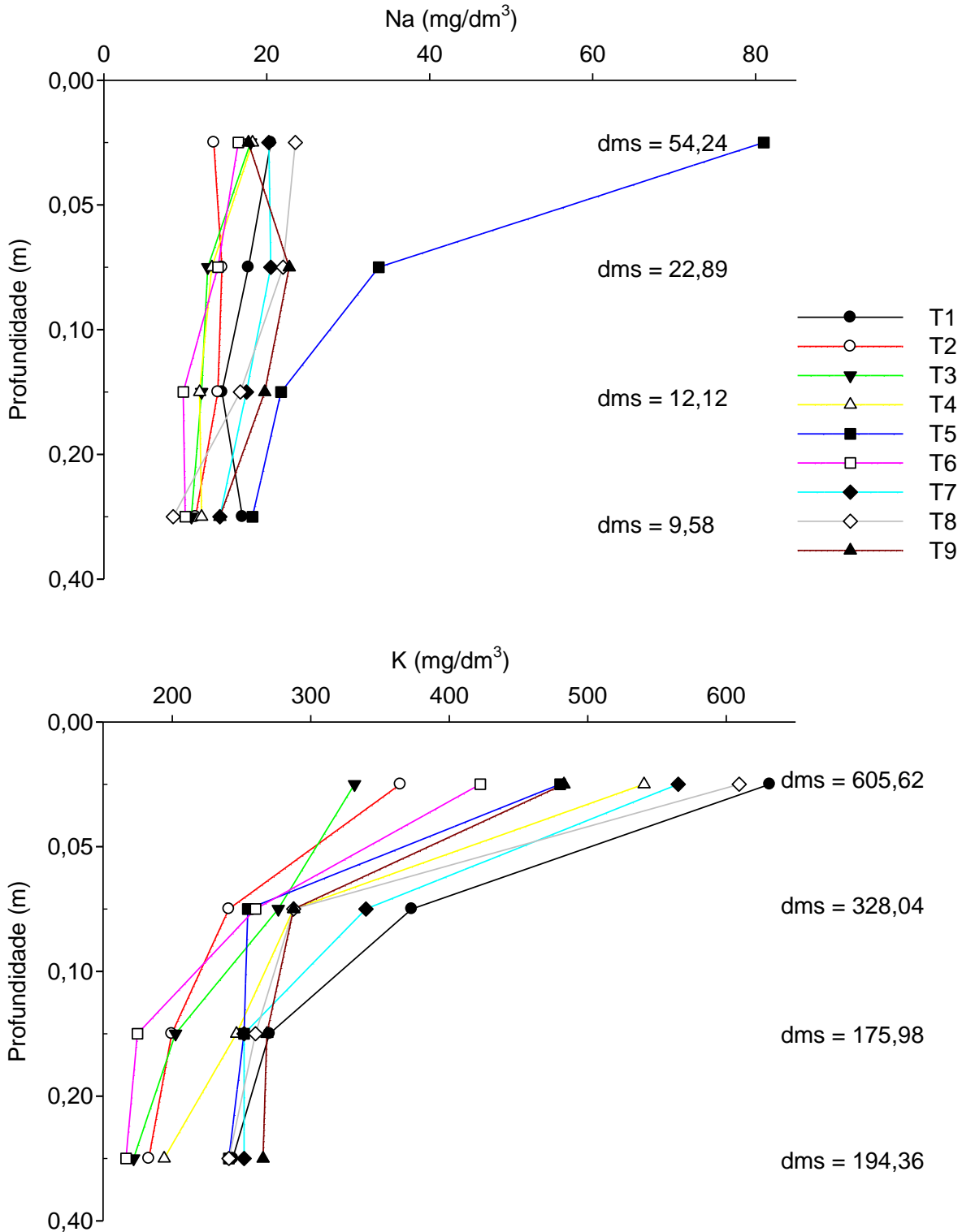
A não contribuição no aumento dos teores de Mg no solo com aplicação de lama de cal ou gesso leva a um tópico importante: a relação entre estes nutrientes, que deve ser investigada no momento de aplicação destes materiais, pois uma relação Ca/Mg muito elevada pode prejudicar a absorção do Mg pelas plantas.

O aumento excessivo da relação Ca/Mg no solo pode ser prejudicial ao desenvolvimento das plantas (FOLONI et al., 2008) por restringir a absorção de Mg pelas mesmas, devido a elevada concentração de Ca trocável (MEDEIROS et al., 2008). Isso também pode prejudicar a absorção de K, principalmente no início do ciclo, quando o sistema radicular é superficial (SILVA et al., 2005). Altos teores de Ca podem também retirar P da solução através da formação de fosfatos de Ca (NOLLA; ANGUINONI, 2006).

Santos et al. (2013), estudando efeito do gesso em diferentes espécies de gramíneas, observaram que a influencia da relação Ca/Mg depende da espécie cultivada devido as diferenças de comportamento entre espécies na utilização dos nutrientes disponíveis no solo. Enquanto a aplicação de gesso favoreceu a absorção de Mg por uma cultivar aumentando-se a relação Ca/Mg do solo, para a outra espécie prejudicou a absorção deste, resultando em um estreitamento da relação entre os dois nutrientes. E na ausência de gesso o comportamento se inverte.

A Figura 5 descreve o comportamento do Na e do K encontrados nas camadas do solo até a profundidade de 0,40 m após a aplicação de calcário, gesso e lama de cal. Para o elemento Na a diferença estatística foi somente em relação a aplicação de lama de cal, referente a camada superficial até 0,05 m. Isso era esperado devido a presença deste elemento em maior proporção na composição química da lama de cal, em relação ao calcário e ao gesso. Os valores variaram desde 13,5 mg/dm<sup>3</sup> de Na (T2) até 81 mg/dm<sup>3</sup> com a aplicação de lama de cal. Os valores estão descritos no APÊNDICE C.

Figura 5 – Teores de Na e K nos nove tratamentos\* estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

\*T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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.

Maciel et al. (2015) avaliaram resíduos da extração de celulose, dentre eles a lama de cal e confirmaram a alta concentração de Na na sua composição ( $8,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) elevando estes teores trocáveis no solo e em solução. Branco et al. (2013), da mesma forma observaram teores crescentes de Na de forma linear com o aumento da dose do resíduo dregs em Cambissolo Húmico.

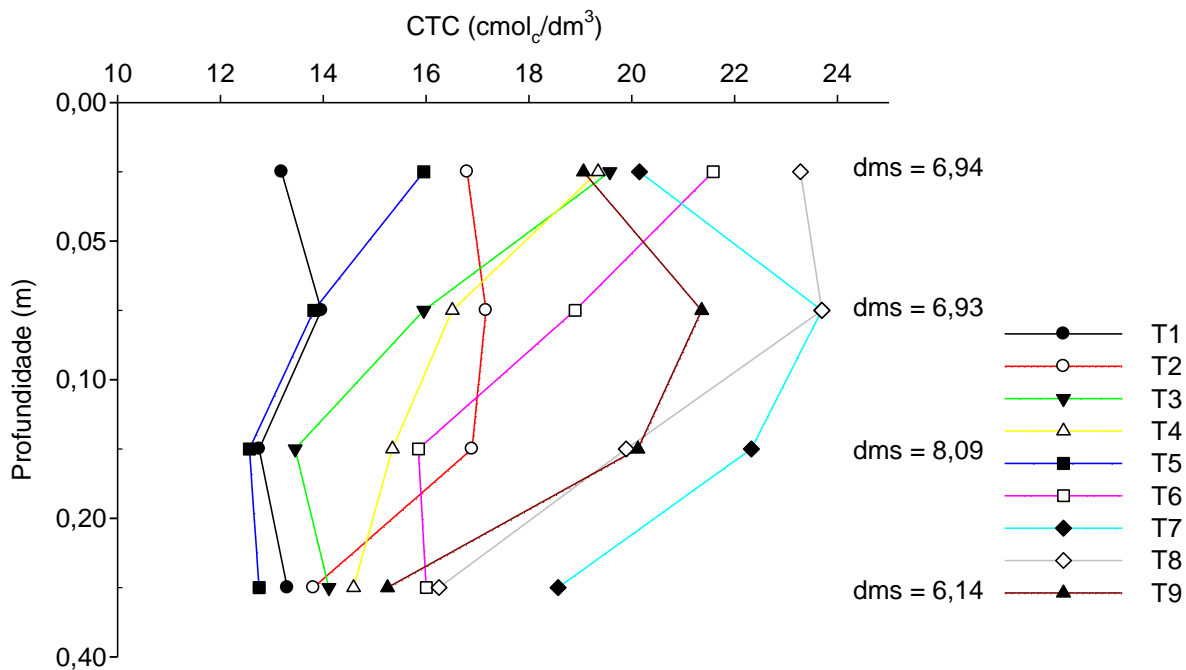
Quanto ao K, o mesmo não mostrou diferença estatística entre tratamentos, apesar da alta variação entre os teores, os quais variaram de  $331,60 \text{ mg/dm}^3$  a  $631,35 \text{ mg/dm}^3$  (T3 e T1, respectivamente) na camada superficial até 0,05 m (diferença de 47,5%), e  $166,60 \text{ mg/dm}^3$  a  $265,60 \text{ mg/dm}^3$  (T6 e T9, respectivamente) em camada inferior de 0,20 a 0,40 m (variação de 37,3%). A ausência de diferença significativa para o K pode, talvez, ser atribuída ao alto coeficiente de variação encontrado.

Maciel et al. (2015) observaram redução nos teores de K após adição de resíduos, demonstrando a possibilidade de perda desse íon por lixiviação, pois 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.

### **2.5.3 Capacidade de troca de cátions, saturação por bases e saturação por alumínio**

A aplicação de calcário ou lama de cal em superfície não afetou a capacidade de troca de cátions efetiva (Figura 6) em relação ao tratamento controle (T1) onde os resultados apresentados são estatisticamente semelhantes para a camada superficial até 0,05 m. Diferença significativa foi observada somente com a aplicação de alta dose de calcário adicionada a alta dose de gesso agrícola (T6 – incremento de 64%), ou aplicação de calcário sem ou com gesso no sulco de plantio das mudas (incremento de 53% e 76% – T7 e T8, respectivamente).

Figura 6 – Valores de capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) nos nove tratamentos\* estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

\*T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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 camada de 0,05 m a 0,10 m de profundidade, a aplicação de calcário no sulco de plantio foi o único tratamento que promoveu alteração na capacidade de troca de cátions com valores de 23,70, 23,70 e 21,36 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, representando incrementos de 70%, 70% e 53%, nos tratamentos T7, T8 e T9, respectivamente. Na camada de 0,10 m a 0,20 m somente a aplicação de meia dose de calcário no sulco de plantio (T7) aumentou a capacidade de troca de cátions em 75%. Abaixo de 0,20 m até 0,40 m de profundidade os valores de capacidade de troca de cátions se equiparam estatisticamente, mesmo após aplicação de calcário, lama de cal e gesso, independente da dose e forma de aplicação no solo.

Petriere & Anghinoni (2001) observaram aumento da CTC e redução do Al trocável com a presença de calcário em superfície ou incorporado, com efeitos proporcionais as doses aplicadas. Mathew & Rao (1997) encontraram resultados crescentes de capacidade de troca de cátions desde 35,9 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> até 45,1 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, e confirmaram que o aumento do pH resultante de aplicação de calcário

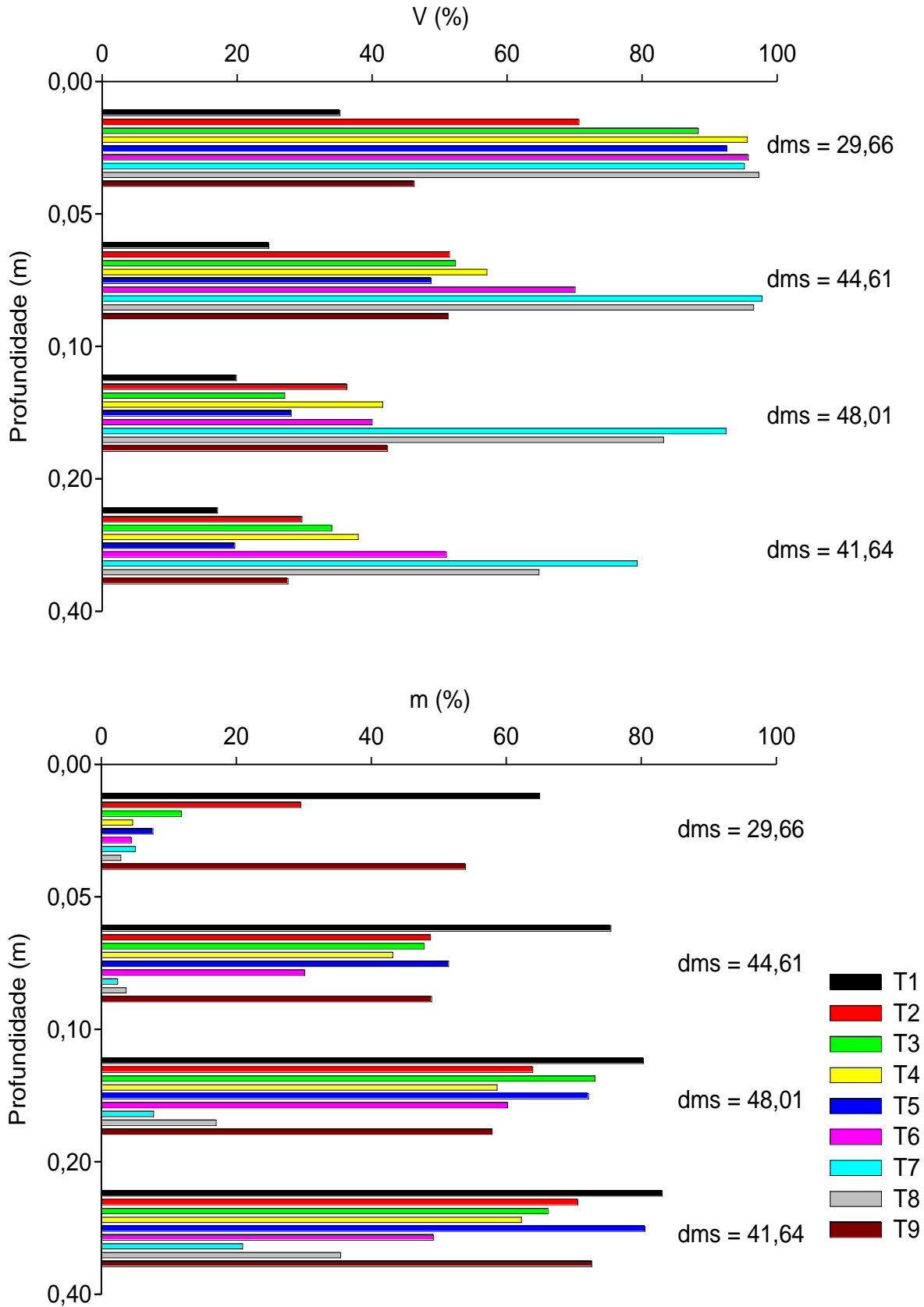
causou às partículas de argila incremento de cargas negativas extras levando à um posterior acúmulo de cátions de Ca. O mesmo foi encontrado por Edmeades (1982).

Após a aplicação de gesso agrícola e calcário, a CTC do solo em experimento conduzido por Zandoná et al. (2015) aumentou na camada de 0-10 cm. O aumento tem importância para a fertilidade do solo, proporcionando aos colóides maior capacidade de reter cátions essenciais no desenvolvimento das plantas.

O aumento do pH eleva a concentração de íons  $\text{HCO}_3^-$  na solução do solo que podem arrastar consigo quantidades equivalentes de cátions para camadas inferiores do perfil do solo. Quando em camadas mais profundas, geralmente com pH menor, estes íons entram em novo equilíbrio consumindo  $\text{H}^+$  e gerando carga efetiva na CTC, podendo adsorver cátions acompanhantes. Com isso pode-se necessitar de doses maiores de calcário em superfície e maior tempo para que se possa observar incremento nos teores de cátions e CTC (MARTINS et al., 2002).

A saturação por bases (V) apresentou incrementos significativos na camada superficial até 0,05 m após aplicação de calcário ou lama de cal em relação ao tratamento controle (T1 – 35,15%), chegando a 97,2% com aplicação de calcário e gesso no sulco de plantio das mudas (T8) (Figura 7). Entretanto, não houveram diferenças estatísticas significativas em relação a forma de aplicação dos corretivos no solo ou dose aplicada. Na camada de 0,05 a 0,10 m de profundidade, somente a aplicação de calcário na dose maior com adição de dose maior de gesso em superfície (T6 – 69,98%) e aplicação de calcário sem ou com gesso no sulco de plantio (T7 – 97,67% e T8 – 96,42%, respectivamente), apresentaram incrementos significativos em relação ao tratamento controle (T1).

Figura 7 – Saturação por bases (V) e saturação por Al (m) nos nove tratamentos\* estudados, e seus comportamentos em profundidade de até 0,40 m.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.



\*T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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 camada de 0,10 a 0,20 m a aplicação de calcário sem ou com gesso no sulco de plantio promoveu incremento com valores que chegaram a 92,36% e 83,08% nos tratamentos T7 e T8, respectivamente. A partir da profundidade de 0,20 m até 0,40 m somente a aplicação de calcário incorporado no sulco de plantio (T7) apresentou incremento estatisticamente significativo em relação ao tratamento controle (T1) com valor de 79,16%. A aplicação somente de gesso incorporado no sulco de plantio (T9) não causou efeito significativo na saturação por bases.

Os incrementos em CTC e V foram expressivos na camada superficial até 0,10 m quando a aplicação dos corretivos foi localizada em superfície. Já o efeito em profundidade ocorreu nos tratamentos cuja aplicação foi incorporada no sulco de plantio das mudas. O tratamento com aplicação de lama de cal (T5) apresentou resultado semelhante ao tratamento com mesma dose de calcário (T4), demonstrando sua capacidade de melhora dos atributos químicos do solo.

A aplicação superficial de calcário, lama de cal e outros resíduos industriais promoveu incremento no pH do solo e na saturação por bases, além de aumentar disponibilidade de Ca e Mg em profundidade até 0,40 m em experimento conduzido por Corrêa et al. (2007).

Medeiros et al. (2013) em experimento com doses de resíduo alcalino e calcário encontraram resultados positivos de CTC efetiva e saturação por bases com o aumento das doses aplicadas. Abreu Jr. et al. (2001) compararam tratamentos envolvendo presença e ausência de calagem e adubo mineral com presença de composto de lixo urbano em diferentes tipos de solo e encontraram também resultados crescentes com a calagem.

Segundo Guimarães et al. (2015), a saturação por bases é um dos atributos químicos do solo, além da saturação por Al e teor de Mg, que mais limitou o crescimento das plantas, onde o nível crítico médio de saturação por bases estimado para promover 80% de rendimento relativo das plantas de *Eucalyptus saligna* foi de 8%. Sendo estes resultados ainda mais representativos na camada subsuperficial do que na camada superficial.

Já em um Latossolo Húmico sob cultura do eucalipto, Rocha et al. (2008) concluíram que a calagem na dose de 300 g por cova correspondendo a 64% de saturação por bases, seria melhor recomendado, pois em valores mais elevados havia redução no crescimento das plantas e desequilíbrio nutricional.

A saturação por Al (m) teve significativa alteração, seguindo o comportamento da saturação por bases, porém com valores decrescentes. A aplicação de calcário ou lama de cal, em superfície até 0,05 m, reduziu significativamente a saturação por Al de 65% no tratamento controle (T1) para 3% após aplicação de calcário e gesso no sulco de plantio (T8). Em subsuperfície, de 0,05 m a 0,10 m, os efeitos significativos em redução na saturação por Al se deram com a aplicação de calcário em dose alta sem e com adição de gesso em superfície (T4 e T6, respectivamente) e com aplicação de calcário sem e com adição de gesso incorporados no sulco de plantio (T7 e T8).

No caso dos tratamentos aplicados em superfície, o efeito até a camada de 0,05 a 0,10 m, mesmo sem incorporação, pode ser explicado pelas altas doses de calcário e gesso aplicados, as quais saturam a camada superficial consequentemente atingindo com mais facilidade a camada inferior. Nos tratamentos com incorporação no sulco o efeito nas camadas inferiores foi devido a incorporação do mesmo, aumentando a área de contato de reação.

Em camadas inferiores a 0,10 m o efeito do calcário ou lama de cal aplicados em superfície se torna praticamente inexistente pela baixa mobilidade, sendo iguais estatisticamente ao tratamento controle. De 0,10 m até a profundidade de 0,20 m os efeitos significativos ocorreram somente quando houve a incorporação de calcário sem ou com adição de gesso (T7 e T8, respectivamente), reduzindo a saturação por Al de 80,22% (T1) para 7,64% (T7) e 16,92% (T8). Na maior profundidade avaliada, de 0,20 m a 0,40 m, apenas o tratamento com incorporação de calcário no sulco de plantio mostrou redução significativa na saturação por Al.

A aplicação de gesso agrícola isolado não apresentou resultados significativos para saturação por Al, enquanto a aplicação de lama de cal novamente se mostrou semelhante ao tratamento com calcário.

Vargas e Marques (2017) observaram efeito significativo para a redução da saturação por Al após aplicação de calcário e gesso, em Cambissolo Háplico atingindo a nulidade com aplicação de dose de calcário para elevação da saturação por bases até 50%. Com a aplicação de gesso, houve redução da saturação por Al

por elevar os teores de Ca e, conseqüentemente, a CTC, e não por reduzir teores de Al trocável.

A correção da acidez em trabalho conduzido por Furtini Neto et al. (1999), com objetivo de investigar os fatores limitantes ao crescimento de espécies florestais, resultou em favorecimento do crescimento das mudas, sendo mais sensível com espécies de crescimento rápido, onde a saturação por Al foi o fator mais limitante no desenvolvimento.

Avaliando a presença do gesso combinado com calcário, em Latossolo Vermelho no RS, na melhoria dos atributos químicos do solo, Dalla Nora et al. (2014) observaram redução da saturação por Al após aplicação de calcário e gesso até a profundidade de 0,40 m, efeitos que foram atribuídos tanto à redução nos teores de Al trocável, quanto pelo aumento da soma de bases.

## 2.6 CONCLUSÕES

A calagem em doses de até 3,5 t ha<sup>-1</sup> distribuída superficialmente em área total não alterou atributos químicos do solo relacionados a acidez em camadas até 0,40 m de profundidade do Cambissolo Húmico.

O calcário aplicado em doses de até 3,5 t ha<sup>-1</sup> com distribuição superficial localizada na faixa de preparo de plantio das mudas, não alterou atributos químicos do solo relacionados à acidez em camadas até 0,40 m, mas elevou teores de Ca e Mg na camada de 0 a 0,05 m.

O calcário aplicado em doses de 1,75 t ha<sup>-1</sup>, com ou sem a adição de 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, em aplicação localizada incorporada no sulco de plantio das mudas afeta os atributos químicos do solo relacionados à acidez em toda a camada analisada até 0,40 m.

A lama de cal aplicada em superfície localizada na faixa de preparo de plantio das mudas altera atributos químicos do solo na camada superficial até 0,05 m.

O gesso agrícola isoladamente não afeta o pH e demais atributos relacionados à acidez do solo, nem nos teores de Al, Ca e Mg trocáveis.



### **3 CAPÍTULO II – DESENVOLVIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO À APLICAÇÃO DE CALCÁRIO, GESSO E LAMA DE CAL EM CAMBISSOLO HÚMICO**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

No cenário mundial, o Brasil se destaca no setor florestal pelas condições climáticas favoráveis, alta produtividade, produtos de alta qualidade e uso de tecnologias desenvolvidas por empresas e instituições de ensino e pesquisa, que resultaram em taxas de crescimento superiores às observadas em outros países (CIB, 2008). Entretanto, as plantações florestais têm seu cultivo predominantemente em solos de baixa aptidão agrícola, onde teores de Al são elevados, podendo caracterizar limitação para o cultivo se a espécie não for tolerante (MAEDA; BOGNOLA, 2012).

O solo é um sistema complexo que interage com as plantas e fornece os nutrientes necessários para seu desenvolvimento. A disponibilidade de nutrientes é finita, o que nos faz depender de adubações e correções. O tipo de cultura e o tipo de solo, com suas condições de fertilidade, reações do adubo, eficiência deste e os fatores econômicos irão determinar as características e quantidades de produto a ser aplicado (GONÇALVES, 1995).

Áreas cultivadas com eucaliptos em sua maioria necessitam de adubação e correção devido sua baixa fertilidade e acidez elevada, porém, grande parte não recebe tratamento adequado por se considerar que a espécie é tolerante à essa situação e não sofre restrições para seu desenvolvimento. Entretanto, diversos estudos indicam que há ganhos com a implementação de manejo adequado da cultura e do solo, evitando-se os fatores limitantes à cultura e, conseqüentemente, a degradação da fertilidade dessas áreas (ROCHA et al., 2008).

Em solos ácidos temos a presença do Al trocável de efeito tóxico, afetando o desenvolvimento das plantas. Este elemento está presente no solo em diferentes formas e sua complexidade dificulta os estudos dos seus processos nas plantas. Em pHs baixos ( $\text{pH} < 5,0$ ) o Al se torna mais solúvel e o  $\text{Al}^{3+}$  predomina, e com o aumento do pH o Al se liga em hidroxilas tomando outras diferentes formas (ECHART; MOLINA, 2001).

Com a indústria de celulose e papel, muitos resíduos são gerados pelo processo de caustificação para recuperação do licor de cozimento, conhecidos por

lama de cal (AMARAL; VETTORAZZO, 2005). Este produto é constituído principalmente por hidróxido de Ca, tendo grande potencial de utilização para elevação do pH do solo. Porém, estudos mais aprofundados dos seus efeitos no solo são necessários, visto que a presença do Na em sua composição pode acarretar a degradação da agregação no solo podendo comprometer o desenvolvimento das culturas.

Amaral & Vettorazzo (2005), após aplicação de lama de cal, observaram que o  $Al^{3+}$  livre na solução foi em grande parte complexado com sulfato e fosfato reduzindo sua fitotoxicidade. Pesquisas realizadas com resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose mostram grande potencial de aumento da produtividade do eucalipto pelo seu uso devido melhoria das propriedades do solo (CASTRO FARIA et al., 2015). Diversos autores relataram resultados de incremento em biomassa (Vieira; Weber, 2017) e volume de madeira de eucalipto (Stappe; Balloni, 1988; Rodrigues et al., 2016; Maeda et al., 2015; Guimarães et al., 2015) após adição de calcário ou resíduos industriais, como a lama de cal, em diferentes tipos de solos.

Assim, esse estudo se propõe a avaliar a resposta das variáveis dendrométricas, altura, diâmetro e volume, e a produtividade de madeira no período de desenvolvimento inicial do plantio de eucalipto a diferentes tratamentos, com tipos e formas de aplicação de corretivos da acidez do solo. Avaliar também o estado nutricional da cultura nesses tratamentos, através dos teores de nutrientes em tecido foliar.

### 3.2 HIPÓTESES

O calcário aplicado em Cambissolo Húmico distrófico, de forma localizada na superfície da faixa de preparo ou no sulco de plantio das mudas de eucalipto, mesmo que em doses menores à necessária para elevar o pH em água a 5,5 pode diminuir o efeito tóxico do Al e aumentar a disponibilidade de Ca no solo, proporcionando aumento na produtividade do eucalipto.

O resíduo industrial alcalino “lama de cal” pode substituir o calcário como corretivo da acidez do solo e fonte de Ca para o eucalipto.

O gesso agrícola aplicado isoladamente não afeta o crescimento do eucalipto em Cambissolo Húmico distrófico, mas quando em complementação à calagem

pode promover aumento da disponibilidade de Ca e diminuir o potencial tóxico do Al em camadas mais profundas em relação ao calcário, podendo aumentar a produtividade do eucalipto.

A aplicação de calcário dolomítico em Cambissolo Húmico distrófico aumenta os teores de Ca e Mg, enquanto as aplicações de lama de cal e gesso agrícola aumentam somente o teor de Ca nas folhas de eucalipto.

### 3.3 OBJETIVOS

Avaliar o crescimento das mudas de *Eucalyptus dunnii* no início do cultivo após a aplicação em diferentes formas e doses de corretivos da acidez (calcário, lama de cal e gesso agrícola) em Cambissolo Húmico distrófico.

Estimar incremento em volume nos primeiros anos de cultivo. Verificar incremento em porcentagem e avaliar influência dos tratamentos.

Avaliar o estado nutricional através dos teores de nutrientes em tecido vegetal de eucalipto cultivado em Cambissolo Húmico distrófico tratado com diferentes doses e formas de aplicação de corretivos da acidez do solo.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental selecionada se encontra em Bocaina do Sul no estado de Santa Catarina na fazenda “Guarujá”, pertencente a empresa Klabin S/A. 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 da região tem formação a partir do basalto da formação Serra Geral, uma rocha vulcânica básica que ocupa maior parte do Planalto Catarinense (POTTER et al., 2004), e foi classificado como Cambissolo Húmico distrófico de textura argilosa e relevo ondulado.

Na média da camada 0 - 0,2 m, o solo apresentava antes do experimento teor de argila: 35%, MO: 4%, pH (água): 4,1, Al: 10,7 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Ca: 0,25 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Mg: 0,30 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</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 0,2 - 0,4 m argila: 38%, MO: 3,2%, pH (água): 4,2, Al: 10,8 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Ca: 0,15 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Mg: 0,15

cmol/dm<sup>3</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>.

A partir do valor de pH SMP do solo (4,2) foi determinada a dose de 5,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário a ser aplicado para elevar seu pH em água a 5,2 (ALMEIDA et al., 1999). Houve aplicação de 2,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário em superfície na área total antes do plantio das mudas e instalação do experimento. Esta aplicação foi subtraída da dose estipulada de 5,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário considerando a correção da camada 0 – 0,10 m esperada para o período de cultivo de 8 anos.

Com isto, estabeleceu-se dose de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário a ser aplicado. A dose de gesso foi calculada para fornecer quantidade equivalente à metade da quantidade de Ca adicionada através da calagem. Foram estabelecidos para avaliação os seguintes tratamentos:

Tabela 3 – Descrição dos tratamentos e respectivas doses, materiais, forma e local de aplicação no solo.

Tratamento	Dose	Dose equivalente	Material	Aplicação	Forma
1	-	-	controle	-	-
2	3,5 t ha <sup>-1</sup>	3,5 t ha <sup>-1</sup>	CD	superficial	AT
3	1,75 t ha <sup>-1</sup>	6,1 t ha <sup>-1</sup>	CD	superficial	FP
4	3,5 t ha <sup>-1</sup>	12,3 t ha <sup>-1</sup>	CD	superficial	FP
5	3,5 t ha <sup>-1</sup>	12,3 t ha <sup>-1</sup>	LC	superficial	FP
6	3,5 t ha <sup>-1</sup> + 2,75 t ha <sup>-1</sup>	12,3 t ha <sup>-1</sup> + 9,6 t ha <sup>-1</sup>	CD + GA	superficial	FP
7	1,75 t ha <sup>-1</sup>	20,4 t ha <sup>-1</sup>	CD	incorporado	S
8	1,75 t ha <sup>-1</sup> + 1,38 t ha <sup>-1</sup>	20,4 t ha <sup>-1</sup> + 16,0 t ha <sup>-1</sup>	CD + GA	incorporado	S
9	1,38 t ha <sup>-1</sup>	16,0 t ha <sup>-1</sup>	GA	incorporado	S

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CD = calcário dolomítico, LC = lama de cal, GA = gesso agrícola, AT = área total, FP = faixa de preparo, S = sulco de plantio.

A calagem prévia ocorreu 6 meses antes da aplicação dos tratamentos. O plantio das mudas foi em outubro de 2015 e os tratamentos 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 área recebeu segunda rotação com plantio de mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* (CL7003). As mudas têm origem australiana, procedentes de viveiro da Rigesa, de primeira geração e por propagação vegetativa.

Foram utilizados no experimento o gesso agrícola, como condicionador do solo, e os corretivos calcário dolomítico, com PRNT de 56% e umidade de 1%, e lama de cal, com PRNT de 87% e umidade de 30,5%. Estes materiais 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. O espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de energia utiliza os padrões na forma de pastilhas prensadas (o equipamento identifica as características espectrais da amostra, independentemente do tipo da matriz, e um software determina a composição elementar por meio de algoritmos) (MORAIS, 2017). Os resultados da análise química mostram as 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, e estão descritas na Tabela 2.

Adubação mineral com N, P e K (nitrato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente) foi realizada igualmente em todos os tratamentos em 3 aplicações. A primeira de 200g por planta (04 – 26 – 06) aos 10 dias após o plantio, a segunda de 200g por planta (15 – 00 – 30) 90 dias após o plantio e a terceira de 150g por planta (10 – 05 – 30) 365 dias após o plantio, em cobertura.

As mudas clonais de *Eucalyptus dunnii* 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, e formação faixa de preparo com largura de 1 m. O tratamento controle compreende a aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em área total antes do plantio das mudas, aplicação que abrangeu toda a área experimental e foi realizada 6 meses antes da aplicação dos tratamentos.

O experimento foi conduzido em blocos casualizados completos com 4 repetições, totalizando 36 unidades amostrais. A disposição dos tratamentos e a composição das unidades amostrais estão descritas de acordo com as Figuras 1 e 2.

Foram realizadas medições em altura e circunferência a altura do peito (CAP) de todas as plantas úteis de cada parcela (8 plantas, 4 plantas por linha, 2 linhas centrais) com auxílio de régua e fita métrica 12 meses após o plantio (6 meses após aplicação dos tratamentos). Posteriormente converteu-se a CAP em diâmetro a altura do peito (DAP). Aos 15 e 24 meses outra medição foi realizada, nestes casos com auxílio de hipsômetro e fita métrica.

Para avaliação nutricional foram utilizadas análises químicas de tecido foliar. Para isso foram coletadas folhas, após 12 meses de plantio, por amostra composta, sendo 12 folhas por indivíduo retiradas na metade do terço médio da copa, três folhas por ramo em cada quadrante (Norte, Sul, Leste, Oeste). Do ramo coletou-se as folhas completamente desenvolvidas evitando-se coletar as atingidas por danos mecânicos ou pragas/doenças, tecidos mortos, e contaminados com defensivos e solo. Foram selecionados 3 indivíduos médios por tratamento, totalizando 36 folhas por tratamento.

As folhas foram secas em estufa a 65°C e moídas em processador. As análises químicas de tecido foliar foram realizadas de acordo com metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) determinando-se teores de N, P, K, Ca e Mg.

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 início de desenvolvimento e pela impossibilidade de corte de alguns indivíduos para ajuste de um modelo volumétrico. A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$V = \pi \frac{DAP^2}{4} hF$$

Onde:

V = volume (m<sup>3</sup>);

π = 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; MIGUEL et al., 2010b).

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.

Foi realizada análise de variância e teste de médias de Tukey a 5% de significância com auxílio do software R 3.3.1 (R Core Team, 2016).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Altura, diâmetro e volume estimado

As alturas médias obtidas em cada tratamento com respectivas diferenças de acordo com avaliação estatística dos dados, estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Altura de plantas de *Eucalyptus dunnii* aos 12, 15 e 24 meses de idade em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.

Tratamento	Altura (m)		
	12 meses	15 meses	24 meses
T1	2,95 ab	4,91 bc	8,84
T2	3,02 ab	5,06 ab	8,87
T3	3,19 a	5,14 ab	9,00
T4	3,01 ab	4,91 bc	8,59
T5	2,99 ab	5,32 a	8,59
T6	3,09 ab	5,15 ab	8,88
T7	3,08 ab	5,02 abc	8,97
T8	2,91 b	5,00 abc	8,54
T9	2,86 b	4,67 c	8,67

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \*T1 – controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio;

T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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 12 meses, a aplicação de 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário em superfície na faixa de preparo (T3) proporcionou maior média de altura das árvores com 3,19 m em comparação as aplicações de calcário e gesso no sulco (T8), e gesso no sulco (T9), com valores de 2,91 e 2,86 m, respectivamente.

Estudando efeito da aplicação de resíduos lama de cal, cinzas e casca de eucalipto, Stappe & Balloni (1988) observaram ausência de efeito no desenvolvimento em altura de plantas aos 6 meses de cultivo. Contudo, houve resultado significativo com aplicação de lama de cal a partir de 21 meses de cultivo, onde ocorreu incremento em altura. Este efeito pode estar relacionado ao tipo de solo trabalhado, o qual foi caracterizado como uma associação de areia quartzosa e classificado como Latossolo Álico de textura média. Assim, o solo apresenta argila de baixa atividade, baixa CTC e maiores perdas por lixiviação, apresentando maiores efeitos nas propriedades químicas do solo e desenvolvimento de culturas após aplicação de resíduos.

Na segunda medição, realizada aos 15 meses de plantio, a aplicação de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal distribuída em superfície na faixa de preparo (T5), onde a média de altura de plantas foi de 5,32 m, proporcionou incremento de 8,4% em altura em relação ao tratamento controle (T1) evidenciando um favorecimento do tratamento no crescimento inicial vertical da espécie. O gesso no sulco de plantio (T9) não alterou o crescimento das plantas e foi o tratamento cuja média em altura foi a menor dentre as demais, com média de 4,67 m. Seu incremento em altura em 3 meses foi o mesmo em comparação ao tratamento controle (T1), não apresentando vantagens para a planta o seu uso isolado. Tal efeito pode ser explicado pela ausência de correção das propriedades químicas do solo, principalmente pH e do teor de Al na solução, que não apresentaram alterações com aplicação somente de gesso.

Rodrigues et al. (2016) observaram incremento em altura de plantas clonais de eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*), cultivadas em região de cerrado, aos 18

meses após adição de calcário, em superfície ou incorporado, com diferença de até 1,50 m. Após adição de calcário e gesso o incremento foi de até 2,10 m.

Não houve efeito significativo dos tratamentos no desenvolvimento em altura de plantas na avaliação realizada aos 24 meses, terceira etapa de medições, em relação ao tratamento controle (T1) com aplicação dos corretivos no solo.

Simonete et al. (2013) avaliaram o potencial da lama de cal como fonte de Ca para *Eucalyptus saligna*, além de seus efeitos na disponibilidade de nutrientes e produção de massa seca de parte aérea. Eles observaram aumento em produção de massa após aplicação do resíduo, cuja resposta foi semelhante a obtida com o calcário aplicado. Porém, a resposta significativa ocorreu somente nas plantas cultivadas em Neossolo, cujos atributos eram mais restritivos ao crescimento comparado ao Nitossolo ou ao Cambissolo do presente estudo, principalmente baixa CTC e baixa disponibilidade de Ca e Mg.

Em outro estudo, em Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliando doses de calcário aplicados na cova do plantio de mudas clonais de *E. grandis* x *E. urophylla*, Rocha et al. (2008) observaram aumento em altura de plantas até dose de 302 g de calcário na cova explicado pelo melhor condicionamento do solo proporcionado por esta dose. Também observaram redução do desenvolvimento com o aumento da dose por antagonismo entre cátions na absorção pelas raízes das plantas devido ao excesso de calagem, além da redução de disponibilidade de alguns micronutrientes.

Em relação ao diâmetro na altura do peito (DAP), as médias obtidas estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Diâmetro na altura do peito (DAP) médio de plantas de *Eucalyptus dunni* aos 12, 15 e 24 meses de idade em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.

Tratamento	DAP (mm)		
	12 meses	15 meses	24 meses
T1	24,2 bc	54,5 ab	89,5
T2	27,8 ab	57,8 ab	90,8
T3	29,7 a	60,4 a	93,5
T4	25,0 bc	56,1 ab	88,6
T5	25,3 abc	54,7 ab	85,9
T6	27,0 abc	58,5 a	90,7
T7	27,0 abc	57,3 ab	89,7
T8	25,5 abc	55,1 ab	91,3
T9	22,8 c	51,5 b	86,9

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \*T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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.

Da mesma forma que para altura, foram detectadas diferenças significativas somente aos 12 meses e 15 meses do plantio, sem distinção entre tratamentos aos 24 meses.

O calcário aplicado em superfície em menor dose (T3) favoreceu o desenvolvimento em diâmetro em relação ao tratamento controle (T1) na avaliação realizada aos 12 meses do plantio, com média de 29,7 mm. Outras doses e formas de aplicação de calcário, lama de cal e gesso não promoveram melhorias no crescimento em diâmetro das plantas comparado ao tratamento controle (T1). Ainda, a aplicação de gesso isolado no sulco (T9) foi o tratamento que novamente apresentou os menores valores, com média de 22,8 mm.

Aumento significativo também foi observado com a aplicação de calcário em superfície em área total (T2), ou na faixa de preparo (T3), em relação ao gesso no sulco (T9), onde os maiores diâmetros se encontram em área após aplicação de calcário.

Rocha et al. (2008) observaram aumento do diâmetro do tronco após a aplicação de calcário assim como observado no presente estudo, mas sem alteração em doses maiores, com mesmo comportamento observado para altura, devido melhorias no solo promovidas por dose menor. Aqueles autores observaram excesso de nutrientes e aumento de pH em doses maiores promovendo antagonismo na absorção de nutrientes pelas plantas e redução de disponibilidade de micronutrientes podendo explicar também o comportamento da espécie no presente estudo.

Aos 15 meses do plantio, a aplicação de corretivos no solo em geral não promoveu diferenças no aumento em diâmetro das plantas. Houve diferença somente entre aplicação de calcário em superfície (T3) e calcário e gesso em superfície (T6) com maiores médias de 60,4 e 58,5 mm, respectivamente, comparado ao gesso no sulco (T9) com menor média de 51,54 mm. Durante o desenvolvimento das árvores houve uma redução nas diferenças entre os tratamentos, chegando-se aos 24 meses, quando não houve diferença significativa entre tratamentos, apesar da aplicação de calcário em superfície (T3) ainda apresentar maior média (93,5 mm). Nessa avaliação, o menor diâmetro foi encontrado na aplicação de lama de cal (T5) com 85,9 mm, diferentemente da altura onde os menores valores se encontraram no tratamento com aplicação de gesso isolado (T9).

Rodrigues et al. (2016) observaram que a aplicação de calcário promoveu incremento em diâmetro de eucalipto, avaliado aos 18 meses, com incrementos mais expressivos neste atributo dendrométrico do que no crescimento vertical. Apesar de não se detectar diferença significativa em relação aos tratamentos, o presente estudo também apresentou maiores incrementos em diâmetro do que em altura.

Vicente Ferraz et al. (2016) observaram incremento médio anual da cultura em tratamento com lodo de esgoto e calcário maiores do que no tratamento controle, mas os incrementos médios também não foram detectados aos 36 meses após plantio. Os autores justificam o fato ao rápido crescimento dos indivíduos nos tratamentos com calcário e lodo provavelmente terem estimulado outras formas de competição, como por exemplo a competição por espaço, luz e água, as quais podem ter causado esta estagnação ainda antes no tratamento controle.

O fato do solo do presente estudo ter altos teores de matéria orgânica, complexando nutrientes tóxicos como Al, pode ter neutralizado a ação tóxica desse elemento até a ação do corretivo ser significativa e proporcionar melhorias nos atributos químicos do solo e nutricionais, não evidenciando estresse no desenvolvimento pela toxicidade do elemento e resultando em ausência de resposta no desenvolvimento das árvores com o passar do tempo.

Com relação à produtividade, foi estimado o volume médio de um indivíduo por parcela em m<sup>3</sup> e as médias estão apresentadas na Tabela 6. Houve efeito de tratamentos aos 12 e 15 meses do cultivo, porém, aos 24 meses não houve diferença.

Tabela 6 – Volume de madeira (m<sup>3</sup>) médio de um indivíduo de *Eucalyptus dunnii* aos 12, 15 e 24 meses de idade em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.

Tratamento	Volume (m <sup>3</sup> )		
	12 meses (x10 <sup>-4</sup> )	15 meses (x10 <sup>-3</sup> )	24 meses (x10 <sup>-2</sup> )
T1	6,52 bc	5,49 ab	2,66
T2	8,76 ab	6,40 ab	2,75
T3	10,7 a	7,09 a	2,97
T4	7,14 bc	5,83 ab	2,56
T5	7,30 bc	6,03 ab	2,39
T6	8,51 abc	6,65 a	2,76
T7	8,52 abc	6,24 ab	2,73
T8	7,19 bc	5,72 ab	2,67
T9	5,68 c	4,72 b	2,48

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \*T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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.

A aplicação de 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário na faixa de preparo (T3) promoveu incremento significativo em volume na avaliação realizada aos 12 meses de cultivo



comparado ao tratamento controle (T1). Doses maiores de calcário, lama de cal ou adição de gesso não promoveram aumento de fuste nessa fase da cultura. Os volumes calculados por indivíduo médio variaram de 654 cm<sup>3</sup> com aplicação de gesso no sulco (T9) a 1090 cm<sup>3</sup> com aplicação de 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário em superfície (T3), perfazendo uma diferença de 67%.

Além da correção do pH, tanto o calcário quanto a lama de cal fornecem Ca para as culturas, elemento de extrema importância, pois faz parte da lamela média, estrutura da parede celular das células do vegetal. Este elemento é imóvel na planta e havendo deficiência não há seu translocamento para outras partes, o que pode reduzir a expansão celular e seu crescimento.

Vieira & Weber (2017) obtiveram melhoras nos atributos químicos do solo após aplicação de calcário, o que proporcionou incremento em altura, diâmetro e biomassa de mudas de *E. camaldulensis*.

Aos 15 meses de cultivo, não houve diferença em relação ao tratamento controle (T1), mas a aplicação de 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário em superfície (T3) ou 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário com 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso em superfície (T6) promoveu volume maior em relação a aplicação de gesso no sulco (T9), com 41% e 35% maiores que esse último tratamento, respectivamente. Entretanto, aos 24 meses de cultivo não houve diferença de volume obtido nos diversos tratamentos.

Não houve diferença significativa entre as aplicações de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário (T4) e 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal (T5) em nenhuma das avaliações realizadas até 24 meses de cultivo. De acordo com Maciel et al. (2015) em trabalho comparando aplicação de diferentes resíduos industriais dentre eles a lama de cal, em doses adequadas os resíduos testados podem ser utilizados como corretivo e/ou fonte nutricional, sendo uma alternativa viável reduzindo uso de fertilizantes e destinando adequadamente os resíduos de forma não prejudicial ao ambiente.

Um estudo realizado por Maeda et al. (2014) mostrou que a aplicação de lama de cal apresentou efeito similar ao do calcário no desenvolvimento em altura de eucalipto em que a química do solo apresentou aumento do pH, aumento na disponibilidade de Ca, redução de teores de Al, aumento da saturação por bases e capacidade de troca de cátions, corroborando com o presente estudo.

Analisando a produtividade por hectare, considerando que não são explorados indivíduos unitários por talhão, e sim uma quantidade expressiva de indivíduos, estimou-se, a partir do indivíduo médio, o volume de *Eucalyptus dunnii*

por hectare e os incrementos corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) aos 12 e 24 meses de idade (Tabela 7).

Tabela 7 – Volume de madeira (m<sup>3</sup>) estimado por hectare de *Eucalyptus dunnii* aos 12, 15 e 24 meses de idade, e incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) aos 24 meses de idade em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.

Tratamento	Volume por hectare (m <sup>3</sup> /ha)					
	12 meses	ICA=IMA <sub>12 meses</sub>	15 meses	24 meses	ICA <sub>24 meses</sub>	IMA <sub>24 meses</sub>
T1	0,931 bc	0,931	7,84 ab	38,1	37,2	19,0
T2	1,25 ab	1,25	9,15 ab	39,3	38,1	19,7
T3	1,53 a	1,53	10,1 a	42,4	40,9	21,2
T4	1,02 bc	1,02	8,33 ab	36,6	35,6	18,3
T5	1,04 bc	1,04	8,62 ab	34,1	33,1	17,1
T6	1,22 abc	1,22	9,51 a	39,4	38,2	19,7
T7	1,22 abc	1,22	8,91 ab	39,1	37,8	19,5
T8	1,03 bc	1,03	8,17 ab	38,2	37,2	19,1
T9	0,812 c	0,812	6,74 b	35,5	34,7	17,8

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \*T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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 incremento de 54% em volume aos 12 meses de idade após aplicação de 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário na faixa de preparo de plantio das mudas (T3) e 28% após aplicação de mesma dose de calcário incorporado no sulco de plantio (T7) em relação ao tratamento controle (T1). Outras doses e formas de aplicação de calcário, lama de cal e gesso não promoveram incrementos significativos no volume estimado por hectare aos 12 meses.

Rodrigues et al. (2016) observaram incrementos no fuste aos 18 meses de 56% com aplicação de calcário em superfície na faixa de preparo chegando aos 23,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, e 99% com aplicação de calcário em área total adicionado de gesso na faixa de preparo com produtividade de 29,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Avaliando eficiência de lama de cal em Latossolo Bruno, Maeda et al. (2015) observaram rendimento em volume sólido de árvores de *Eucalyptus benthamii* aos 12 meses de idade com aplicação de 3 t ha<sup>-1</sup>, dose similar ao presente estudo. Com aumento desta dose para 6 t ha<sup>-1</sup> o plantio não apresentou incremento em relação a ausência do resíduo. Aos 22 meses e 47 meses a lama de cal não promoveu incremento em volume sólido de madeira. Os autores inferem que a lama de cal tem efeito mais rápido na redução em saturação por Al, não apresentando grande efeito residual para manutenção de baixa saturação por Al, podendo ser este o fator que contribuiu para não haver incrementos com o passar do tempo.

Em experimento de Chaves et al. (1991), avaliando diferentes fontes de Ca e Mg, entre eles carbonato de Ca, de Mg e sulfato de Ca, encontraram efeito significativo dos tratamentos com incremento no volume e comprimento radicular, peso da matéria seca das raízes, ramos, folhas e total das plantas de cafeeiro após aplicação de carbonato de Ca e sulfato de Ca. Sendo que o uso de carbonato de Mg não proporcionou incrementos demonstrando que o Ca limita o crescimento das plantas, e o estreitamento da relação Ca/Mg contribuiu para a diminuição da absorção de Ca.

O volume estimado por hectare também não evidenciou diferença entre qualquer dos tratamentos e o controle (T1) aos 15 meses de idade. Contudo, diferença significativa foi observada na aplicação 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário na faixa (T3) e aplicação de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário com 2,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso na faixa (T6) em relação a aplicação de 1,38 t ha<sup>-1</sup> de gesso no sulco de plantio (T9), que apresentou menor valor de volume (7,31 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Aos 24 meses de cultivo as plantas não mostraram diferenças significativas em incremento em volume.

Incremento em volume de madeira de *Eucalyptus grandis* aos 21 e 37 meses de idade foram observados por Stappe & Balloni (1988) após aplicação de doses crescentes de lama de cal até 6 t ha<sup>-1</sup> em solo arenoso, cujos incrementos estão relacionados a correção da acidez, fornecimento de Ca e maior disponibilização de nutrientes.

Guimarães et al. (2015) avaliaram incremento em volume de *Eucalyptus saligna* em diferentes solos para determinar quais atributos químicos mais influenciavam no crescimento das plantas. Os autores observaram maiores incrementos em volume de eucalipto no solo cuja saturação por Al era menor, maior saturação por bases e maior teor de Mg trocável. Sendo os níveis críticos de cada atributo para promover 80% de rendimento da cultura de 79% de saturação por Al, 8% de saturação por bases e 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para teor de Mg trocável. O tratamento que apresentou melhor rendimento no presente estudo foi após aplicação de 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário na faixa de plantio (T3), cujos atributos acima mencionados apresentaram média, de 0 a 0,40 m de profundidade, de 41% de saturação por bases, 59% de saturação por Al e 3,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

Avaliando a produtividade de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes tipos de manejo, preparo do solo e adubações de plantio, incluindo resíduos celulósicos e cinzas de madeira, Paes et al. (2013) observaram incremento em volume de madeira aos 83 meses de idade após aplicação de doses elevadas de resíduos de celulose e cinzas comparado às áreas que não receberam estes resíduos.

### **3.5.2 Estado nutricional das plantas**

Os teores de N, P, K, Ca e Mg em tecido foliar nos respectivos tratamentos estão descritas na Tabela 8. Não houve diferença estatisticamente significativa após aplicação de calcário, lama de cal e gesso aos 12 meses do cultivo, independente da dose e forma de aplicação.

Tabela 8 – Teor dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio determinados em tecido foliar de indivíduos de *Eucalyptus dunnii* com 12 meses de idade cultivados em Cambissolo Húmico tratado com calcário, gesso e lama de cal em diferentes doses e formas de aplicação.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	%				
T1	1,88	0,143	1,21	0,223	0,185
T2	1,94	0,143	1,14	0,215	0,185
T3	1,77	0,145	1,17	0,258	0,178
T4	1,64	0,143	1,10	0,250	0,173
T5	1,74	0,145	1,24	0,275	0,173
T6	1,77	0,150	1,27	0,275	0,173
T7	1,93	0,160	1,19	0,218	0,170
T8	1,77	0,143	1,15	0,273	0,153
T9	1,90	0,145	1,19	0,223	0,150
<b>média</b>	<b>1,82</b>	<b>0,147</b>	<b>1,18</b>	<b>0,246</b>	<b>0,171</b>

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. Não significativo na ausência de letras. \*T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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.

Considerando a faixa de suficiência para estes elementos de acordo com a CQFS-RS/SC (2016), em geral os tratamentos resultaram em teores dentro do suficiente para a cultura do eucalipto. Porém, isso não ocorreu para Ca e Mg que apresentaram médias de 0,246 e 0,171%, respectivamente, quando de acordo com o manual deveriam apresentar entre 0,60 e 1,00% para Ca e 0,50 e 0,80% para Mg.

Entretanto, há que se considerar possíveis diferenças entre níveis adequados de nutrientes para cada espécie de eucalipto, como apresentado por Millner & Kemp (2012). Os autores realizaram um estudo com diferentes espécies de eucalipto na Nova Zelândia com intuito de se determinar concentração de nutrientes em tecido foliar em diferentes sítios e espécies e obtiveram diferenças significativas entre espécies com valores que variaram entre 1,14 e 1,92% de N, 0,124 e 0,193% de P, 0,57 e 0,89% de K, 0,41 e 0,75% de Ca, e 0,21 e 0,38 de Mg.

Os teores de N não ultrapassaram 2% na folha, situando-se entre 1,94% com aplicação superficial de calcário em área total (T2) e 1,64% com aplicação de calcário em superfície na faixa de preparo (T4). O P é o elemento de menor proporção entre os outros macronutrientes analisados, com média de 0,147% considerando-se todos os tratamentos. O K apresenta porcentagem maior, mas não superior ao N, variando de 1,27 a 1,10%. O Ca teve variação de 0,22 a 0,28% e Mg de 0,15 a 0,19%. Os teores seguem uma ordem de concentração de  $N > K > Ca > Mg > P$ . Apesar de não significativo, podemos observar uma tendência em aumento nos teores foliares de Ca com aplicação de lama de cal (T5), calcário e gesso em superfície (T6) e calcário e gesso no sulco de plantio (T8).

O Na é um elemento que pode provocar reduções no crescimento e rendimento de culturas devido as condições de alta salinidade do solo. Tavakkoli et al. (2010) estudaram plantas expostas a altas concentrações de Na e as mesmas apresentaram concentrações de K e Ca significativamente menores. A salinidade reduziu a produção de biomassa e absorção de água.

Avaliando diferentes doses de lama de cal em plantio de *E. grandis*, Stappe & Balloni (1988) não observaram tendência definida de teores de nutrientes em análise foliar corroborando com o presente estudo. Já em experimento conduzido por Vieira & Weber (2017) com mudas de *E. camaldulensis*, a nutrição foi influenciada por combinações de fertilizantes e calcário havendo incremento em altura, diâmetro e biomassa das mudas.

Diferentemente deste estudo, em Latossolo Vermelho Amarelo, Vicente Ferraz et al. (2016) encontraram aos 6 meses após plantio de *Eucalyptus grandis*, concentrações foliares de N e P significativamente maiores nos tratamentos com lodo de esgoto do que no tratamento controle e calcareado (20–100 %). O incremento nos teores de N foi relacionado com expansão da coroa, taxa fotossintética e taxa de crescimento dos indivíduos, principalmente em estágio inicial de desenvolvimento. O aumento do P após 36 meses, mesmo sendo altamente adsorvido aos óxidos de Fe e Al presentes em grande proporção em solos intemperizados, se deu pela lenta mineralização do P orgânico da MO evitando lixiviação de outros nutrientes e favorecendo a absorção de P pelas plantas com o tempo. Além disso, até o 18º mês, a concentração foliar de K no tratamento controle era maior que o tratamento com calcário e lodo de esgoto (30–40 %).

Os resultados para teores de nutrientes do presente estudo podem estar relacionados ao tipo de solo e forma de condução da área, onde o referente solo possui textura argilosa e alto teor de matéria orgânica (4%), além do acúmulo de restos vegetais pós colheita da rotação anterior mantidos na área para decomposição e ciclagem de nutrientes. Com isto, a ciclagem de matéria orgânica aumenta e pode haver maior adsorção dos elementos minerais, além do solo ter alto poder tampão, o que diminui a grandeza do efeito dos corretivos. Portanto, apesar de maiores doses aplicadas em determinados tratamentos, não houve alteração importante no pH e toxidez de Al para as plantas onde a cultura não apresentou diferenças durante estes primeiros 12 meses de cultivo.

Vicente Ferraz et al. (2016) concluíram que em geral a fertilização de plantios de eucalipto com lodo de esgoto aumentaram a concentração dos nutrientes nas folhas, principalmente nos estágios iniciais de desenvolvimento das plantas. Porém o incremento de Ca, apesar de favorecer a absorção do mesmo, pode induzir a deficiência de K ou Mg. Além disso, a heterogeneidade do material gerado pode levar a desbalanços nutricionais.

Avaliando efeito do K na nutrição de mudas clonais de eucalipto durante a fase de rustificação, D'Avila et al. (2011) observaram que em todos os tratamentos as concentrações foliares de K ficaram acima de 20 g kg<sup>-1</sup>, e que durante a fase de rustificação é recomendável a adubação potássica para proporcionar maiores incrementos em diâmetro.

Aos 12 meses, Maeda et al. (2015) não observaram diferenças significativas nos teores foliares de *Eucalyptus benthamii* após aplicação de lama de cal, com médias de 2,54% de N, 0,126% de P, 0,548% de K, 0,803% de Ca e 0,172% de Mg. Os autores comentam que não houve interferência na absorção de Mg apesar do aumento da relação Ca/Mg pela adição de lama de cal.

Avaliando nutrição de espécies arbóreas leguminosas, Vargas & Marques (2017) não observaram resposta de teores de macronutrientes no tecido foliar após aplicação de calcário e gesso, exceto teores de K com aplicação de gesso que foram maiores em relação ao tratamento controle e com aplicação de calcário, sendo explicado pelo menor crescimento das plantas. Os autores mencionam que a ausência de resposta com relação aos teores de Ca pode estar relacionada ao efeito da correção da acidez do solo superar a deficiência de Ca.



Após aplicação de calcário e lama de cal em dois solos distintos com plantio de *Eucalyptus saligna*, Simonete et al. (2013) observaram redução nos teores de N, P, K e Mg, e manutenção dos teores de Ca e S com a aplicação de lama de cal em Nitossolo. Mesmos resultados foram obtidos com a aplicação de calcário, com manutenção dos teores de Mg além do Ca por aplicação de calcário dolomítico. No Neossolo as alterações mais significativas estão nos teores de Ca, com maiores doses no tratamento com lama de cal seguido pelo calcário e nenhuma alteração nos teores de Mg pela aplicação de lama de cal com incremento após aplicação de calcário. Os resultados com relação ao Ca se devem aos teores iniciais disponíveis no solo, onde o Neossolo apresentava teor alto de Ca e o Neossolo teor baixo.

Outro trabalho com *Eucalyptus grandis*, mas em Latossolo com aplicação de biofósforos, Guedes et al. (2006) observaram aos 12 meses de idade das plantas que a aplicação de biofósforos aumenta teores de Ca, N, P, S, porém reduz teores de Mg e Mn.

### 3.6 CONCLUSÕES

A calagem em Cambissolo Húmico com doses até  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ , aplicada em área total ou localizada na faixa de preparo e no sulco de plantio das mudas, assim como a aplicação de lama de cal e  $1,38 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso agrícola, não afetaram a altura e diâmetro das árvores, nem o volume de madeira das plantas de *Eucalyptus dunnii* aos 24 meses após o plantio.

Tanto o calcário e a lama de cal, quanto o gesso agrícola, não afetaram os teores de nutrientes nas folhas de *Eucalyptus dunnii* em avaliação realizada aos 12 meses após o plantio.



#### 4 CONCLUSÕES GERAIS

O calcário e lama de cal proporcionaram melhoria nos atributos químicos do solo relacionados a acidez com aumento nos teores de Ca e Mg no solo através da calagem, enquanto a lama de cal aumentou os teores de Ca e Na na camada até 0,05 m do solo.

Os tratamentos com calcário, lama de cal e gesso não afetaram a produtividade do *Eucalyptus dunnii* aos 24 meses do plantio e não afetaram os teores de nutrientes nas folhas dessa cultura aos 12 meses do plantio.

A lama de cal pode ser empregada em substituição ao calcário, e a presença do Na na sua composição ocorre em quantidade insuficiente para causar prejuízos, tanto para solo quanto para produtividade inicial da cultura.



## REFERÊNCIAS

- ABREU JR, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 4, p. 813-824, 2001.
- AGGANGAN, N. S.; DELL, B.; MALAJCZUK, N. Effects of soil pH on the ectomycorrhizal response of Eucalyptus urophylla seedlings. **New Phytologist**, v. 134, n.3, p. 539–546, 1996.
- ALMEIDA, J. A. et al. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 29, n. 3, p. 437–445, 2005.
- ALMEIDA, J. A.; ERNANI, P. R.; MAÇANEIRO, K. C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.29, p.651-656, 1999.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- AMARAL, F. C. S.do; VETORAZZO, S. C. Especificação iônica da solução percolada de um solo tratado com lama de cal. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2005.
- AMARAL, L. A. et al. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Agrarian**, v. 10, n. 35, p. 31-41, 2017.
- ANHAIA, S.A.F., BORSZOWSKI, P.R. Reaproveitamento de resíduos gerados na fabricação de celulose e papel como substrato na hidroponia para a cultura de alface (*lactuca sativa*). **Revista TechnoEng**, v. 1, n. 5, 2012.
- AZEVEDO, G. B. de. et al. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 309, 2011.
- 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.

BARREIROS, R. M. et al. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, p. 103-111, 2007.

BASSO, L. H. M. et al. Efeito do alumínio no crescimento de brotações de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivadas in vitro. **Scientia Forestalis**, n.63, p.167-177, 2003.

BASSO, L. H. M. et al. Efeito do alumínio no conteúdo de poliaminas livres e atividade da fosfatase ácida durante o crescimento de brotações de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivadas in vitro. **Scientia Forestalis**, p. 9-18, 2007.

BELLOTE A. F. J. & NEVES, E. J. M. Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural. **Embrapa Florestas**, 6p, 2001.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, jul/dez. 1998.

BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; COSTA, L.M.; CORRÊA, G.F. & BORGES, E.V.S. Alterações nos componentes da acidez do solo promovidas em camada subsuperficial compactada pela aplicação superficial de gesso. **Revista Ceres**, 45:55-64, 1998.

BRANCALIÃO, S.R.; CAMPOS, M.; BICUDO, S.J. Crescimento e desenvolvimento de plantas de mandioca em função da calagem e adubação com zinco. **Nucleus**, v. 12, n. 2, p. 175-182, 2015.

BRANCO, S. B. et al. Atributos químicos do solo e lixiviação de compostos fenólicos após adição de resíduo sólido alcalino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 543-550, 2013.

CAIRES, E.F. et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p.161-169, 2000.

CAIRES, E.F. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 1029–1040, 2001.

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.

CARDOSO, A. A. de S. et al. Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial do mogno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 81, p. 1-10, 2015.

CASTRO FARIA, Á.B. de; ANGELO, A.C.; AUER, C.G. Disponibilidade de macronutrientes em *Eucalyptus saligna* cultivados com lodo de papel reciclado. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 261-272, 2015.

CHAPMAN, H.D. Cation exchange capacity. In: **Methods of Soil Analysis** (Edited by Black, C. A.) Part 2, Number 9 in the series Agronomy: Am. Inst. Agronomy, Madison, Wisconsin, p. 891-901, 1965.

CHATZISTATHIS, T.; ALIFRAGIS, D.; PAPAIOANNOU, A. The influence of liming on soil chemical properties and on the alleviation of manganese and copper toxicity in *Juglans regia*, *Robinia pseudoacacia*, *Eucalyptus* sp. and *Populus* sp. plantations. **Journal of Environmental Management**, v. 150, p. 149-156, 2015.

CHAVES, C.D.; PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. Especificação química da solução do solo para interpretação da absorção de cálcio e alumínio por raízes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 26:447-453, 1991.

CHRISTO, S.S.M; SANTOS, O.S. Efeitos do gesso e do boro na produção de mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 20, n. 1, 1990.

COMISSÃO DE QUÍMICA FERTILIDADE DO SOLO – 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.

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

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Guia do Eucalipto: Oportunidades para um desenvolvimento sustentável**, 20p, 2008.

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.

CORRÊA, J. C. et al. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1307-1317, 2007.

CORRÊA, J. C. et al. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 263-272, 2009.

D'AVILA, F. S. et al. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, 2011.

DALLA NORA, D. et al. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2014.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1.ed. Minas Gerais: SBSC, p. 91-132, 2007.

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

ECHART, C.L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 531–541, 2001.

EDMEADES, D. C. Effects of lime on effective cation exchange capacity and exchangeable cations on a range of New Zealand soils. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 25, n. 1, p. 27-33, 1982.



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 306p, 2006.

ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages. 230p, 2008.

ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia agricola**: USP. ESALQ. Piracicaba. Vol. 58, n. 4, p. 825-831, 2001.

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

FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H.; CRESTE, J. E. et al. Resposta do feijoeiro e fertilidade do solo em função de altas doses de calcário em interação com a gessagem. **Colloquium Agrariae**, v.4, p.27-35, 2008.

FURTINI NETO, A. E. F. et al. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Cerne**, v. 5, n. 2, p. 1-12, 1999.

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**, v. 26, p. 1093–1097, 2002.

GONÇALVES J.L.M. Recomendações de adubação para Eucalyptus, Pinus e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documento Florestal**, 15: 1–23, 1995.

GUEDES, M. C. et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 267-280, 2006.

GUIMARÃES, C.do 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**, v. 45, n. 7, p. 1183-1190, 2015.

HARTWIG, I. et al. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas Associated mechanisms of aluminum tolerance in plants. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 219–228, 2007.

IBA. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Iba 2017**, São Paulo, 33p, 2017.

JENNY, H. **The Soil Resource: Origin and Behavior**. Springer-Verlag, New York, NY, USA, 1980.

JOHNSTON, A. Base Saturation and Basic Cation Saturation Ratios – How Do They Fit in Northern Great Plains Soil Analysis? **News & Views**. PPI & PPIC, Canada, 2005.

LIMA, R. de L. S. de. et al. Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 11, n. 1, 2007.

LIMA, E. de S. et al. Variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2017.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: POTASSA, 177p, 1998.

LOPES, A.S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. 3.ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 15p, 1991. (ANDA. Boletim técnico, 1).

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, v.19, n.1, p.84-90, 2015.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Influência de calagem e adubação fosfatada no crescimento inicial de eucalipto e nos níveis críticos de P. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 401–407, 2012.

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

MAEDA, S.; BOGNOLA, I.A.; SILVA, H.D. da. Avaliação de lama de cal e cinza de biomassa florestal como insumo florestal. Colombo: **Embrapa Florestas**, Série Documentos, 270, 41p, 2014.

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**, 2015.

MARTINS, O. C. et al. Respostas à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos. I. alterações químicas no perfil do solo. **Revista Ceres**, v. 48, p. 123-136, 2002.

MATHEW, P.K.; RAO, S. N. Effect of lime on cation exchange capacity of marine clay. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 123, n. 2, p. 183-185, 1997.

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**, 19:93-98, 2008.

MEDEIROS, J.C. et al. Resíduo alcalino da indústria de celulose na correção da acidez de um Cambissolo Húmico aluminoso. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 1, p. 78-87, 2013.

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

MIGUEL, P. S. B. et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, p. 11–30, 2010.

MIGUEL, E. P. et al. Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde-GO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-13, 2010b.

MILLNER, J. P.; KEMP, P. D. Foliar nutrients in *Eucalyptus* species in New Zealand. **New forests**, v. 43, n. 2, p. 255-266, 2012.

MIRANDA, D. L. C. de; 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**, v. 11, n. 3, 2015.

MORAIS, F.A. de. **Gênese e classificação de horizontes subsuperficiais escurecidos em argissolos bruno-acinzentados do extremo sul do Brasil**. 2017. 360p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

NETO, A. E. F.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V. et al. **Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA, 261p, 2001.

NGUYEN, N. T. et al. Role of exudation of organic acids and phosphate in aluminum tolerance of four tropical woody species. **Tree physiology**, v. 23, n. 15, p. 1041–1050, 2003.

NOBLE, A. D.; ZENNECK, I.; RANDALL, P. J. Leaf litter ash alkalinity and neutralisation of soil acidity. **Plant and Soil**, v. 179, n. 2, p. 293–302, 1996.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em latossolo sob plantio direto em diferentes condições de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.6, p.955-963, 2006.

OLIVEIRA, J. T. da S. et al. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1 - Avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 113–124, 1999.

PÁDUA, T. R. P.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Nutrição e crescimento do algodoeiro em Latossolo sob diferentes coberturas vegetais e manejo de calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1481-1490, 2008.

PÁDUA, T. R. P.; SILVA, C. A.; MELO, L. C. A. Calagem em Latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 869-878, 2006.

PAES, F. A. S. V. et al. Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1081-1090, 2013.

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

POSSATO, E. L. et al. Atributos químicos de um cambissolo e crescimento de mudas de eucalipto após adição de lodo de curtume contendo cromo. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, 2014.

POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FLORES, C. A.; BOGNOLA, I. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro. **Embrapa Solos**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 46, 2004.

PRADO, R.M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 1007-1012, 2004.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016. URL <https://www.R-project.org/>.

RAIJ, B.van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 28, n. unico, p. 85-112, 1969.

ROCHA, J. B. O.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G. et al. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo húmico da Zona da Mata (MG). **Scientia Forestalis**, v.36, p.255-263, 2008.

RODRIGUES, F. A. V. et al. Produtividade de eucalipto aos 18 meses de idade, na região do Cerrado, em resposta à aplicação de cálcio, via calcário e gesso agrícola. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 67-74, 2016.

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

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; DE OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

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: SBCS, p. 375-418, 2006.

SANTOS, R. L. et al. Produção de capim elefante e movimentação de cátions em função de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1030-1037, 2013.

SENA, J. S. et al. Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa*Ducke). **Acta amazonica**, v. 40, n. 2, p. 309-318, 2010.

SERAFIM, M.E. et al. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p. 75-81, 2012.

SILVA, I. R. et al. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism. **Tree physiology**, v. 24, n. 11, p. 1267–1277, 2004.

SILVA, P. A.; RIGATO, L. I.; JALES, L. L et al. Estudo mineral de uma supercalagem no milho. In: **Encontro Latino Americano de Iniciação Científica**, 9, São José dos Campos, 2005. Anais. São José dos Campos: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, p. 551-553, 2005.

SIMONETE, M. A. et al. Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1343-1351, 2013.

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**, Viçosa v. 32, n. 2, 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, p. 205-274, 2007.

STAPPE, J.L.; BALLONI, E.A. **O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal**. IPEF, Piracicaba, v.40, p.33-37,1988.

TAHARA K.; NORISADA M.; HOGETSU T.; KOJIMA K. Aluminum tolerance and aluminum-induced deposition of callose and lignin in the root tips of *Melaleuca* and *Eucalyptus* species. **J. For. Res.** 10, p. 325–333, 2005.

TAVAKKOLI, E.; RENGASAMY, P.; MCDONALD, G.K. High concentrations of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 15, p. 4449-4459, 2010.

TEBALDI, F. L. H. et al. Composição mineral das pastagens das regiões norte e noroeste do Estado do Rio de Janeiro: 2. Manganês, ferro, zinco, cobre, cobalto, molibdênio e chumbo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 616-629, 2000.

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

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

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

VICENTE FERRAZ, A. de; MOMENTEL, L. T.; POGGIANI, F. Soil fertility, growth and mineral nutrition in Eucalyptus grandis plantation fertilized with different kinds of sewage sludge. **New forests**, v. 47, n. 6, p. 861-876, 2016.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L dos S. Fertilização mineral e calagem no crescimento de mudas de Eucalyptus camaldulensis. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal-ENFLO**, v. 5, n. 2, p. 45-52, 2017.

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: MANLIO, S.F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 299-325, 2006.

WALLACE, T. Mineral deficiencies of plants. **Journal of the Institute of Brewing**, v.52, n.4, p. 181-187, 1946.

WEIRICH NETO, P.H.; CAIRES, E. F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, v. 30, n.2, 2000.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R. et al. **Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto**. Botucatu: FEPAF. 19p, 2008.

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.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p.487-495, 2007.

ZANDONÁ, R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 45, n. 2, 2015.



## APÊNDICES

APÊNDICE A – Valores de pH em água e dos teores de alumínio nos tratamentos 1 (T1), 2 (T2), 3 (T3), 4 (T4), 5 (T5), 6 (T6), 7 (T7), 8 (T8) e 9 (T9)\*, com doses de calcário, gesso e lama de cal aplicados, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após primeiro ano de aplicação.

Prof. (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
	pH água								
0 - 0,05	4,2 cd	4,4 bcd	4,8 abc	4,8 abc	5,5 a	5,0 abc	5,3 ab	4,9 abc	3,9 d
0,05 - 0,10	4,0 c	4,3 c	4,2 c	4,1 c	4,3 c	4,2 c	5,6 a	4,9 b	3,8 c
0,10 - 0,20	4,0 b	4,3 b	4,1 b	4,1 b	4,1 b	4,0 b	5,5 a	4,5 b	3,8 b
0,20 - 0,40	4,0 b	4,1 b	4,1 b	4,1 b	4,0 b	4,0 b	4,8 a	4,2 b	3,8 b
	Al (cmol <sub>d</sub> /dm <sup>3</sup> )								
0 - 0,05	8,39 ab	4,85 bc	2,24 cd	0,89 d	1,06 d	0,88 d	0,92 d	0,64 d	9,74 a
0,05 - 0,10	10,36 a	8,10 a	7,66 a	7,12 ab	7,08 ab	5,43 abc	0,56 c	0,83 bc	9,57 a
0,10 - 0,20	10,28 a	9,54 ab	9,83 ab	8,91 ab	9,04 ab	9,36 ab	1,45 c	3,24 bc	10,13 a
0,20 - 0,40	10,99 a	9,65 ab	9,10 ab	9,01 ab	10,26 ab	7,71 abc	3,43 c	5,81 bc	10,88 a

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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 B – Teores de cálcio e magnésio nos tratamentos 1 (T1), 2 (T2), 3 (T3), 4 (T4), 5 (T5), 6 (T6), 7 (T7), 8 (T8) e 9 (T9)\*, com doses de calcário, gesso e lama de cal aplicados, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após primeiro ano de aplicação.

Camada (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Ca (cmol/dm <sup>3</sup> )									
0 - 0,05	1,33 c	5,15 bc	9,12 ab	9,59 ab	11,17 ab	11,94 ab	10,14 ab	<u>13,29 a</u>	6,39 abc
0,05 - 0,10	0,88 c	4,09 bc	2,95 bc	3,54 bc	4,21 bc	6,81 abc	14,03 a	<u>14,05 a</u>	9,52 ab
0,10 - 0,20	0,56 b	3,74 ab	0,90 b	2,11 b	1,75 bc	2,81 ab	12,34 a	9,13 ab	8,13 ab
0,20 - 0,40	0,39 c	1,59 c	1,54 c	1,82 c	1,06 c	3,74 abc	7,82 ab	8,37 a	2,90 bc
Mg (cmol/dm <sup>3</sup> )									
0 - 0,05	1,77 c	5,81 b	7,30 ab	7,41 a	2,15 c	7,61 a	7,56 a	7,69 a	1,62 c
0,05 - 0,10	1,70 de	4,30 cde	4,58 cd	5,06 bc	1,73 de	5,93 abc	8,15 a	7,99 ab	1,44 e
0,10 - 0,20	1,34 c	3,05 c	2,15 c	3,64 bc	1,04 c	3,20 c	7,82 a	6,78 ab	1,08 c
0,20 - 0,40	1,22 c	2,45 bc	2,99 bc	3,21 bc	0,74 c	4,09 ab	6,62 a	6,62 a	0,74 c

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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 – Teores de sódio e potássio nos tratamentos 1 (T1), 2 (T2), 3 (T3), 4 (T4), 5 (T5), 6 (T6), 7 (T7), 8 (T8) e 9 (T9)\*, com doses de calcário, gesso e lama de cal aplicados, em camadas de Cambissolo Húmico até a profundidade de 0,40 m após primeiro ano de aplicação.

Prof. (m)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Na (mg/dm <sup>3</sup> )									
0 - 0,05	20,50 b	13,50 b	18,00 b	18,25 b	81,00 a	16,50 b	20,25 b	23,50 b	17,75 b
0,05 - 0,10	17,75	14,50	12,75	13,25	33,75	14,00	20,50	22,00	22,75
0,10 - 0,20	14,50	14,00	12,00	11,75	21,75	9,75	17,50	16,75	19,75
0,20 - 0,40	17,00 ab	11,25 ab	10,75 ab	12,00 ab	18,25 a	10,00 ab	14,25 ab	8,50 b	14,25 ab
K (mg/dm <sup>3</sup> )									
0 - 0,05	631,35	364,60	331,60	540,60	480,10	422,35	565,35	609,35	482,85
0,05 - 0,10	372,85	240,85	276,60	287,60	254,60	260,10	339,85	287,60	287,60
0,10 - 0,20	270,18	199,60	202,35	246,35	251,85	174,85	251,85	260,10	268,35
0,20 - 0,40	243,60	183,10	172,10	194,10	240,85	166,60	251,85	240,85	265,60

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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 – Médias de capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva), saturação de bases (V) e saturação por alumínio (m) nos tratamentos\* avaliados até a profundidade de 0,40 m.

Prof. (cm)	Tratamentos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
CTC (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )									
0 - 0,05	13,19 c	16,80 abc	19,57 abc	19,35 abc	15,95 bc	21,58 ab	20,15 ab	23,28 a	19,06 abc
0,05 - 0,10	13,96 c	17,17 abc	15,95 bc	16,51 bc	13,82 c	18,90 abc	23,70 a	23,70 a	21,36 ab
0,10 - 0,20	12,76 b	16,90 ab	13,46 b	15,35 ab	12,56 b	15,85 ab	22,32 a	19,89 ab	20,12 ab
0,20 - 0,40	13,30	13,81	14,11	14,59	12,76	16,01	18,57	16,25	15,25
V (%)									
0 - 0,05	35,15 c	70,54 ab	88,23 a	95,47 a	92,45 a	95,64 a	95,05 a	97,20 a	46,14 bc
0,05 - 0,10	24,59 d	51,36 cd	52,26 bcd	56,91 abcd	48,65 cd	69,98 abc	97,67 a	96,42 ab	51,16 cd
0,10 - 0,20	19,78 c	36,19 bc	26,96 c	41,46 bc	27,91 c	39,90 bc	92,36 a	83,08 ab	42,19 bc
0,20 - 0,40	17,00 b	29,51 bc	33,92 b	37,85 ab	19,56 b	50,90 ab	79,16 a	52,84 ab	27,44 b
m (%)									
0 - 0,05	64,86 a	29,46 bc	11,78 c	4,53 c	7,55 c	4,36 c	4,95 c	2,80 c	53,87 ab
0,05 - 0,10	75,41 a	48,64 ab	47,74 abc	43,09 abcd	51,36 ab	30,02 bcd	2,33 d	3,58 cd	48,85 ab
0,10 - 0,20	80,22 a	63,81 ab	73,05 a	58,54 ab	72,09 a	60,10 ab	7,64 c	16,92 bc	57,81 ab
0,20 - 0,40	83,01 a	70,50 a	66,08 a	62,15 ab	80,45 a	49,11 ab	20,84 b	47,16 ab	72,57 a

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. \* T1 - controle; T2 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente em área total; T3 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T4 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na faixa de preparo de plantio; T5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal na faixa de preparo 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 preparo de plantio; T7 – 1,75 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado no sulco de plantio das mudas; 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.