



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL

CAMPUS LARANJEIRAS DO SUL

CURSO DE AGRONOMIA

JOSIMAR GONÇALVES

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE LAMA DE CAL SOBRE A ACIDEZ DO SOLO E NA
NUTRIÇÃO MINERAL DA CULTURA DO FEIJÃO-COMUM**

LARANJEIRAS DO SUL

2019

JOSIMAR GONÇALVES

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE LAMA DE CAL SOBRE A ACIDEZ DO SOLO E NA
NUTRIÇÃO MINERAL DA CULTURA DO FEIJÃO-COMUM**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado
como requisito para obtenção de grau de Bacharel em
Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco Grillo

LARANJEIRAS DO SUL

2019

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Gonçalves, Josimar

EFEITO DA APLICAÇÃO DE LAMA DE CAL SOBRE A ACIDEZ DO SOLO E NA NUTRIÇÃO MINERAL DA CULTURA DO FEIJÃO-COMUM / Josimar Gonçalves. -- 2019.

47 f.:il.

Orientador: Professor Doutor José Francisco Grillo.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia, Laranjeiras do Sul, PR , 2019.

1. Corretivo do solo . 2. Disponibilidade de
nutrientes. 3. Phaseolus vulgaris L.,. 4. Resíduo
celulósico. I. Grillo, José Francisco, orient. II.
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

JOSIMAR GONÇALVES

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE LAMA DE CAL SOBRE A ACIDEZ DO SOLO E
NA NUTRIÇÃO MINERAL DA CULTURA DO FEIJÃO-COMUM**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia com Ênfase em Agroecologia da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Laranjeiras do Sul – PR.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em 04 de Julho de 2019.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Rubens Fey – UFFS



Prof. MSc. Augusto César Prado Pomari Fernandes – UFFS



Prof. Dr. José Francisco Grillo – UFFS

À minha mãe

Vilma

Aos meus irmãos

Josiane e Evandro

AGRADECIMENTOS

- À minha mãe e irmãos, pelo apoio;
- Ao Prof. Dr. José Francisco Grillo, pela orientação, empenho e auxílio durante a graduação;
- Aos docentes de Agronomia;
- À Universidade federal da Fronteira Sul, Campus de Laranjeiras do Sul, pela oportunidade de realizar o curso;
- Aos amigos Igor e Gabriel pela grande colaboração no presente trabalho;
- Aos técnicos da Universidade pelo auxílio nas atividades e nas análises realizadas.

O Cemitério Marinho

(...)

Ergue-se o vento! Há que tentar viver!

O sopro imenso abre e fecha meu livro,

A vaga em pó saltar ousa das rochas!

Voai páginas claras, deslumbradas!

Rompei vagas, rompei contentes o

Teto tranquilo, onde bicavam velas!

PAUL VALERY, 1984

RESUMO

O objetivo foi analisar a possibilidade da substituição do uso do calcário agrícola pelo resíduo lama de cal na prática da calagem do solo e na nutrição mineral do feijoeiro. O experimento foi realizado em ambiente controlado na Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS/Campus de Laranjeiras do Sul-PR, localizado na BR-158, Km 405, utilizando-se como substrato um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico. O experimento foi realizado por meio de dois ensaios comparativos (Ensaio 01 e Ensaio 02) entre aplicação de lama de cal e calcário de conchas. No Ensaio 01 o delineamento experimental foi um fatorial $2 \times 4 + 1$ sendo composto por 2 tipos de corretivos (calcário de conchas e lama de cal), 5 dosagens dos corretivos testados (0; 1,5; 3; 6 e 12 t ha^{-1}) e 1 testemunha, com 5 repetições, totalizando 50 unidades experimentais (sacos de polietileno). No Ensaio 02, o delineamento experimental adotado foi o delineamento inteiramente casualizado, composto por 4 tratamentos com 10 repetições, totalizando 40 unidades experimentais (vasos de polietilenos com capacidade de 8 dm^3). Em cada vaso foram semeadas 6 sementes viáveis de feijão cultivar BRS Pérola. Desta forma os tratamentos testados foram: T1: Testemunha, sem a aplicação de lama de cal ou calcário de conchas; T2: Aplicação de 6 t ha^{-1} de lama de cal; T3: Aplicação de 6 t ha^{-1} de calcário de conchas na dosagem; T4: Aplicação de 3 t ha^{-1} de lama de cal (50%) + 3 t ha^{-1} de calcário de conchas (50%). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey utilizando o software estatístico R versão 3.5.3, com índice de significância de 5%. A aplicação de lama de cal mostrou-se equiparativamente eficiente ao calcário de conchas na correção pH, redução do Al^{3+} , na redução da acidez potencial e no fornecimento de Ca^{2+} , sendo comparado a um calcário de PRNT elevado.

Palavras-chave: Corretivo do solo. Disponibilidade de nutrientes. *Phaseolus vulgaris* L., Resíduo celulósico.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the possibility of replacing the use of agricultural limestone with lime sludge in the practice of soil liming and mineral nutrition of common bean. The experiment was carried out in a controlled environment at the Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS / Campus de Laranjeiras do Sul-PR, located at BR-158, Km 405, using a RED Dystroferic LATOSOL. The experiment was carried out by means of two comparative tests (Test 01 and Test 02) between lime sludge and shell limestone. In Trial 01 the experimental design was a 2 x 4 + 1 factorial consisting of 2 types of correctives (shell limestone and lime mud), 5 dosages of the correctives tested (0, 1,5, 3, 6 and 12 t ha⁻¹) and 1 control, with 5 replicates, totaling 50 experimental units (polyethylene bags). In Trial 02, the experimental design was a completely randomized design, consisting of 4 treatments with 10 replicates, totaling 40 experimental units (polyethylene containers with 8 dm³ capacity). Six viable seeds of BRS Pérola bean were sown in each vase. In this way the treatments tested were: T1: Control, without the application of lime mud or shell limestone; T2: Application of 6 t ha⁻¹ of lime mud; T3: Application of 6 t ha⁻¹ of shell limestone in the dosage; T4: Application of 3 t ha⁻¹ of lime sludge (50%) + 3 t ha⁻¹ of limestone of shells (50%). The data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and the means were compared by the Tukey test using statistical software R version 3.5.3, with a significance index of 5%. The application of lime sludge proved to be equally efficient to the limestone of the shells in the pH correction, reduction of Al³⁺, reduction of potential acidity and Ca²⁺ supply, being compared to a high PRNT limestone.

Key words: Soil amendment. Nutrient Availability. *Phaseolus vulgaris* L. Cellulosic residue.

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Figura 1 — Esquema de produção da polpa celulítica.....	19
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 — Valores médios de em pH em H ₂ O do solo em função de diferentes doses tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.....	29
Gráfico 2 — Valores médios de em pH em CaCl ₂ do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.....	31
Gráfico 3 — Teores médios de Ca ²⁺ no solo em função da aplicação de doses crescentes de corretivos testados, após 60 dias de incubação.....	33
Gráfico 4 — Teores médios de H ⁺ +Al ³⁺ no solo em função da aplicação de doses crescentes de corretivos testados, após 60 dias de incubação.....	35
Gráfico 5 — Teores médios de Al ³⁺ no solo em função da aplicação de doses crescentes de corretivos testados, após 60 dias de incubação.....	37
Gráfico 6 — Teores médios de H ⁺ no solo em função da aplicação de doses crescentes de corretivos testados, após 60 dias de incubação.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	— Tabela 1 - Atributos químicos do solo analisado (profundidade de amostragem de 0-20 cm) da área experimental na UFFS (Laranjeiras do Sul, Paraná), anteriormente ao início do período experimental.....	23
Tabela 2	— Valores médios de em pH em H ₂ O do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.....	28
Tabela 3	— Valores médios de em pH em CaCl ₂ do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.....	30
Tabela 4	— Teores médios de Ca ²⁺ em função de diferentes doses e tipos de corretivos agrícolas testados, após 60 dias de incubação.....	32
Tabela 5	— Teores médios da acidez potencial (H ⁺ +Al ³⁺) do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.....	34
Tabela 6	— Teores médios de Al ³⁺ no solo em função da aplicação de doses crescentes dos corretivos testados, após 60 dias de incubação.....	36
Tabela 7	— Valores médios de H ⁺ do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.....	37
Tabela 8	— Valores médios de massa seca foliar (MSF), massa seca de raízes (MSR) e matéria seca total (MST) de plantas de feijão em função de diferentes tratamentos.	39
Tabela 9	— Valores médios de massa seca de grãos (MSG) e número de vagens (NV) de plantas de feijão em função de diferentes tratamentos.....	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1	FERTILIDADE DO SOLO PARA A CULTURA DO FEIJOEIRO.....	17
4.2	PRODUÇÃO DE RESÍDUOS.....	18
4.3	ACIDEZ DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A NUTRIÇÃO MINERAL DO FEIJOEIRO....	21
5	METODOLOGIA.....	23
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
6.1	ENSAIO 1.....	27
6.2	ENSAIO 2.....	39
7	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros, normalmente ácidos, possuem alto teor de alumínio apresentando-se em níveis tóxicos para as plantas (SILVA, 2002). Nestes solos comumente encontram-se problemas de deficiência e/ou toxicidade de alguns elementos, pouca retenção de água e baixa atividade de microrganismos, sendo a acidez um dos fatores mais limitantes da produtividade de muitas culturas (FAGERIA, 2001).

A prática de calagem é considerada uma ação de baixo custo e de melhores resultados na correção da acidez do solo. Seu baixo custo deve-se a ampla distribuição das reservas de calcário em território nacional (FAGERIA, 2001). A calagem tem efeito no solo na formação de agregados, na modificação do pH (e este sobre a disponibilidade de nutrientes), na neutralização de Al^{3+} (Alumínio) tóxico e no fornecimento de nutrientes, principalmente de Ca^{2+} (Cálcio) e Mg^{2+} (Magnésio) para as culturas (ALBUQUERQUE et al., 2003).

Culturas como o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) possuem baixa produtividade como consequência de seu cultivo ser realizado em áreas com baixa fertilidade natural do solo, somado à baixos investimentos em insumos agrícolas como o uso de corretivos e fertilizantes (SILVA, 2002).

O feijão-comum é uma das principais culturas a nível mundial e brasileiro. Seu destaque vai além do aspecto econômico, sendo uma das mais importantes fontes proteicas na dieta humana, além de sua importância cultural. No Brasil constitui-se em uma das culturas de maior importância na dieta, tendo um consumo médio de $15,15 \text{ kg habitante}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2016 (WANDER, 2017). Esta cultura é uma importante fonte de nutrientes essenciais ao ser humano, como proteínas, ferro, cálcio, magnésio, zinco e vitaminas (MESQUITA et al., 2007).

O feijão possui grande sensibilidade à acidez do solo, com boas respostas à calagem. A recomendação de calagem leva em consideração a elevação da saturação por bases (V%) à 70% e um teor mínimo de Mg de $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (BARBOSA ; GONZAGA, 2012).

A elevação no teor de Ca^{2+} na solução nutritiva do solo tem como efeito linear, até certo ponto, no aumento do teor de Ca^{2+} , PO_4^{3-} (fosfato) e K^+ (Potássio) na parte aérea da planta e na raiz, demonstrando desta forma a influência do Ca^{2+} em manter a capacidade de

absorção por meio da manutenção da integridade da membrana e prevenir a perda de solutos (SOUZA JUNIOR; MARTINEZ; NASCIMENTO, 1998).

Durante o processo de fabricação de celulose, que resulta também em resíduos como a lama de cal, a madeira sofre o ataque do licor branco ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$), desse processo resulta na polpa celulósica e o licor negro. O licor negro sofre o processo de queima para evaporação da água, nele adicionado o licor branco franco (originado da lavagem da lama de cal), do qual se produz o licor verde [$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{Fe}(\text{OH})_2$]. Por último é adicionado ao licor verde o óxido de cálcio (CaO) do qual extrai-se NaOH e se produz o resíduo de lama de cal (LOURENÇO, 1997; GUERRA, 2007; SIMONETE et al., 2013).

A lama de cal é constituída principalmente de carbonato de cálcio (CaCO_3), apresentado potencial para correção dos solos e uso dos resíduos em sistemas agrícolas. Desta forma, pode-se considerar uma boa alternativa para sua destinação (BARRETO, 2008; LOURENÇO, 1997).

Segundo Lourenço (1997), um fator limitante na utilização da lama de cal refere-se ao seu transporte e armazenamento, levando-se em consideração seu estado físico ser normalmente na forma de lama ou pasta.

De acordo com Bellote et al. (1998), para cada 100 t de celulose produzida se produz aproximadamente 48t de resíduos. Os mesmos autores consideram que a deposição destes resíduos em aterros sanitários seja uma possibilidade impraticável em função de altos custos de implantação e manutenção. Acreditam também, que aplicação no solo é a melhor forma para depuração desses resíduos, porém carece de estudos que quantifiquem as dosagens economicamente viáveis e seus possíveis efeitos sobre o perfil do solo.

Dos resíduos produzidos durante a produção de celulose, o resíduo lama de cal é o que tem a maior proporção, sendo esta de 240 kg ton^{-1} de celulose produzida, porém esse número é reduzido em 90% em fábricas mais modernas, sendo esse material calcinado em fornos horizontais rotativos para produção de cal (CaO) (RIBEIRO, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo foi analisar a possibilidade da substituição do uso do calcário agrícola pelo resíduo lama de cal na prática da calagem do solo e na nutrição mineral do feijoeiro.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Avaliar a influencia da aplicação de lama de cal no cálcio (Ca^{2+}), na acidez potencial ($\text{H}^{++}\text{Al}^{3+}$), no alumínio (Al^{3+}), no íon hidrogênio (H^{+}), no pH em H_2O e no pH em CaCl_2 ;
- Verificar o efeito da aplicação de lama de cal na massa seca radicular (MSR), na massa seca foliar (MSF) e na massa seca total (MST);
- Testar a interferência da lama de cal na produção de massa seca de grãos por planta (MGP), números de vagens (NV), número de grãos por vagem (NGV).

3 JUSTIFICATIVA

Embora a cultura do feijão seja de grande importante nacional, a mesma é vista de forma menos importância quando comparada com culturas como a da soja, por exemplo. O seu cultivo é realizado, na grande maioria das vezes, em pequenas propriedades rurais familiares onde destinam para tal áreas com as piores condições de fertilidade, com condições químicas limitantes como baixa disponibilidade de nutrientes e presença de alumínio.

Em contra partida, regiões onde a produção de papel e celulose se faz presente, há grande volume de resíduos gerados. Dentre esses resíduos há a lama de cal, a qual possui características químicas similares a do calcário calcítico. No entanto, a falta de estudo de sua utilização em culturas anuais podem vir a ser um problema quanto a dosagem a ser utilizada.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 FERTILIDADE DO SOLO PARA A CULTURA DO FEIJOEIRO

A maior parte dos solos brasileiros possuem altos teores de alumínio tóxicos para as plantas o que, em muitos casos, causa a inibição no desenvolvimento radicular, influenciando negativamente na absorção e utilização de nutrientes. Ainda que o crescimento radicular seja controlado geneticamente, é de fundamental importância a correção da acidez e consequente neutralização do alumínio (SILVA; NOVAIS; SEDIYAMA, 1984 e SILVA, 2002).

O feijoeiro é uma planta que necessita de boas condições climáticas e de solo, para atingir desenvolvimento e uma produção satisfatória de grãos. Com relação à fertilidade, requer uma boa disponibilidade de nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes. Não tolera solos ácidos e com altos teores de alumínio trocável. Possui melhor desenvolvimento em solos com pH mais próximo da neutralidade (COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2000).

Conforme Silva et al. (2004), pesquisando o crescimento e produção de matéria seca das raízes de diferentes variedades de feijão em função da aplicação de calcário, constataram um aumento significativo nas raízes quando a saturação por bases (V%) foi superior à 43% em todas as variedades pesquisadas.

Souza Júnior, Martinez e Nascimento (1998), estudando o efeito do fornecimento de Ca e Mg em solução nutritiva contendo $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Al^{3+} , em dez tratamentos em um esquema fatorial incompleto com quatro níveis de Mg (0,16; 0,46; 0,70 e $1,24 \text{ mmol L}^{-1}$) e cinco de Ca (0,32; 0,92; 1,88 e $2,48 \text{ mmol L}^{-1}$), observam que com o aumento do teor de Ca e Mg em solução há um maior acúmulo na planta e, consequente, um aumento na produção de matéria seca da parte aérea.

4.2 PRODUÇÃO DE RESÍDUOS

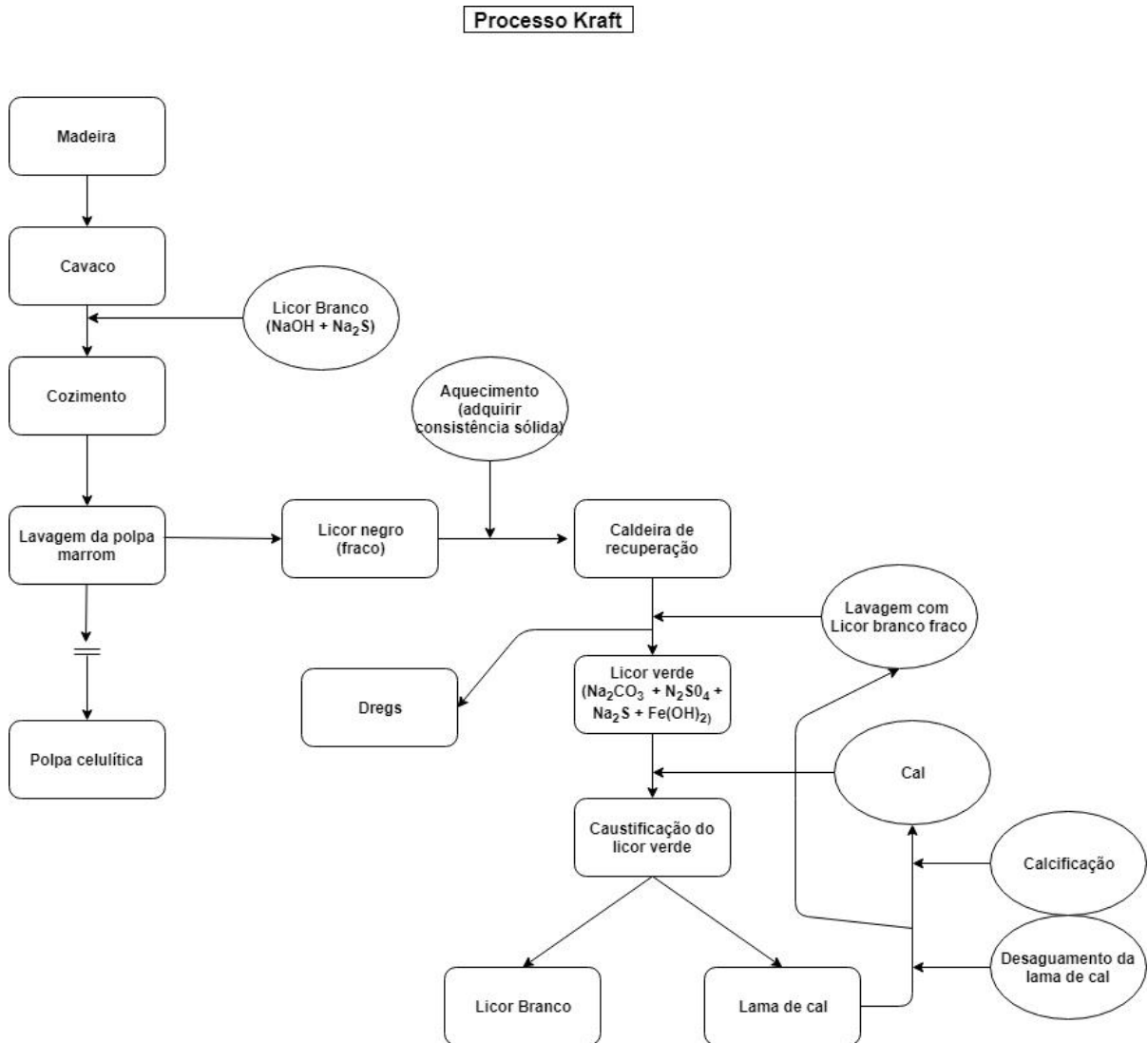
Ao longo de processos industriais são gerados grandes volumes de resíduos, alguns com forte impacto ambiental. Existem três formas de tratar estes resíduos, seja por incineração, redução da toxicidade e deposição no solo. Com relação a este último, dependendo da composição química do mesmo pode vir a ser uma alternativa de baixo custo e de importância ambiental (ALMEIDA et al., 2007).

Nos trabalhos de Bognola et al. (1997), a lama de cal é apresentada como um possível substituto ao calcário na neutralização do pH e no fornecimento de Ca. O Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) da lama de cal utilizada era de 96,56%, apresentando também um teor elevado de Ca (38,51 %) e um baixo teor de Mg (0,02%). Estas características, segundo os autores, se aproximam das características de um calcário calcítico de elevado PRNT.

Lourenço (1997) verificou em um ensaio onde foram utilizados lama de cal e calcário dolomítico, que não houve diferença significativa entre as variáveis analisadas da parte química do solo, com exceção do Na presente na lama de cal. Constatou ainda, que devido ao PRNT elevado (95,6%) da lama de cal, a quantidade de 104,6 kg do mesmo resíduo equivaleu a 100 kg de calcário com PRNT= 100%.

Cohn e Ribeiro (2002) e Platte (2002) descreveram o processo de obtenção da lama de cal como sendo um produto da utilização de licor branco ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$) sobre a madeira. Desse processo se extrai a polpa celulítica e o licor negro. O licor negro passa por um processo de evaporação até adquirir consistência sólida. Logo, este é queimado na caldeira de recuperação, tornando-se fundido e então é dissolvido com licor branco fraco (produto da lavagem da lama de cal), formando então o chamado licor verde [$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{Fe}(\text{OH})_2$]. Segundo os autores, se adiciona óxido de cálcio (CaO) e é extraída a lama de cal sendo este um resíduo de coloração branca, com predominância de carbonato de cálcio (CaCO_3).

Figura 1 — Esquema de produção da polpa celulítica.



Fonte: Adaptado de Correia (2010)

Simonete et al. (2013) estudando o efeito de lama de cal no cultivo de *Eucalyptos saligna* e fornecimento de Ca, bem como sua relação com a disponibilidade de micronutrientes e Na, em NEOSSOLO QUARTIZARÊNCO Órtico (NQ) e NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico (NV), constataram um aumento da produtividade no solo NQ, porém não significativa para o solo NV, já que este último apresentava teores elevados de Ca. Observaram ainda que, para ambos os solos, não houve alteração dos níveis de N, P, K e S. Mencionaram também que os teores de Na não ultrapassaram o nível crítico, o que poderia

ser um fator limitante para sua utilização. Verificaram uma elevação do pH que não diferiu estatisticamente da aplicação de calcário.

Lima et al. (2015) observam em seu estudo em área de *Eucalyptus urograndis* em NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO com a aplicação de calcário dolomítico e lama de cal + oxyfertil (3:2 de Ca:Mg) um efeito diferente na neutralização da acidez pela aplicação destes dois produtos. Como esperado, o primeiro elevou o pH e neutralizou o Al^{3+} na profundidade 0 a 20 cm em comparação com a testemunha, enquanto que o segundo (mistura lama de cal + oxyfertil) não diferiu da testemunha. Os autores atribuíram esse efeito à baixa concentração de Ca da lama de cal (24%) + oxyfertil (60%). Estes resultados não corroboraram com os obtidos por Simonete et al. (2013), citados anteriormente.

Platte (2002) estudando a adição de lama de cal em área de *Pinus taeda* sobre a atividade microbiana e a degradação da serrapilheira, observou um aumento na atividade microbiana e uma maior liberação de CO_2 e mineralização da serrapilheira, os quais foram atribuídos a redução da acidez do solo. Estes efeitos também foram observados por Paim (2007) em estudo de um fatorial com a mesma espécie de pinus, onde foram aplicadas diferentes doses de lama de cal e K. A lama de cal provocou um aumento de até 15% na produção de matéria seca (MS) da parte aérea. Em contra partida, o K não alterou a produção de MS da parte aérea do pinus.

A aplicação de resíduos no solo pode ser limitada em alguns casos pela presença de metais pesados, já que a contaminação pode inibir crescimento vegetativo e no caso de leguminosas reduzir a nodulação das mesmas (TRANNIN; MOREIRA; SIQUEIRA, 2001).

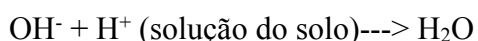
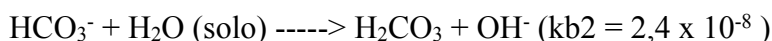
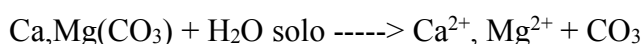
A Instrução Normativa Nº 27 de 05 de junho de 2006 dispõem entre outras informações sobre dos limites máximos tolerados de metais pesados para corretivos do solo para que estes possam ser comercializados, constando as informações para apenas dos limites para Cd (cádmio) e Pb (chumbo), com 20 e 1000 $mg\ kg^{-1}$ respectivamente. Enquanto que a NBR 10004 que trata dos limites de metais pesados em resíduos sólidos, onde estabelece que os limites não devam ultrapassar 1000 $mg\ kg^{-1}$ para arsênio (As), 100 $mg\ kg^{-1}$ para mercúrio (Hg) e 1000 $mg\ kg^{-1}$ para cádmio(Cd). As análises da lama de cal realizada por Correia et al., (2008) mostram traços de Cd, 60 $mg\ kg^{-1}$ de Pb, 1,4 $mg\ kg^{-1}$ de As, traços de Hg, 13 $mg\ kg^{-1}$ de cromo (Cr) e 96 $mg\ kg^{-1}$ de níquel (Ni), não indicando em primeiro momento em uma restrição para seu uso.

Na revisão de literatura contrastes são encontrados em relação a variação do PRNT e dos teores de Ca e Mg na lama de cal. Como exemplo da variação do PRNT, Platt (2002) apresenta uma lama de cal com PRNT de 79,04 %, Paim (2007) de 80%, Simonete et al., (2013) de 84%, Lourenço (1997) de 95,6% e Bognola et al. (1997) de 96, 56%. Este fato reforça a necessidade da realização de mais estudos antes da recomendação da lama de cal como corretivo de solo na prática da calagem.

4.3 ACIDEZ DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A NUTRIÇÃO MINERAL DO FEIJOEIRO

O pH do solo refere-se a acidez ativa que corresponde à atividade dos íons hidrogênio em solução, sendo determinada por meio de pHmetro (LOPES, 1998). A variação do pH do solo pode ser causada entre outros motivos pela extrusão e absorção de H^+ ou de HCO_3^- , respiração da raiz, liberação de exsudatos de baixa massa molecular (TAIZ; ZEIGER, 2006), podendo ser influenciada negativamente pela aplicação de fertilizantes, tais como fontes amoniacal ($N-NH_4^+$) ou nítrica ($N-NO_3^-$) ou ainda em condições de deficiência de ferro provocar acidificação do solo (MARSCHNER, 2011). Até mesmo a decomposição da matéria orgânica acumulada em um sistema de plantio direto pode vir a diminuir o pH, embora a matéria orgânica promova as maiores concentrações de íons na fase sólida e o carbono orgânico minimizam os efeitos do acidez e melhoram o rendimento (CIOTTA, 2002).

As reações de neutralização da acidez são descritas por ALCARDE (1992), como:



Em síntese a neutralização da acidez tem por objetivo em neutralizar os H^+ , pela adição de corretivos que liberam na solução o ânion OH^- .

Outra forma de acidez do solo é chamada de acidez potencial. Esta é formada por substâncias no solo que funcionam como ácidos fracos e substâncias que liberam H^+ na solução do solo causando a sua acidificação, ou mesmo funcionando como um tampão limitando as variações de pH e diminuindo os efeitos da calagem. A acidez potencial é composta pela *i*) acidez trocável (íons H^+ e Al^{3+} que estão retidos na superfície dos colóides por forças eletrostáticas) e *ii*) pela acidez não trocável que é representada pelo hidrogênio de ligação covalente (TEIXEIRA et al., 2017).

A aumento do pH tem efeito direto no aumento da disponibilidade de nutrientes tais P, Ca, Mg e K, além da neutralização do Al^{3+} . O alumínio, segundo os estudos de Abreu Jr, Muraoka e Lavorante (2003), aumenta até pH 4,5, diminui a seguir até pH 5,5 e aumentou gradativamente com o pH de 7,0 a 7,5.

Embora haja plantas tolerantes, o efeito do Al^{3+} tóxico na maioria das plantas são descritos como uma inibição imediata e severa do crescimento radicular, causando maior rigidez da membrana plasmática e levando a um maior vazamento de íons (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Na cultura do feijoeiro a presença de Al^{3+} tóxico no solo proporciona redução do acúmulo de matéria seca da raiz, da parte aérea e, conseqüentemente, redução da produtividade da cultura (SOUZA JÚNIOR; NASCIMENTO; MARTINEZ, 1998). Quando a calagem é realizada de forma correta, obtém-se o aumento do sistema radicular e da parte aérea das cultivares de feijoeiro (SILVA et al., 2004).

O pH do solo normalmente recomendado fica entre 5,5 a 6,5, onde os nutrientes encontram-se em disponibilidade máxima (N, P, K, Ca, Mg, S e B) ou adequada (Cu, Fe, Mn, Mo e Zn). Por outro lado, o teor de Al em concentração tóxica é reduzido ao mínimo (ABREU Jr; MURAOKA; LAVORANTE, 2003). Como já citado, o V% recomendado para cultivo do feijoeiro é de 70%, o que segundo estudos de Heinrichs et al.,(2008), esse V% apresentou maiores valores de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e V% e menores valores de Al^{3+} , H^+ + Al^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} e Zn^{2+} em relação ao V% de 50%.

5 METODOLOGIA

O experimento foi realizado em ambiente controlado na Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS/Campus de Laranjeiras do Sul-PR, localizado na BR-158, Km 405, utilizando-se como substrato um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (EMBRAPA SOLOS, 2013), coletado a uma profundidade de 0-20cm na área pertencente ao Campus da Universidade Federal da Fronteira Sul, onde se cultiva *Pinus* sp. de aproximadamente X anos. O solo coletado foi secado em estufa de ventilação forçada a 40 °C, tamisado em peneira de 2 mm (EMBRAPA, 2017).

Os atributos químicos iniciais do solo utilizado estão dispostos na Tabela 1, a análise foi realizada pelo laboratório de solos do Centro Universitário Integrado Campus Campo Mourão.

Tabela 1 — Tabela 1 - Atributos químicos do solo analisado (profundidade de amostragem de 0-20 cm) da área experimental na UFFS (Laranjeiras do Sul, Paraná), anteriormente ao início do período experimental.

pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	M.O. (Mehlich-1)	P (Mehlich-1)	V	CTC	H ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	-----cmol _c dm ⁻³ -----					
4,92	4,10	53,2	1,66	1,23	12,97	10,69	2,12	0,07	0,05	0,04
Fe		Mn	Cu	B		Zn	S-SO ₄ ²⁻			
-----mg dm ⁻³ -----										
64,99		14,91	6,71	0,48		0,66	11,07			

Fonte: Elaborado pelo autor

O experimento foi realizado por meio de dois ensaios comparativos (Ensaio 01 e Ensaio 02) entre aplicação de lama de cal e calcário de conchas. O primeiro foi realizado no Laboratório de Física do Solo e o segundo na casa de vegetação da UFFS.

A) Ensaio 01

No Ensaio 01 o delineamento experimental constituiu de um fatorial $2 \times 4 + 1$ o qual foi composto por 2 tipos de corretivos (calcário de conchas - CC e lama de cal- LC), 5 dosagens dos corretivos testados (0; 1,5; 3,0; 6,0 e 12,0 t ha⁻¹) e 1 testemunha, com 5 repetições, totalizando 45 unidades experimentais (sacos de polietileno). Cada unidade experimental (saco plástico) recebeu 1 kg de solo, o qual foi umedecido a 80% da capacidade de campo (BOGNOLA et al., 1997), fechados e incubado em estufa de ventilação forçada a 40 °C por 15 dias com seus diferentes tipos e doses de corretivos.

O calcário de conchas (CC) que foi utilizado no experimento, possuía as seguintes características: teor de CaO = 48 %, teor de MgO = 16%, Poder Neutralização (PN) = 125,6%, Reatividade (RE) = 98,8% e o PRNT de 124%.

A RE da lama de cal (LC) foi determinada no laboratório de Física do Solo da UFFS por meio do teste granulométrico. Para tanto, utilizou-se 100 g de lama de cal, o qual foi transferido para o conjunto de peneiras n° 10 (2mm), n° 20 (0,84mm), n° 50 (0,30mm) e fundo, organizadas da maior para menor abertura. Seguidamente foram colocadas no agitador por 5 minutos e posteriormente pesadas. Sendo assim, a RE foi obtido pela expressão $RE = \% F_{10-20} \times 0,2 + \% F_{20-50} \times 0,6 + \% F_{<50}$, em que: *i*) % F₁₀₋₂₀ é a fração que passa a peneira 10, mas fica retida na peneira 20; *ii*) % F₂₀₋₅₀ é a fração que passa a peneira 20, mas fica retida na peneira 50 e *iii*) %F_{<50} é a fração que passa a peneira 50 (PAVAN; MIYAZAWA, 1997).

O Poder de Neutralização (PN) foi calculado por meio de titulação, onde se utilizou 1,0 g da amostra de lama de cal seca em estufa a 110°C. Posteriormente essa amostra foi transferida para um erlenmeyer de 250 ml adicionando-se 50 ml de HCl a 0,5 N, sendo essa análise realizada em triplicata e mais uma prova em branco. A amostra então foi fervida levemente por 5 minutos, e após esfriar foram adicionadas 3 gotas de fenolftaleína e para então ser titulada com NaOH a 0,25 N até o aparecimento da cor rósea do indicador. O

cálculo foi realizado pela fórmula $PN = (Vb-Va)*1,25$, onde Vb é o volume de NaOH gasto para titulação da prova em branco e Va = é o volume de NaOH gasto para titulação da amostra (PAVAN; MIYAZAWA, 1997).

O Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) foi obtido pela equação $PRNT = PN * (RE\%/100)$, sendo o PRNT encontrado de 110, 94%.

Após o período de incubação, os solos dos sacos foram secos em estufa de ventilação forçada a 40 °C por 72 horas, sendo posteriormente moídos em moinho de martelo e tamisados em peneiras com malha de 2mm (n. 10 ABNT). Após o preparo das amostras de solo do Ensaio 1 as mesmas foram submetidas a análise química no laboratório de química do solo da UFFS/Laranjeiras do Sul, onde foram determinadas as seguintes variáveis: cálcio (Ca^{2+}), acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio (Al^{3+}), o íon hidrogênio (H^+), o pH em H_2O e o pH em $CaCl_2$ (EMBRAPA, 2017).

B) Ensaio 02

No Ensaio 02, antes da implementação do cultivo o solo foi umedecido a 80% da capacidade de campo (BOGNOLA et al., 1997), fechados e incubado em pleno sol por 60 dias com seus diferentes tipos e doses de corretivos.

O delineamento experimental adotado foi o delineamento inteiramente casualizado, composto por 4 tratamentos com 10 repetições, totalizando 40 unidades experimentais (vasos de polietileno com capacidade de 8 dm^3) cultivados em casa de vegetação. Para fins de evitar possíveis variações dentro da casa de vegetação, adotou-se a rotação dos vasos a cada 7 dias. E cada vaso foram semeadas 6 sementes viáveis de feijão cultivar BRS Pérola. Aos 9 dias após a semeadura (DAS) foram deixadas apenas 2 plantas uniformes vaso⁻¹.

A aplicação de lama de cal e calcário de conchas foi calculada para elevar o V% a 70.

O cálculo da quantidade de corretivo necessário para elevar o V% a 70 foi com base nos resultados do pH em H_2O , a fórmula utilizada para calcular foi $pH = 4,5 + 0,025 * V\%$, sendo esta proposta por Raij (1981).

Desta forma os tratamentos testados foram:

T1: Testemunha, sem a aplicação de lama de cal ou calcário de conchas;

T2: Aplicação de 6 t ha⁻¹ de lama de cal;

T3: Aplicação de 6 t ha⁻¹ de calcário de conchas;

T4: Aplicação de 3 t ha⁻¹ de lama de cal (50%) + 3 t ha⁻¹ de calcário de conchas (50%).

A adubação de base (semeadura) foi realizada através da aplicação de 480 kg ha⁻¹ do formulado 4-20-14 (N-P₂O₅-K₂O). A adubação de cobertura foi realizada entre 15 a 25 dias após a emergência utilizando 130 kg ha⁻¹ de (NH₂)₂CO (uréia com 45 % de N) (IAPAR, 2003).

Durante o período experimental, a casa de vegetação foi mantida em uma condição de temperatura de 25° C em média, onde, se a temperatura atingisse 28 °C, os ventiladores seriam ativados. Por outro lado, se a temperatura fosse menor que 24 °C, o aquecimento seria acionado.

Com relação a irrigação, a mesma foi ligada por 4 minutos as 8:00, 13:00 e 18:00 horas, complementadas quando necessário.

Aos 45 dias após a emergência (DAE), foram coletados 2 plantas de feijão vaso⁻¹ totalizando 40 plantas (20 vasos) dos tratamentos testados, as quais representaram a média de cada tratamento, sendo consideradas as seguintes variáveis: massa seca radicular (MSR), massa seca foliar (MSF), massa seca total (MST).

As plantas dos outros 20 vasos foram conduzidas até 85 dias após a semeadura (DAS) por ocasião do final do ciclo da cultura do feijoeiro, sendo realizada a colheita dos grãos das 40 plantas de feijão (2 plantas vaso⁻¹), para a determinação da massa seca de grãos por planta (MGP), números de vagens (NV), número de grãos por vagem (NGV). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias agrupadas pelo teste de Tukey utilizando o software estatístico R versão 3.5.3, com índice de significância de 5% (R Core Team, 2019).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ENSAIO 1

Nos dados contidos na Tabela 2 e Gráfico 1, pode-se observar que os valores médios de pH em H₂O diferenciam entre si quando levamos em consideração o fator doses, independente do tipo de corretivo utilizado, sendo que o pH em H₂O dos solos apresentaram resposta positiva ao aumento das dosagens utilizando calcário de conchas ou de lama de cal, indiferentemente.

Com relação ao fator corretivo, não houve diferença significativa entre os diferentes corretivos para os tratamentos utilizado 1,5 e 6,0 t ha⁻¹. Por outro lado foi observado que o tratamento que recebeu 3,0 t ha⁻¹ de corretivo obtiveram uma média de pH em H₂O significativamente maior quando se utilizou Calcário de Conchas (CC). Já com a utilização de 12,0 t ha⁻¹, verificou-se que a utilização de lama de cal (LC) elevou o pH em H₂O a um valor significativamente maior. No primeiro caso, se deve ao PRNT mais elevado do CC, já no segundo caso observou efeito similares ao estudo realizado por Lourenço (1997), onde comparando LC e CaCO₃ p.a., onde mesmo com PRNT de 95,6% e 100% respectivamente, em doses mais elevadas a lama de cal foi mais eficiente na correção do pH.

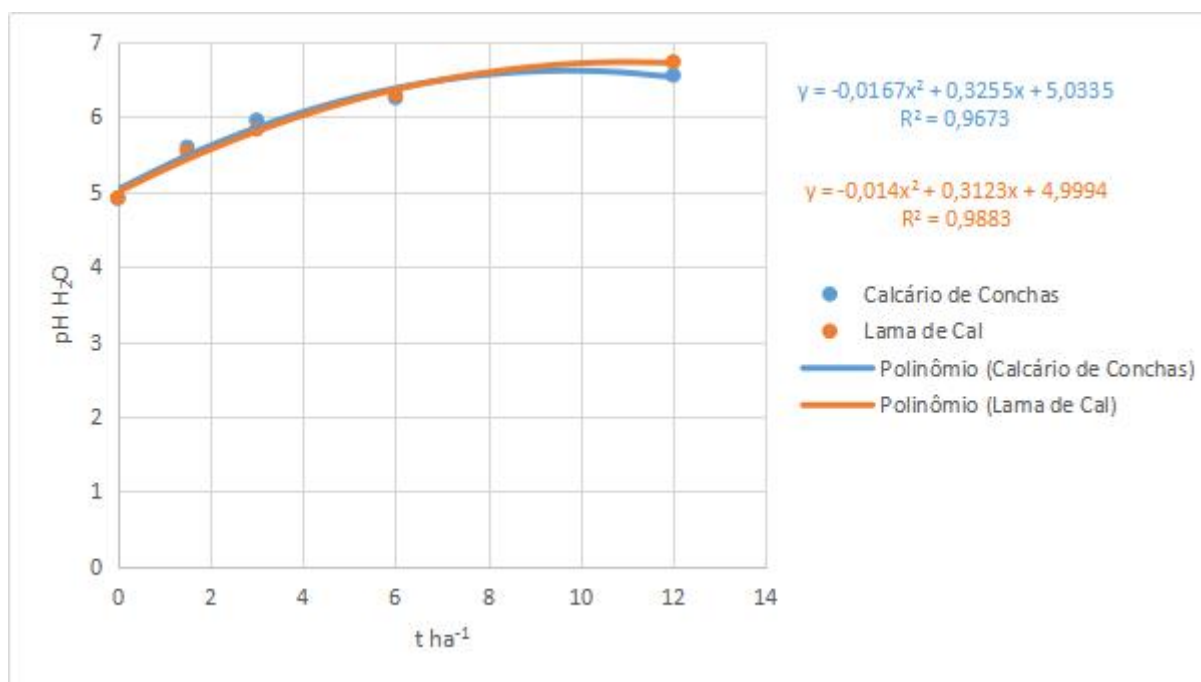
Tabela 2 — Valores médios de em pH em H₂O do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.

Doses (t ha ⁻¹)	Tipos de Corretivos	
	Calcário de Conchas	Lama de Cal
	pH H ₂ O	
0	4,92 eA	4,92 eA
1,5	5,60 dA	5,54 dA
3,0	5,96 cA	5,84 cB
6,0	6,26 bA	6,30 bA
12,0	6,56 aB	6,74 aA
C.V. = 1,45 %		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical (fator doses de corretivos) e maiúsculas na horizontal (fator tipos de corretivos), não diferem estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 1 – Valores médios de em pH em H₂O do solo em função de diferentes doses tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 3 e Gráfico 2 tratam dos resultados estatístico do pH utilizando como extrator o CaCl₂. Para o fator doses foi observado que os tratamentos apresentaram médias estatisticamente diferentes entre si, mostrando uma resposta positiva às doses crescentes de corretivos aplicadas, ou seja, os valores de pH em CaCl₂ foram diretamente proporcionais ao aumento de doses de corretivos aplicadas.

Quando se considera o fator tipos de corretivos, as médias dos tratamentos onde foram utilizadas doses de 1,5, 3,0, e 12,0 t ha⁻¹ de CC e LC não apresentaram diferenças significativas entre si. Somente quando foi utilizada dose de 6,0 t ha⁻¹, o pH em CaCl₂ apresentou diferença significativa para o fator tipos de corretivos da acidez onde a LC foi superior ao CC na correção da acidez ativa e elevação do pH do solo.

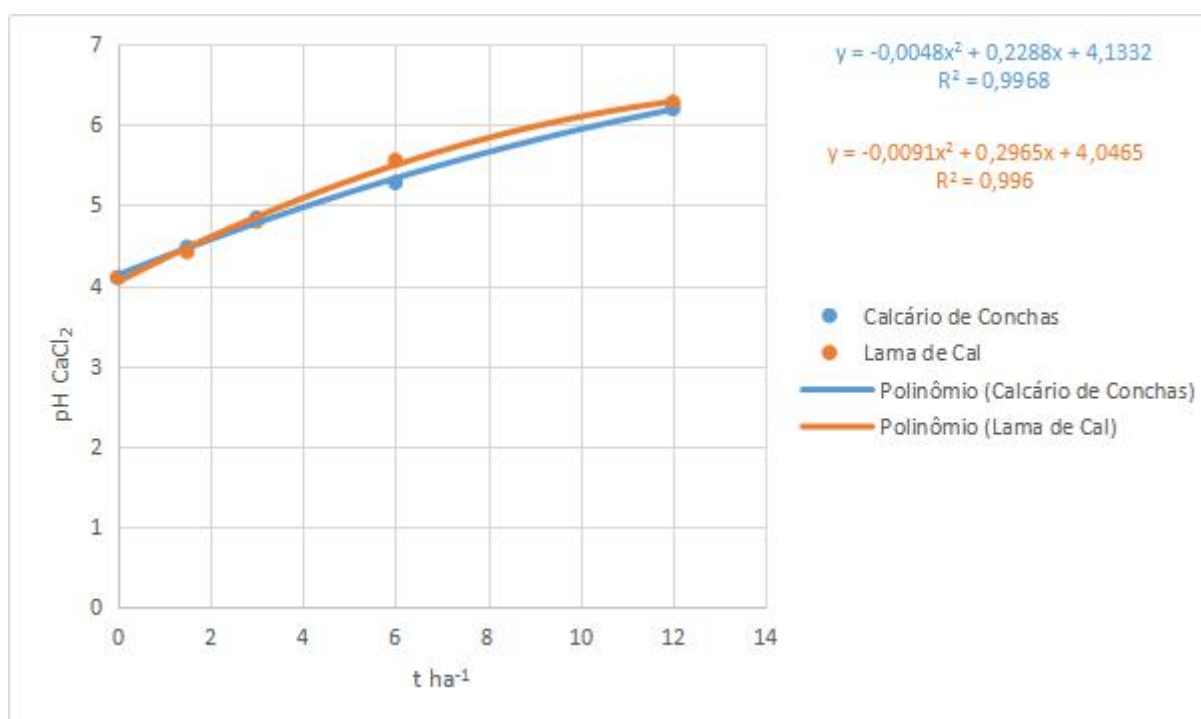
Tabela 3 — Valores médios de em pH em CaCl₂ do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.

Doses (t ha ⁻¹)	Tipos de Corretivos	
	Calcário de Conchas	Lama de Cal
	pH CaCl ₂	
0	4,10 eA	4,10 eA
1,5	4,48 dA	4,42 dA
3,0	4,84 cA	4,80 cA
6,0	5,28 bB	5,56 bA
12,0	6,20 aA	6,28 eA
C.V. = 1,57 %		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical (fator doses de corretivos) e maiúsculas na horizontal (fator tipos de corretivos), não diferem estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 2 — Valores médios de em pH em CaCl₂ do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 4 e gráfico 3 encontram-se dispostos os teores médios de Ca²⁺ após a aplicação dos corretivos, sendo observadas diferenças significativas entre as doses aplicadas. Houve um incremento no nível de Ca²⁺ em função do aumento das doses dos corretivos testados (CC e LC).

Os estudos de Maeda e Bognola (2013), indicaram que lama de cal utilizada em seu experimento, elevou a diferença de cálcio trocável entre os valores inicial (antes do experimento) e após a aplicação de corretivos a um valor aproximadamente 1,5 vezes maior que o presente estudo em uma dosagem aproximada de 3,44 t ha⁻¹. Isso se deve a fato que a lama de cal utilizada em seu experimento possuía altos teores de Ca²⁺ e valores baixos de Mg²⁺ (49% de CaO, 0,50% de MgO e um PRNT de 94%), isso por sua vez causou uma elevação na relação Ca/Mg em NEOSSOLO QUARTZARÊNCO órtico, muito além da

recomendação para qualquer cultura, onde essa relação chegou a acima de 20/1 quando o V% utilizado como referência para aplicação de corretivo foi de 60%, isso mostrou que apesar de existir uma denominação genérica para esse resíduo, a lama de cal deva ser analisado lote a lote.

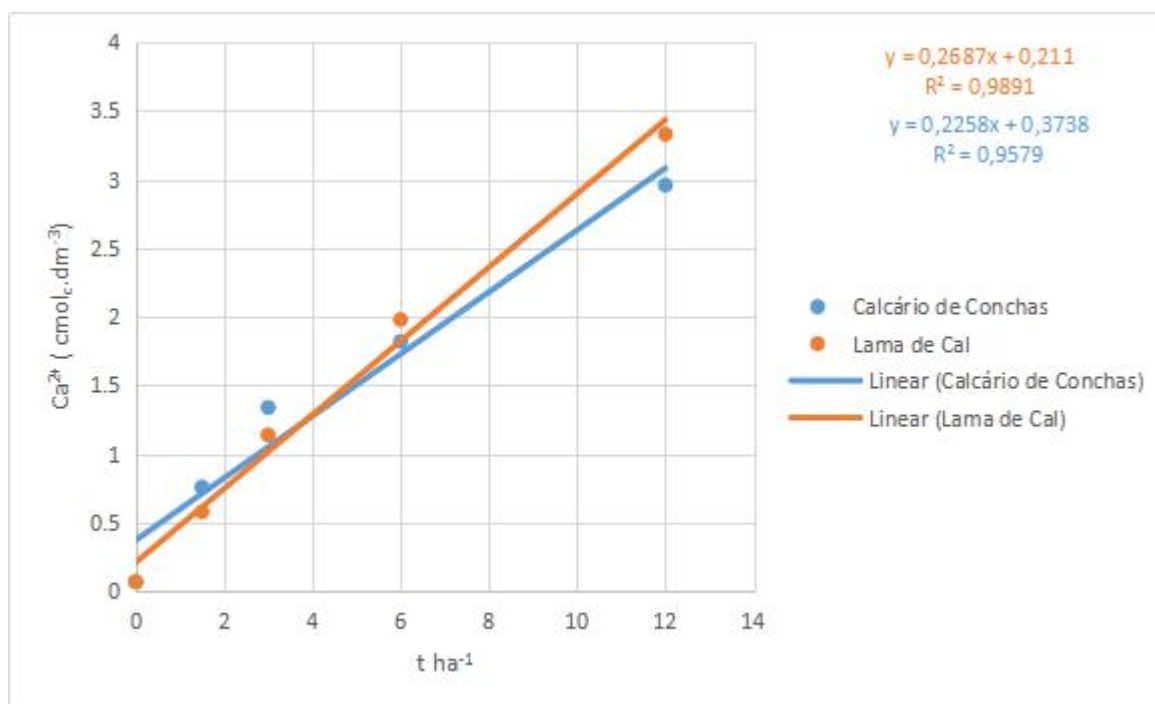
Tabela 4 — Teores médios de Ca^{2+} em função de diferentes doses e tipos de corretivos agrícolas testados, após 60 dias de incubação.

Doses (t ha ⁻¹)	Tipos de Corretivos	
	Calcário de Conchas	Lama de Cal
	Ca^{2+} (cmol _c .dm ⁻³)	
0	0,07 eA	0,07 eA
1,5	0,76 dA	0,58 dA
3,0	1,34 cA	1,14 cA
6,0	1,82 bA	1,98 bA
12,0	2,96 aB	3,33 aA
C.V. = 10,15		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical (fator doses de corretivos) e maiúsculas na horizontal (fator tipos de corretivos), não diferem estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 3 — Teores médios de Ca^{2+} no solo em função da aplicação de doses crescentes de corretivos testados, após 60 dias de incubação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Levando-se em consideração o fator tipos de corretivos utilizados (Tabela 4), os teores Ca^{2+} não foram significativos nos tratamentos com doses de 1,5, 3,0 e 6,0 t ha⁻¹, exceto para a dose de 12,0 t ha⁻¹ onde o teor do solo corretivo com LC foi significativamente superior ao corrigido com CC. Embora o PRNT da LC seja inferior a do CC, segundo os estudos de Lourenço (1997) onde se encontrou valores 53,1 % de Cálcio na LC, as doses elevadas deste corretivo fornece mais Ca^{2+} compensando seu PRNT mais baixo e possíveis interações do cálcio com demais elemento no solo.

O solo utilizado no experimento foi proveniente de uma área de *Pinus* sp., apresentando valores elevados de matéria orgânica (5,32%) e, conseqüentemente, uma acidez potencial elevada onde predominava H^+ . Condições semelhantes foram encontradas nos estudos de Alves et al., (2013), onde o solo de uma plantação de *Pinus taeda* L. apresentou i) no horizonte O: 11,7 cmol_c.dm⁻³ de H^+ , 2,3 cmol_c.dm⁻³ de Al^{3+} e 23,8 % MO; ii) no horizonte A1: 6,1 cmol_c.dm⁻³ de H^+ , 1,8 cmol_c.dm⁻³ de Al^{3+} e 4,725% de MO e iii) no horizonte A2: 3,2 cmol_c.dm⁻³ de H^+ e 1,2 cmol_c.dm⁻³ de Al^{3+} e 3,2% de MO, com profundidade de 0,04 m , 0-0,09 m e 0,09-0,24 m, respectivamente.

Os valores médios da acidez potencial ($H^{++}+Al^{3+}$) na Tabela 5 e Gráfico 4 apresentaram diferenças significativas entre todos os tratamentos quando se levou em consideração o fator doses de corretivos, a acidez potencial do solo foi inversamente proporcional ao aumento das doses testadas. Para o fator tipos de corretivos, os tratamentos que utilizaram 1,5 e 6,0 t ha⁻¹ não apresentaram diferenças significativas entre si. No entanto, para os tratamentos com doses de corretivos de 3,0 e 12,0 t ha⁻¹ a aplicação do CC foi mais efetiva que a LC na redução da acidez potencial.

Tabela 5 — Teores médios da acidez potencial ($H^{++}+Al^{3+}$) do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.

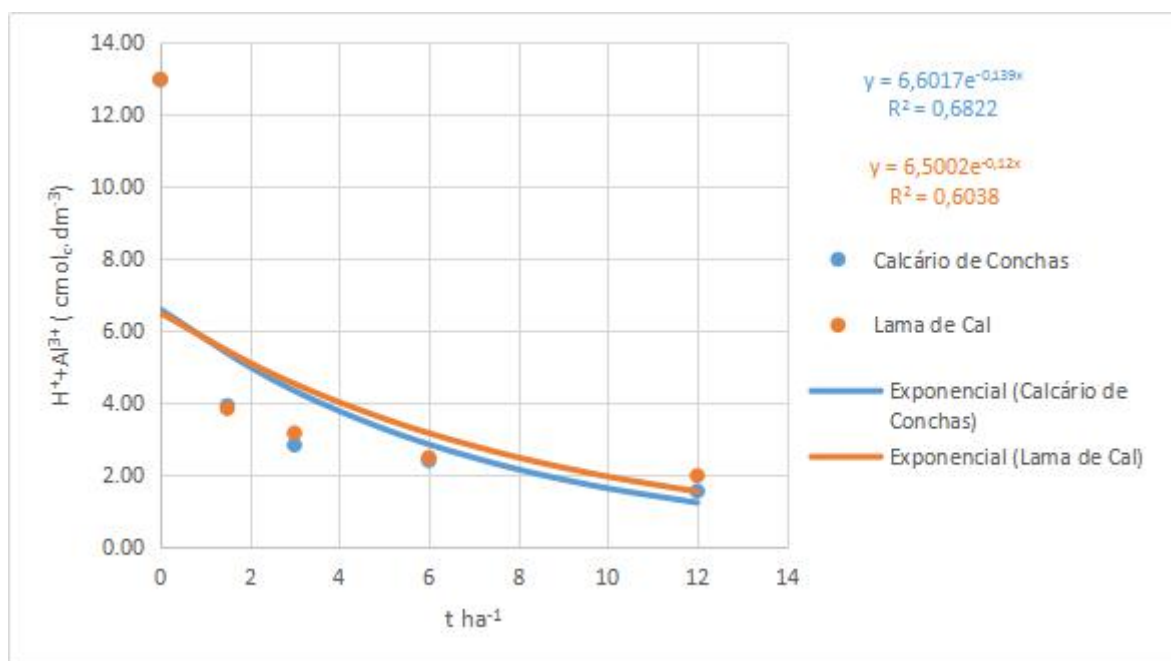
Doses (t ha ⁻¹)	Tipos de Corretivos	
	Calcário de Conchas	Lama de Cal
	$H^{++}+Al^{3+}$ (cmolc.dm ⁻³)	
0	12,97 aA	12,97 aA
1,5	3,93 bA	3,85 bA
3,0	2,84 cB	3,17 cA
6,0	2,41 dA	2,49 dA
12,0	1,56 eB	1,99 eA

C.V. = 7,37 %

Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical (fator doses de corretivos) e maiúsculas na horizontal (fator tipos de corretivos), não diferem estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 4 — Teores médios de $H^+ + Al^{3+}$ no solo em função da aplicação de doses crescentes de corretivos testados, após 60 dias de incubação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com relação ao alumínio (Tabela 6 e Gráfico 1), não houve diferença significativa para o fator tipos de corretivos, apenas para o fator doses onde foram constatadas reduções dos teores de Al^{3+} em função do aumento de doses de corretivos aplicados, onde os tratamentos com 6,0 e 12,0 t ha⁻¹ foram estatisticamente semelhantes entre si.

Como já citado anteriormente (Tabela 1), o solo utilizado apresentava antes do experimento uma acidez potencial predominantemente formada por de H^+ (quase 5 vezes maior que a do Al^{3+}), onde o H^+ (Tabela 7) mostrou características de redução diferentes do Al^{3+} , onde o este último sofreu as maiores reduções quando o pH em H_2O passou de 4,92 para 5,60 e 5,54 (CC e LC, respectivamente), os resultados mostraram que essa redução se mostrou constante (Tabela 6 e Gráfico 1) até o pH em H_2O atingir 5,96 e 5,84 (CC e LC, respectivamente).

Os resultados mostraram ainda que os teores de Al^{3+} foram neutralizados quase que completamente quando o pH em H_2O foi superior a 6 (Tabela 2 e Tabela 6). Embora haja estudos que mostram que o teor alumínio trocável se torne nulo em condições em que o pH é

superior a 5,5 como indica Simonete et al. (2013) utilizando lama de cal e calcário em dois tipos de solo.

Os teores de Al^{3+} referidos na Tabela 6 e Gráfico 5 corroboram com os resultados de Raij et al., (1983) sobre diferentes critérios de recomendação de calagem, os quais demonstram que mesmo em situações em o pH em H_2O atingiu 6,3 não houve uma eliminação do Al^{3+} . O mesmo ocorreu para o experimento de Amaral e Anghinoni (2001) sobre o efeito aplicação superficial de calcário sobre diferentes perfis do solo, onde mesmo com um pH em H_2O de 6,49 não houve a eliminação total do alumínio trocável.

Tabela 6 — Teores médios de Al^{3+} no solo em função da aplicação de doses crescentes dos corretivos testados, após 60 dias de incubação.

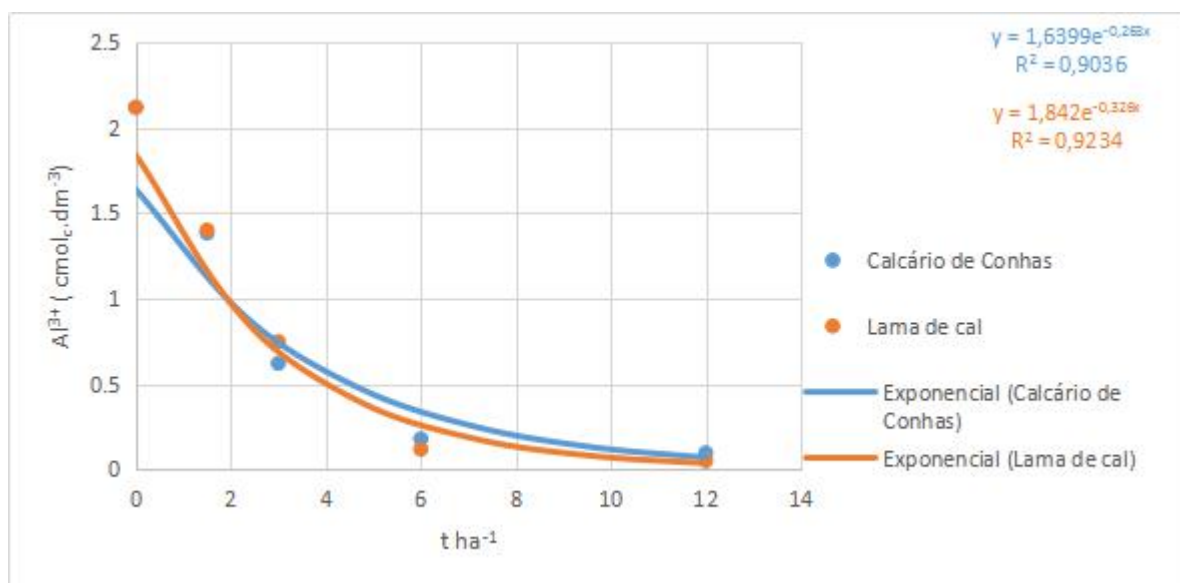
Doses (t ha⁻¹)	Al^{3+} (cmol.c.dm⁻³)	
0	2,12	a
1,5	1,39	b
3,0	0,69	c
6,0	0,15	d
12,0	0,07	d

C.V. = 14,13 %

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 5 — Teores médios de Al^{3+} no solo em função da aplicação de doses crescentes de corretivos testados, após 60 dias de incubação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 7 e Gráfico 6 podem-se observar que para o fator doses os teores médios de H^+ nos solos corrigidos foram estatisticamente semelhantes nos tratamentos com doses de 1,5, 3,0 e 6,0 t ha⁻¹, diferenciando apenas no tratamento com 12,0 t ha⁻¹ onde o teores de H^+ sofreram significativa redução. Quando se leva em consideração o fator tipos de corretivos, os tratamentos utilizando 1,5, 3,0 e 6,0 t ha⁻¹ não diferenciaram entre, exceto para o tratamento com dose de 12,0 t ha⁻¹ onde o CC estatisticamente superior a LC, ou seja, o CC foi mais efetivo em reduzir os teores de H^+ no solo.

O H^+ (Tabela 7) teve maior redução após a aplicação de 1,5 t ha⁻¹ em comparação ao H^+ inicial (Tabela 1), o que mostrou que o H^+ é muito menos suscetível a redução do que o alumínio trocável, verificando-se que entre pH em H₂O 5,2 e 6,3 (Tabela 2) não ocorreram reduções significativas, voltando a ter quedas significativas quando o pH ficou acima do 6,5.

Tabela 7 — Valores médios de H^+ do solo em função de diferentes doses e tipos de corretivos, após 60 dias de incubação.

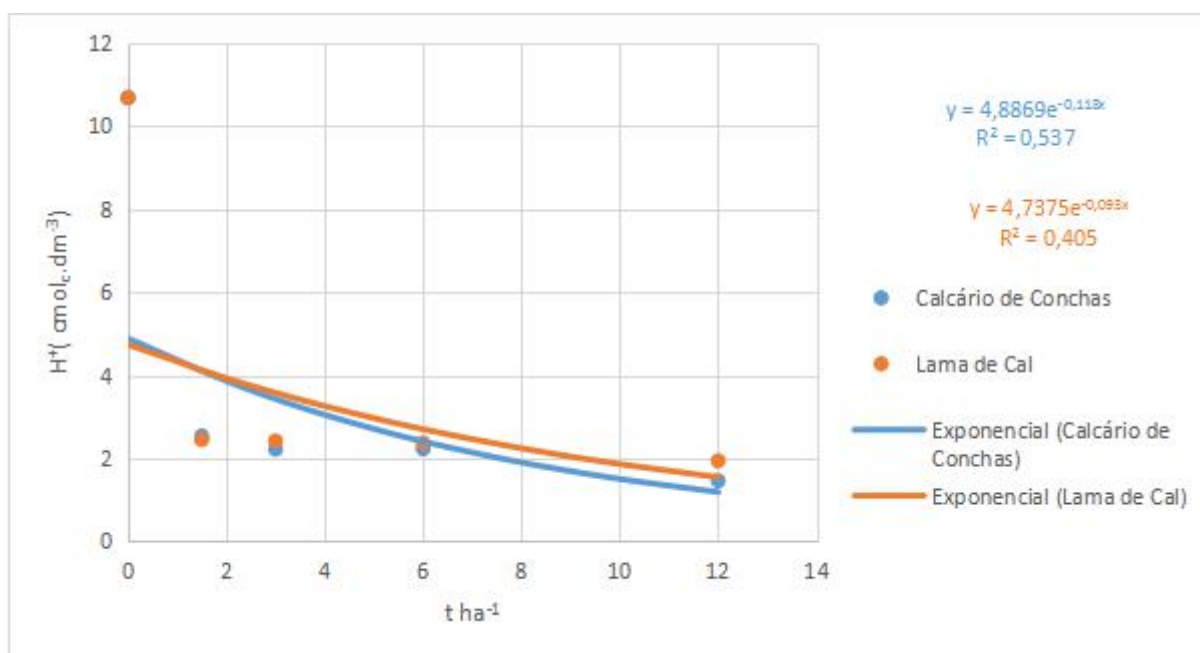
Doses (t ha ⁻¹)	Tipos de Corretivos	
	Calcário de Conchas	Lama de Cal
	H ⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	
0	10,69 aA	10,69 aA
1,5	2,54 bA	2,45 bA
3,0	2,22 bA	2,42 bA
6,0	2,23 bA	2,37 bA
12,0	1,46 cB	1,94 cA

C.V. = 9,83 %

Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical (fator doses de corretivos) e maiúsculas na horizontal (fator tipos de corretivos), não diferem estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 6 — Teores médios de H⁺ no solo em função da aplicação de doses crescentes de corretivos testados, após 60 dias de incubação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.2 ENSAIO 2

A variável número de grãos por vagem (NGV) não apresentou diferença significativa em função dos tratamentos testados.

Na Tabela 8 estão contidos os valores médios de massa seca foliar (MSF), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST). Observou-se que para as variáveis MSR e MST, a Testemunha apresentou médias significativamente menores que os demais tratamentos, sendo os tratamentos T2, T3 e T4 estatisticamente foram semelhantes entre si. Para a variável MSF foi verificado que nos tratamentos T4 e T2 a mesma foi significativamente maior do que nos tratamentos T3 e T2. O tratamento Testemunha apresentou médias inferiores aos demais tratamentos. Embora o T4 tenha mostrado maior acúmulo de MSF, isso não resultou no entanto em um valor massa seca de grãos (MSG) mais elevado (Tabela 9).

Os resultados de baixa produção de MSR, MSF, MST, NV e MSG para a testemunha (Tabelas 8 e 9), estão relacionados com os baixos valores médios de pH (Tabelas 02 e 03), elevada acidez potencial (Tabela 5), presença de alumínio tóxico (Tabela 6), e conseqüentemente menor disponibilidade de nutrientes. Corroborando com os estudos de Barbosa Filho e Silva (2000) e Silva (2002), em que se obteve respostas positivas a calagem na produção, no acúmulo de matéria seca e na absorção de nutrientes.

Tabela 8 — Valores médios de massa seca foliar (MSF), massa seca de raízes (MSR) e matéria seca total (MST) de plantas de feijão em função de diferentes tratamentos.

Tratamentos (ton)	MSF	MSR	MST
Testemunha	1,02 c	0,19 b	1,21 b
T2	5,61 ab	0,95 a	6,42 a

T3	5,11 b	1,07 a	6,56 a
T4	6,97 a	1,30 a	8,04 a
CV	20,36%	29,32%	18,47%

Médias seguidas de mesma letra minúscula entre os tratamentos não diferem estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: Elabora pelo autor.

Com relação aos dados produtivos como massa seca de grãos (MSG) e número de vagens (NV) (Tabela 9), observou-se que T2, T3 e T4 não diferenciaram significativamente entre si, ao contrário da Testemunha que apresentou os menores valores médios para MSG e NV, quando comparada aos demais tratamentos. Isto indica que a elevação no pH do solo (Tabelas 02 e 03), e conseqüente aumento na disponibilidade de nutrientes, foi fundamental para o aumento produtivo do feijoeiro nos tratamentos T2, T3 e T4 para ambos os corretivos testados, tanto de forma isolada ou conjunta para um mesmo nível de correção de solo (V% = 70%).

Tabela 9 — Valores médios de massa seca de grãos (MSG) e número de vagens (NV) de plantas de feijão em função de diferentes tratamentos.

Tratamentos (ton)	Massa seca de grãos (MSG)	Número de Vagens (NV)
Testemunha	0,26 b	1,40 b
T2	2,60 a	5,70 a
T3	2,58 a	4,80 a
T4	2,08 a	4,90 a
CV	32,97%	17,35%

Médias seguidas de mesma letra minúscula entre os tratamentos não diferem estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: Elabora pelo autor

7 CONCLUSÃO

A aplicação de lama de cal (LC) mostrou-se equiparativamente eficiente ao calcário de conchas (CC) na correção pH, redução do Al^{3+} , na redução da acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) e no fornecimento de Ca^{2+} ao sistema, podendo ser comparado à um calcário de PRNT elevado. Por tanto, é possível a recomendação da substituição parcial ou total do calcário agrícola pelo corretivo/resíduo lama de cal na prática da correção da acidez do solo, mediante prévia observação de seus teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e metais pesados para uma devida recomendação.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987. 63p.
- ABREU JR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F. Relationship between acidity and chemical properties of brazilian soils. **Scientia Agricola**, v.60, n.2, p.337-343, Abr./Jun. 2003.
- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 799-806, 2003.
- ALCARDE, José Carlos. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo: ANDA, 1992.
- ALMEIDA, H. C. et al. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). **Química Nova**, v. 30, n. 7, p. 1669, 2007.
- ALVES, M. J. F. et al., Reserva mineral de potássio em Latossolo cultivado com *Pinus taeda* L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1599-1610, 2013.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira: 1977. Brasília. Vol. 36, n. 4 (abr. 2001), p. 695-702**, 2001.
- BARBOSA, F.; GONZAGA, A. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na Região Central- Brasileira. **Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás, Brasil, 2012.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2000.
- BARRETTO, V. C.M. **Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto**, 2008 vii, 64 f. ; 28 cm Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

- BELLOTE, A. F. J. et al. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 37, 1998.
- BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. F.; ANDRADE, G. C. Avaliação de lama de cal como material corretivo do solo. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo, Embrapa Florestas, 1997. p.125-128
- CIOTTA, Marlise Nara et al. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 26, n. 4 (2002), p. 1055-1064, 2002.
- COHN, P. E.; RIBEIRO, R. N. **Resumos do 35º Congresso e Exposição Anual da Celulose e Papel**, São Paulo, Brasil, 2002.
- COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO. **Recomendações técnicas para o cultivo de feijão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: PALLOTTI, 2000. 80p.
- CORREIA, F. M. **Análise de distúrbios de compactação de cavacos de eucalipto em digestores contínuos fase vapor**. Tese de Doutorado. Tese (Mestrado Profissional em Celulose e Papel)–Universidade Federal de Viçosa, 2010. 132p.
- CORRÊA, J. C. et al. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 411-419, 2008.
- EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF , 2017.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. trad. Maria Edna Tenório Nunes — Londrina: Editora Planta, 2004.
- FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.
- GUERRA, M. A. S. L. **Avaliação de indicadores biológicos e físicoquímicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose**. Dissertação (Mestrado

em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologia e Utilização de) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. 70 f.

IAPAR. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná.** Instituto Agrônomo do Paraná, 2003.

INSTRUÇÃO NORMATIVA, S. D. A. Nº 27, de 05 de junho de 2006. **Dispõe sobre a importação ou comercialização, para produção, de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes.** *Diário Oficial da União*, v. 12, p. 127.

HEINRICH R. et al., Atributos químicos do solo e produção do feijoeiro com a aplicação de calcário... **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 32:1157-1164, 2008

LIMA, E. S. et al. Atributos químicos de um neossolo em resposta a aplicação de calcário e lama de cal + oxyfertil cultivado com eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais...**, 2015.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo.** Piracicaba: Potafos, p. 186, 1998.

LOURENÇO, R. S. Curvas de neutralização de solo com lama de cal, comparada com CaCO₃ p. a. e calcário. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p.49-57, jul./dez. 1997.

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.

MARSCHNER, Horst. **Marschner's mineral nutrition of higher plants.** Academic press, 2011.

MESQUITA, F. R. et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

PAIM, R. M. **Efeito da aplicação de lama de cal e cloreto de potássio sobre as variáveis químicas e biológicas do solo, estado nutricional e crescimento do *Pinus taeda* L. sobre LATOSSOLO.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 2007. 170f.: il.

PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. **Métodos analíticos para avaliar a qualidade do calcário**. Londrina: IAPAR, 1997. 24p. Il. (IAPAR. Circular, 94).

PLATTE, E. B. **Aplicação de lama de cal em solo de floresta de *Pinus taeda* e seus efeitos sobre a microbiota do solo e biodegradabilidade da serapilheira**. 2002. 97p. Dissertação (mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

R Development Core Team (2019). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, instituto da Potassa & Fosfato. São Paulo, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

RAIJ, B. V. et al. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. **Bragantia**, v. 42, n. 1, 1983.

RIBEIRO, A. P., **Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos**, Tese de doutoramento, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Metais, São Paulo, 2010.

SILVA, J.B.C.; NOVAIS, R.F. & SEDIYAMA, C.S. Comportamento de genótipos de soja com alta saturação de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 19:287-298, 1984.

SILVA, L.M. **Crescimento radicular e nutrição mineral de cultivares de feijão em resposta à calagem**. 2002. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

SILVA, L. M. et al. Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 701-707, 2004.

SILVA, V. et al. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, 2008.

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**, 37:1343-1351, 2013.

SOUZA JÚNIOR, J. O.; NASCIMENTO, C. W. A.; MARTINEZ, H.E. P. Resposta do feijoeiro cultivado em solução nutritiva a níveis de cálcio e magnésio na presença de alumínio. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33,-n.7. o.I 143-1148. jul. 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; **Fisiologia vegetal**. Universitar Jaume I, 2006.

TEIXEIRA, P. C. et al., (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 2, cap. 4, p. 233-237.

TRANNIN, I. C. B.; MOREIRA, FM de S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e nodulação de *Acacia mangium*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Sesbania virgata* em solo contaminado com metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, 2001.

WANDER, A. E. **Cenário nacional e novas oportunidades de mercado**. Embrapa Arroz e Feijão: Santo Antônio de Goiás, 2017. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166101/1/CNAPAF-2017-conafep292.pdf>> acesso em 01 de junho de 2019.