

MARIA MAIARA CAZOTTI

**CALCÁRIO BIOGÊNICO E RESÍDUO INDUSTRIAL DE MÁRMORE:
CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA NA CORREÇÃO DE SOLOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C386c
2015
Cazotti, Maria Maiara, 1988-
Calcário biogênico e resíduo industrial de mármore :
caracterização comparativa na correção de solos / Maria
Maiara Cazotti. - Viçosa, MG, 2015.
x, 63f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Liovando Marciano da Costa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
Referências bibliográficas: f.58-63.

1. Solos - Correção. 2. Solos - Acidez. 3. Fertilidade do
solo. 4. Algas calcárias. 5. Resíduos industriais. 6. Mármore -
Indústria. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Solos. Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição
de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.821

MARIA MAIARA CAZOTTI

**CALCÁRIO BIOGÊNICO E RESÍDUO INDUSTRIAL DE MÁRMORE:
CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA NA CORREÇÃO DE SOLOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de janeiro de 2015.

Walter Antônio Pereira Abrahão

Fernanda Schulthais

Paulo Roberto Cecon
(Coorientador)

Liovando Marciano da Costa
(Orientador)

Aos meus pais Iva e Juarez
À toda minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela sua presença em minha vida.

Aos meus pais que sempre me incentivaram a alcançar caminhos cada vez mais distantes.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao professor meu orientador Liovando Marciano da Costa, pela amizade, paciência, dedicação, crescimento profissional e por ser também um exemplo a ser seguido.

Aos meus coorientadores, Paulo Roberto Cecon e Edson Marcio Mattiello e aos professores do DPS, pelos ensinamentos.

Aos laboratoristas do departamento, em especial aos da Geoquímica, Física e Fertilidade.

Ao Cleverson, pela amizade e dedicação em todas as etapas deste trabalho.

Aos amigos de DPS em especial Fernanda, Rafaella, Vanessa e Welldy.

À todos que direta ou indiretamente fizeram parte deste trabalho, o meu muito obrigada.

BIOGRAFIA

MARIA MAIARA CAZOTTI, filho de Juarez Cazotti e Iva Dias Cazotti, nasceu dia 04 de março de 1988, no município de Castelo, Espírito Santo.

Em 2006 iniciou o Técnico em Mineração com Ênfase em Rochas Ornamentais, pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo em Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. Em 2008 iniciou o curso de Agronomia, na Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, graduou-se em 2013.

Em abril de 2013, iniciou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, submetendo-se à defesa de dissertação em 30 de janeiro de 2015.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. CAPÍTULO 1: CALCÁRIO BIOGÊNICO NA AGRICULTURA.....	4
2.1 INTRODUÇÃO.....	4
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	7
2.2.1 Localização.....	7
2.2.2 Coleta do material de pesquisa.....	8
2.2.3 Preparo das amostras	8
2.2.4 Caracterização dos corretivos de acidez	8
2.2.5 Ensaio de solubilidade em ácido clorídrico	9
2.2.6 Experimento de Incubação	10
2.2.7 Análises Estatísticas.....	12
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
2.3.1 Difractometria de Raios-X (DRX).....	12
2.3.2 Caracterização Química e Poder Relativo de Neutralização Total	15
2.3.3 Área superficial específica.....	16
2.3.4 Solubilidade dos diferentes corretivos de acidez em ácido clorídrico	17
2.3.5 Solo incubado com diferentes corretivos de acidez	21
2.4 CONCLUSÕES.....	37
3. CAPÍTULO 2. RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DE MÁRMORE E SEU USO NA AGRICULTURA	38
3.1 INTRODUÇÃO.....	38
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.2.1 Localização.....	40
3.2.2 Coleta do material de pesquisa.....	40
3.2.3 Preparo das amostras	40
3.2.4 Caracterização dos corretivos de acidez	41
3.2.5 Ensaio de solubilidade em ácido clorídrico	42
3.2.6 Experimento de Incubação	42
3.2.7 Análises estatísticas	44
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
3.3.1 Caracterização química e física	44
3.3.2 Solubilidade dos corretivos em ácido clorídrico	46

3.3.3	Solo incubado com três corretivos de acidez	50
3.4	CONCLUSÕES.....	57
4.	CONCLUSÃO GERAL	57
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

RESUMO

CAZOTTI, Maria Maiara, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2015. **Calcário biogênico e resíduo industrial de mármore: Caracterização comparativa na correção de solos.** Orientador: Liovando Marciano da Costa. Coorientadores: Paulo Roberto Cecon e Edson Marcio Mattiello.

O Brasil apresenta uma vasta extensão territorial, com clima privilegiado para desenvolvimento de várias espécies vegetais, entretanto os solos normalmente apresentam baixa fertilidade natural, baixa CTC, baixo pH e alta saturação por alumínio. Por essa razão, a exploração agrícola desses solos necessita de correção da acidez. Dentre os corretivos de acidez utilizados nos solos, o calcário é o principal, que varia geralmente quanto às características mineralógicas, composições químicas e granulométricas os quais determinam a poder total de neutralização de acidez do solo. Autores afirmam que os calcários de origem sedimentar, de natureza menos cristalina, são mais reativos do que os mármore, com estrutura mais cristalina. Tal afirmação serve de base para estudar comparativamente o calcário biogênico marinho, calcário sedimentar e o mármore supondo-se que os resultados de seu uso na agricultura sejam diferentes. O Brasil possui em sua plataforma continental, grande extensão coberta por sedimentos carbonáticos. Características como disponibilidade de micronutrientes e área superficial específica poderiam potencializar o uso do calcário biogênico. Pode-se supor que o calcário biogênico marinho atue de forma diferenciada no sistema solo-planta, o que necessitaria mais estudos a fim de se balizar melhor as orientações técnicas e otimizar os resultados quando do seu uso. O estado do Espírito Santo lidera a produção brasileira de rochas ornamentais entre elas o mármore. A relevância desta indústria para o desenvolvimento regional é indiscutível, entretanto a extração e o beneficiamento de rochas geram quantidades significativas de resíduos. Os resíduos gerados no processo de extração e beneficiamento apresentam uma fonte para a correção de acidez dos solos e ainda uma alternativa ao grande volume de resíduos gerados. Porém, sugere-se que o comportamento desses resíduos como corretivo, podem ser dependentes de qual etapa do beneficiamento esse é oriundo, visto que a granulometria do material vai ser influenciada. O objetivo do capítulo 1 foi estudar fontes alternativas de calcários

através da comparação de corretivos de diferentes origens, e o capítulo 2, a destinação para os resíduos de mármore de diferentes processos. Os corretivos de acidez em estudo são: calcário biogênico (CB), calcário sedimentar (CS), mármore (CM), resíduos do beneficiamento do mármore, serrada (RS) e do polimento (RP) e o calcário comercial (CC). Nos corretivos foram avaliadas características mineralógicas, teores de metais pesados, poder de neutralização total (PRNT), teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e micronutrientes, teores totais de Ca, Mg, Al, K, Na e Si e área superficial específica. Foram conduzidos experimentos para avaliar a solubilidade e liberação de Ca^{2+} e Mg^{2+} em diferentes concentrações de HCl e para avaliar o potencial de neutralização através da incubação com solos com diferentes níveis de necessidade de calagem. No capítulo 1, observa-se que nas menores concentrações de HCl, o CB mostra-se mais reativo, entretanto com o aumento da concentração de HCl ocorre o consumo de carbonatos, proporcionando maior geração de resíduo tanto nos CB e CC. Em contrapartida, por apresentarem maior proporção de CaO e MgO, o CM e CS apresentaram menor quantidade de resíduo. Na análise mineralógica foram observados minerais silicatados, que podem ter contribuído para o menor poder de neutralização do CB. A maior teor de CaO foi observado no CS, que libera mais Ca^{2+} na presença de HCl e aporta mais Ca^{2+} ao solo no final do período de incubação com o solo. Maior teor de MgO foi observado no CM, que libera mais Mg na presença de HCl e aporta mais Mg^{2+} no solo ao final do período de incubação com o solo, característica que pode estar relacionada à presença de dolomita e tremolita no CM. No capítulo 2, observa-se que, o RP apresenta maior poder relativo de neutralização e solubilidade em HCl. Os resíduos são similares em relação aos teores de CaO e MgO, fato que os levaram a apresentar comportamento semelhante quando reagiram com HCl. Quando aplicados no solo, os dois resíduos mostraram-se semelhantes entre si e quando comparados com o calcário comercial, fica evidente o potencial desses resíduos como corretivo de acidez.

ABSTRACT

CAZOTTI, Maria Maiara, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2015. **Biogenic limestone and marble industrial residue: Comparative characterization in soils correction.** Adviser: Liovando Marciano da Costa. Co-advisers: Paulo Roberto Cecon and Edson Marcio Mattiello.

Brazil has a wide territorial extension, with privileged climate for development of various plant species. However, soils usually have low natural fertility, low CTC, low pH and high aluminium saturation. For this reason, the agricultural exploration of these soils needs acidity correction. Among the acidity correctives used in the soils, limestone is the leading, generally varying on mineralogical characteristics, chemical and grain size compositions which determine the overall power of soil acidity neutralization. Authors state that the limestones of sedimentary origin, less crystalline in nature, are more reactive than the metamorphicals, with more crystalline structure. This statement is the basis for studying comparatively marine biogenic limestone, sedimentary limestone and marble, assuming that the result of its use in agriculture are different. Brazil has in its continental shelf, a wide area covered by carbonate sediments. Features such as availability of micronutrients and specific surface area could increase the use of biogenic limestone. It can be assumed that the marine biogenic limestone acts differently in the soil-plant system, which would require further study in order to better delimit the technical guidelines and optimize results when using them. Espírito Santo state leads the brazilian production of ornamental stones including marble. The relevance of this industry for regional development is indisputable, however the extraction and processing of the rocks generate significant amounts of residues. These residues generated during the extraction and processing present a source for soil acidity correction and even an alternative to the great volume of residues generated. However, it is suggested that the behavior of these residues as correction, may be dependent on the processing stage that is derived, since the grain size of the material will be influenced. The objective of chapter 1 was to study alternative sources of limestone by comparing corrective of different origins, and chapter 2, the allocation for the marble residues of different processes. The acidity correctives in the study are: biogenic limestone (CB), sedimentary limestone (CS), marble (CM), marble processing waste, lumber (RP) and polish (RS) and the commercial limestone (CC). In correctives

were evaluated mineralogical, heavy metal levels, overall neutralizing power (PRNT), Ca and Mg and micronutrients levels, total levels of Ca, Mg, Al, K, Na and Si and specific surface area. Experiments were conducted to evaluate the solubility and liberation of Ca and Mg in different concentrations of HCl and for assessing the neutralization potential by incubation with different levels need for liming. In chapter 1 it was observed that at lower HCl concentrations, the CB was more reactive, but with increasing concentration of HCl carbonate consumption occurs, providing increased generation of residue in both CB and CC, in contrast the CM and CS by the high ratio of CaO and MgO generate less amount of residue. In mineralogical analysis were observed silicate minerals that may be conditioning the lowest BL neutralization power. The highest concentration of CaO was observed in the CS, which releases more Ca^{2+} in the presence of HCl and provides more Ca^{2+} at the end of the incubation period with the soil. Higher concentrations of MgO was noted in CM, which releases more HCl in the presence of Mg and Mg^{2+} provides more at the end of the incubation period with the soil, a characteristic that may be related to the presence of dolomite and tremolite in the CM. In chapter 2, it is observed that the RP showed higher relative power of neutralization and solubility in HCl. The residues are similar in relation to the amounts of CaO and MgO, a fact that led them to similar behavior when reacting with HCl. When applied to the soil, both residues were similar and when compared with commercial limestone, the potential of this residue as acidity corrective is evident.

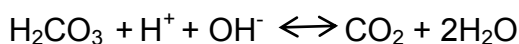
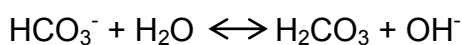
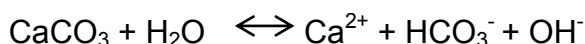
1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil apresenta dimensões continentais, com clima privilegiado para desenvolvimento de várias espécies vegetais de interesse econômico, entretanto com limitações nos aspectos químicos dos solos, normalmente apresentam baixa CTC, baixo pH e alta saturação por alumínio, cerca de 70 % dos solos são considerados ácidos.

Os solos podem ser naturalmente ácidos devido a ocorrência de material de origem que apresenta baixas concentrações de cátions de caráter básico (LOPES et al., 1991) e pela remoção de cátions básicos do complexo de troca e consequente acúmulo de cátions de natureza ácida, especialmente em regiões com elevadas taxas de precipitação pluvial (SOUSA et al., 2007). Em solos cultivados, a sucessão de cultivos agrícolas, aliada à prática de aplicação de fertilizantes, sobretudo os amoniacais, podem contribuir para a acidificação dos solos, além da absorção de cátions básicos pelas plantas e da mineralização de materiais orgânicos (SOUSA et al., 2007). Além do processo de erosão que pode expor as camadas subsuperficiais, que geralmente são mais ácidas.

Por essas razões, a exploração agrícola desses solos necessita de correção da acidez. Além de poupar a abertura de novas áreas para a agricultura, a calagem tem papel relevante no aumento da produtividade agrícola brasileira (PARAHYBA, 2009). Segundo Caires et al. (1988) a calagem é a prática mais eficiente para elevar o pH, teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e saturação por bases e reduzir Al^{3+} no solo.

Dentre os corretivos de acidez utilizados nos solos, o calcário é o principal devido à fácil obtenção em decorrência das grandes reservas naturais, efetividade como corretivo de acidez além de fornecer cálcio e magnésio às plantas. Quando se aplica um corretivo de acidez no solo como os calcários contendo minerais como calcita (CaCO_3) e magnesita (MgCO_3), as reações resultantes são as seguintes:



A calagem está fundamentada no fenômeno de troca catiônica, em que um sal cede ao solo seu cátion e que o ânion oriundo de ácido fraco atua como receptor de prótons. O calcário em contato com a umidade do solo, libera Ca^{2+} , Mg^{2+} e CO_3^{2-} . O ânion CO_3^{2-} é o principal responsável pela hidrólise da água e liberação do íon OH^- e posteriormente do HCO_3^- . O grupo OH^- liberado neutralizará o H^+ da solução, responsável pela sua acidez ativa. Com o aumento do pH, o Al^{3+} precipita na forma de oxihidróxido $\text{Al}(\text{OH})_3$, forma não solúvel e portanto não tóxica para as plantas (ALCARDE, 2005 e SOUSA et al., 2007).

Dentre as diversas características dos corretivos de acidez dos solos, a granulação e a presença de neutralizantes determinam o Poder Relativo de Neutralização Total do Corretivo (PRNT). O poder de neutralização (PN) de um corretivo de acidez é determinado analiticamente, fazendo-se uma amostra do mesmo reagir com uma quantidade conhecida e em excesso de ácido clorídrico diluído a quente (BRASIL, 2007). O PN indica, portanto, a capacidade potencial, ou teórica, do corretivo em neutralizar a acidez dos solos, ou seja sua basicidade. O PN de um corretivo depende não só da quantidade dos neutralizantes presentes, mas também da natureza química do neutralizante, entretanto a determinação do PN indica apenas que o produto é alcalino ou básico, e a partir daí supõe-se que o seu constituinte seja o CaCO_3 e, ou, MgCO_3 . Portanto, não possibilita caracterizar a natureza química do neutralizante, isto é, se é carbonato, óxido, hidróxido ou silicato, e, se a base está associada ao cálcio ou ao magnésio (ALCARDE, 2005).

A identificação de um produto como corretivo de acidez dos solos é feita também, determinando os teores de cálcio e de magnésio. A ausência ou teores muito baixos desses elementos indicam que o produto não é corretivo de acidez dos solos. Os corretivos são classificados em calcítico, dolomítico e magnesiano conforme seus teores de CaO e MgO, apresentado no Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos calcários de acordo com os teores de CaO e MgO.

Calcário	CaO	MgO
%	
Calcítico	40 - 45	1 - 5
Dolomítico	25 - 30	13 - 20
Magnesiano	31 - 39	6 - 12

Fonte: Adaptado de Alcarde, 2005.

Em termos de granulometria, para estimar a velocidade de reação no solo, os corretivos da acidez do solo devem possuir as seguintes características mínimas: passar 100% em peneira de 2 mm (ABNT n° 10); 70 % em peneira de 0,84 mm (ABNT n° 20) e 50 % na peneira de 0,3 mm (ABNT n° 50). Em termos de reatividade a fração maior que 2 mm (retida na peneira n° 10) não tem efeito considerável na correção da acidez; 80 % da fração 10-20 (2 a 0,84 mm) e 40 % da fração 20-50 (0,84 a 0,30 mm) continuarão agindo no solo mais lentamente após o período de 3 meses; e que a fração menor que 0,3 mm reage totalmente em 3 meses (BRASIL, 2007).

O aumento do PRNT dos corretivos pode ser conseguido pela moagem mais fina ou pela calcinação, no primeiro caso ocorre somente aumento de reatividade e no segundo ocorre aumento de PN e reatividade (ALCARDE, 2005). Ainda segundo Alcarde (2005) há situações que necessitam de corretivos com maior reatividade, como no caso de atraso na calagem, calagem em terrenos arrendados temporariamente, hortas, solos muito ácidos; há situações que necessitam de efeito residual como no caso de calagem para implantação de culturas perenes, semiperenes e pastagens; muitas situações necessitam de corretivos com reatividade e efeito residual em níveis intermediários.

O uso de calcário no Brasil revela alguns problemas, dentre os quais pode-se destacar a baixa quantidade utilizada nos solos tropicais, quando comparada à sua necessidade. O consumo interno em 2012 cresceu em torno de 13,4% em relação a 2011, registrando o maior consumo dos últimos 20 anos (MARTINS JUNIOR, 2013).

Entretanto, o consumo de calcário agrícola não tem acompanhado a evolução do consumo dos fertilizantes agrícolas, os quais somente são potencializados quando o solo recebe calagem adequada, o que não ocorre, em geral, na agricultura brasileira. Desta forma, o setor agrícola vem desperdiçando recursos com fertilizantes (MARTINS JUNIOR, 2013). De modo que a maior eficiência na absorção dos nutrientes está associada a valores de pH de 6,5 para a maioria das culturas. Para Malavolta e Violante (1989), o pH é um dos fatores que mais influencia a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Outro agravante, refere-se ao manejo inadequado do produto, a necessidade de calcário calculada para incorporação entre 0 e 20 cm de profundidade é incorporada em profundidade menor. Isso se reflete

negativamente nas propriedades físicas dos solos, causando sua degradação e erosão, além de reduzir a disponibilidade de micronutrientes e, conseqüentemente, a produção das culturas (FREITAS, 1992).

Em geral, o calcário apresenta baixa solubilidade, razão porque requer adequado contato com as partículas de solo para reagir, sendo portanto fundamental sua incorporação ao solo. A ação da calagem, em áreas sem incorporação, normalmente fica restrita às camadas superficiais do solo, não ultrapassando os primeiros 10 cm de profundidade (RITCHEY et al., 1982; SA, 1993; CAIRES et al., 1998; e AMARAL et al., 2004), tornando-se um desafio sua utilização em cultivos onde há o mínimo revolvimento do solo, como no plantio direto e em áreas com culturas perenes já estabelecidas.

O objetivo do capítulo 1 foi estudar fontes alternativas de calcários através da comparação de corretivos de diferentes origens, e o capítulo 2, avaliar a diferença no comportamento dos resíduos gerados em processos distintos de beneficiamento do mármore.

2. CAPÍTULO 1: CALCÁRIO BIOGÊNICO NA AGRICULTURA

2.1 INTRODUÇÃO

O calcário produzido pela extração da alga do gênero *Lithothamnium* é muitas vezes denominado como calcário biogênico e pode ser usado na correção e fertilização do solo, nutrição animal, humana e na indústria de cosméticos (GOETZ, 2008 citado por CARREIRA et al., 2011; COSTA NETO et al., 2010). Como corretivo de acidez, pode ser aplicado no estado natural ou após secagem e moagem. Segundo Dias (2000), algumas características potencializam a atuação deste produto, como a disponibilidade dos micronutrientes que se encontram adsorvidos nas paredes celulares, sendo assim facilmente assimiláveis pelas plantas e animais e a elevada porosidade das algas, que propicia maior área superficial de atuação.

Possuindo 31 a 34 gêneros e cerca de 300 a 500 espécies, as algas calcárias (classe Rhodophytae, ordem *Corallinales*) podem ser divididas em três grandes grupos: articuladas ramificadas (*Corallina*) não articuladas, ramificadas livres ou fixa com ramificações finas ou espessas (*Lithothamnium*) e incrustadas

ou maciças (*Mesophyllum* e *Spongites*) (VILLAÇA, 2009). As formas livres finas e ramificadas constituem os fundos de maerl, enquanto que as formas livres e maciças constituem os fundos de rodolitos, que crescem naturalmente no meio marinho até próximo de 200 m de profundidade, desde que tenha presença de luz, sendo sua renovação constante (DIAS, 2000; MELO e MOURA, 2009). Tais algas são compostas por elevados teores de CaCO_3 e MgCO_3 , e pequenas quantidades de outros elementos, tais como S, P, K, Na, Fe e Cu (INGLETHORPE, 1992 citado por GRAY et al., 2000).

A formação do calcário biogênico ocorre pela precipitação da calcita que é consequência das atividades dos seres vivos (GOETZ, 2008 citado CARREIRA et al., 2011). Decorrente da pressão parcial de CO_2 em razão da atividade fotossintética de algas marinhas e do fitoplâncton, fator que cria condição para que ocorra a precipitação da calcita.

Dias (2000) cita que desde o século XVII as algas calcárias vêm sendo utilizadas para a correção de solos ácidos na Europa. A extração intensificou-se rapidamente durante a segunda metade do século XX, atingindo 600.000 t/ano na década de 70, e após a introdução de quotas de extração, ficou em torno de 500.000 t/ano a partir do início da década de 80. A extração desses granulados é uma das principais atividades da indústria francesa de algas, tanto em termos de tonelagem quanto de faturamento (CAVALCANTI, 2011).

No Brasil, há ocorrência de algas calcárias na plataforma continental que começaram a ser estudadas de forma detalhada na década de 60 por pesquisadores do Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de Pernambuco (KEMPF, 1970). Kempf (1974) descreveu o potencial de exploração econômica destas algas no Brasil, comparando-as com o francês. Em levantamentos regionais posteriores, foi observado que a plataforma continental brasileira representa a mais extensa cobertura de sedimentos carbonáticos. De modo geral, estes sedimentos ocupam os setores médio e externo da plataforma, sendo representados por areias e cascalho constituídos por algas coralinas ramificadas, maciças ou em concreções, artículos de *Halimeda*, moluscos, briozoários e foraminíferos bentônicos (COUTINHO, 1992).

Apenas as denominadas formas livres, tais como rodolitos, nódulos e seus fragmentos (bioclastos), são viáveis para a exploração econômica, pois constituem depósitos sedimentares inconsolidados, facilmente coletados através

de dragagens. As áreas explotáveis de algas calcárias na plataforma continental são limitadas em função da profundidade e dos teores de mistura com areias quartzosas. De modo geral, no Brasil, as ocorrências mais contínuas encontram-se em profundidades maiores que 50 m, impedindo a exploração por métodos tradicionais de dragagem que atingem geralmente a profundidade máxima de 30 m (DIAS, 2000).

A exploração dos sedimentos calcários no Brasil ainda é pequena. Entretanto já existem algumas indústrias que exploram e comercializam calcário biogênico marinho com fins agrícolas com elevado valor agregado, recebendo o nome genérico de "Lithothamnium", nome esse originado de um dos principais gêneros de algas calcárias. O uso agrícola, no entanto, ainda é incipiente e os resultados de seu uso ainda não são bem conhecidos, apesar de muitas vezes se associar aumento de produtividade, em diferentes culturas, quando do uso de calcário biogênico marinho em detrimento ao calcário sedimentar.

Cruz et al. (2008) observaram que a adição de bioclástico ao substrato de cultivo proporcionaram resultados satisfatórios no crescimento de mudas de tangerineira Cleópatra, o mesmo foi observado em maracujazeiro por Souza et al. (2009), em ambiente protegido.

Mesquita et al. (2009) compararam a eficiência para a elevação de pH, em latossolos, promovidas por calcário dolomítico, resíduos de marmoraria e calcário biogênico marinho e encontraram os melhores resultados nos ensaios com o calcário biogênico marinho.

Moreira et al. (2011) constataram melhoria da qualidade de frutos de pitaia aplicando a cada três meses granulado bioclástico incorporado à adubação orgânica, constituída de esterco de curral de cama de frango, porém em campo. Moreira et al. (2012) observaram que plantas de tangerina Ponkan que receberam aplicação de 1,2 kg de granulado bioclástico apresentaram um aumento de 6,6 %, 8,0 % e 17,7 % em comparação com plantas sem aplicação, sobre o diâmetro transversal, diâmetro longitudinal e massa dos frutos, respectivamente, atribuindo tal resultado à maior disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Além dos trabalhos citados, poucos trabalhos científicos são encontrados caracterizando e comparando o calcário biogênico marinho ao calcário sedimentar e ao mármore metamórfico. Segundo Alvarez e Ribeiro (1999), a

reatividade de um calcário depende, em parte, de sua natureza geológica, sendo os de origem sedimentar, de natureza menos cristalina, mais reativos do que os metamórficos, com estrutura mais cristalina.

Os calcários de origem sedimentar são formados através de desintegração e decomposição de rochas preexistentes pelos agentes do intemperismo. Onde o cálcio em solução é conduzido para locais de acumulação continental ou marinha. A evaporação e as variações de temperatura podem reduzir o teor de CO_2 contido na água, causando a precipitação do CaCO_3 em consequência das condições de saturação. Algumas impurezas acompanham o processo de deposição do CaCO_3 ou ocorrem em estágios superiores à deposição. As impureza mais comum nas rochas carbonatadas são os argilominerais como caulinita, illita, clorita, esmectita e outros micáceos (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

As rochas metamórficas que podem ser usadas como corretivo de acidez, representados pelos mármore, são rochas metamórficas cristalinas e carbonatadas, composta por calcita e, ou, dolomita e são resultantes da recristalização de rochas calcárias, na maior parte de natureza sedimentar, através de altas temperaturas e pressão (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

O objetivo desse capítulo é o estudo de uma fonte alternativa de corretivo de acidez através da comparação de calcários de diferentes origens.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização

O trabalho experimental foi realizado no Laboratório de Geoquímica e em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, MG.

2.1.2 Coleta do material de pesquisa

O mármore (CM) pertence à Faixa Ribeira, na porção central do Orôgeno Araçuaí, a amostra de mão foi coletada em uma pedreira localizada no distrito de Itaóca Pedra - Cachoeiro de Itapemirim, ES.

O calcário biogênico marinho (CB) é proveniente do processo de extração realizado na jazida marinha localizada no município de Serra, ES e foi fornecido pela empresa Algadermis Indústria e Comércio Ltda, localizada em Vitória, ES.

O calcário comercial (CC) é oriundo da exploração realizada na região compreendida no Terreno Oriental da Faixa Ribeira, Domínio Italva, Formação São Joaquim, localizada no município de Italva, RJ e foi adquirido no comércio local de Viçosa, MG.

O calcário sedimentar (CS) pertence à Bacia Potiguar, situada no extremo leste da margem equatorial brasileira ao longo dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte, a amostra de mão foi coletada no afloramento da Formação Jandaíra, localizado no município de Apodi, RN.

2.2.3 Preparo das amostras

As amostras que se encontravam em blocos, foram lavadas com água destilada, quebradas em blocos menores com auxílio de um martelo geológico e moídas em moinho de disco, posteriormente toda a amostra foi passada em peneira de 200 mesh. Todos os calcários foram homogeneizados e quarteados em porções menores para caracterização e montagem dos experimentos. Todas as amostras foram colocadas em estufa a 105 °C por no mínimo 24 horas, em seguida resfriadas em dessecador.

2.2.4 Caracterização dos corretivos de acidez

Para a caracterização mineralógica dos corretivos de acidez, lâminas de vidro escavadas foram preparadas e submetidas à difratometria de Raios-X (DRX), em aparelho X'Pert PRO do Laboratório de Mineralogia do Departamento de Solos da UFV, utilizando radiação CoK α .

Para se determinar o poder relativo de neutralização total (PRNT) dos corretivos de acidez foi utilizado o procedimento padrão pela IN 28-2007 (BRASIL, 2007).

O PN de cada corretivo estudado foi determinado pelo método da titulação ácido-base, segundo norma do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, com quatro repetições (BRASIL, 2007). A reatividade foi calculada a partir dos resultados da composição granulométrica conforme (BRASIL, 2007).

Os teores de CaO e MgO e dos micronutrientes Fe, B, Cu, Mn e Zn presentes em cada corretivo de acidez, foram obtidos segundo norma do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, com quatro repetições (BRASIL, 2007). A dosagem dos elementos Ca, Mg, Fe, Cu e Mn foi obtida em espectrômetro de absorção atômica (AAS) e B por fotolorimetria.

Para a caracterização a determinação dos teores totais de Ca, Mg, Al, K, P, Na e Si foi utilizada a fusão alcalina, seguindo o procedimento descrito por Pansu e Gautheyrou (2003), adaptado por Guerra et al.(2013). A dosagem dos elementos acima referidos foi realizada em espectrômetro de emissão ótica acoplado ao plasma induzido (ICP-OES).

Para a determinação da área superficial específica foi utilizada a método B.E.T. (Brunauer, Emmett e Teller), utilizando o aparelho NOVA instrument (Quantachrome. Instruments version 10.01).

2.2.5 Ensaio de solubilidade em ácido clorídrico

Após a padronização granulométrica das amostras em peneira com abertura de 0,053 mm, foi pesado um 1 g de corretivo e colocado em erlenmeyer de 125 mL. Foram adicionados 50 mL de HCl nas concentrações de 0,01; 0,10; 0,50; 1,00 e 2,00 mol/L, com quatro repetições cada. O tempo de reação foi de 12 horas, período no qual as amostras foram agitadas a cada hora por 15 minutos em agitador de 200 oscilações por minuto.

Após o período de reação, as soluções contendo as amostras de calcário, foram filtradas em papel de filtro quantitativo de filtragem lenta. No filtrado foram determinados os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ através da espectroscopia de absorção atômica. Após a filtragem, os papéis de filtro contendo os resíduos foram

levados à mufla a 500 °C, por uma hora. Por diferença de massa antes do ataque ácido e pós mufla foi possível determinar o resíduo de calcário. Metodologia adaptada de Amaral Sobrinho et al, (1992).

2.2.6 Experimento de Incubação

O solo foi coletado no município de Viçosa, MG, na camada de 0-20 cm e seco ao ar, destorroado, passado em peneira com abertura de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e realizada a caracterização física e química (EMBRAPA, 2011). A interpretação das características químicas e físicas seguiu a Quinta Aproximação (CFSEMG, 1999), dados apresentados na (Tabela 1).

Os corretivos foram incubados com amostras de Latossolo Vermelho Amarelo. Os corretivos foram aplicados no solo ainda seco e homogeneizados em todo o volume de solo. Os tratamentos, arranjados num esquema fatorial (4 x 4) + 1, sendo quatro corretivos de acidez (CM, CB, CC e CS), quatro níveis de necessidade de calagem (30, 60, 100 e 150 %) e um controle, sem aplicação de corretivo de acidez, que foram distribuídos em blocos casualizados, com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um saco plástico, com capacidade de 1 dm³ de solo e foram distribuídas em bancada, dentro da casa de vegetação.

Com base nos resultados de análise química dos corretivos de acidez foram determinada a necessidade de calagem (NC) para o solo, utilizando-se o método da neutralização de Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ (ALVAREZ e RIBEIRO, 1999). Para fins de cálculo foi considerada a cultura do milho. Para calcular a quantidade de corretivo de acidez a ser aplicado considerou-se o PRNT dos diferentes corretivos em estudo, conforme Tabela 2.

As unidades permaneceram incubadas por 90 dias. Ao final foi obtida a TFSA e realizada a determinação do pH em água, na relação solo:solução 1:2,5; teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Na, P e K disponível (extração com Mehlich-1); B extração com BaCl₂.2H₂O 5 mmol/L; Ca²⁺ e Mg²⁺ (extração com KCl 1 mol/L); acidez trocável por titulação (extração com KCl 1 mol/L) e acidez potencial, igualmente por titulação (extração com solução de Ca(Ac)₂ 0,5 mol/L a pH 7, relação solo:solução 1:15) (EMBRAPA, 2011). O P-remanescente foi

determinado com solução de CaCl_2 10 mmol/L contendo 60 mg/L de P, com tempo de agitação de 1 h e relação solo:solução 1:10 (ALVAREZ V. et al., 2000).

As unidades experimentais foram mantidas com umidade entre 60 e 80 % da capacidade de campo, por meio de pesagem e reposição de água. Os sacos plásticos foram mantidos ligeiramente abertos para permitir as trocas gasosas.

Tabela 1. Atributos físicos, químicos e interpretação do solo utilizado no experimento

Atributos	Unidade	Valor	Interpretação
Densidade do solo	kg/dm ³	1,20	-
Densidade de partículas	kg/dm ³	2,60	-
Equivalente de umidade	kg/kg	0,286	-
Textura	% de argila	68,00	Muito argilosa
pH H ₂ O	-	5,24	Baixo
P	mg/dm ³	1,20	Muito baixo
K	mg/dm ³	43,00	Médio
Ca ²⁺	cmol _c /dm ³	0,63	Baixo
Mg ²⁺	cmol _c /dm ³	0,14	Muito baixo
Al ³⁺	cmol _c /dm ³	1,40	Alto
H + Al	cmol _c /dm ³	9,70	Muito alto
SB	cmol _c /dm ³	0,88	Baixo
CTC efetiva	cmol _c /dm ³	2,28	Baixo
CTC potencial	cmol _c /dm ³	10,58	Bom
V	%	8,30	Muito baixo
m	%	61,40	Alto
MO	dag/kg	4,78	Bom
P-Rem	mg/L	12,30	Muito baixo
Cu	mg/dm ³	0,62	Baixo
Mn	mg/dm ³	4,60	Baixo
Fe	mg/dm ³	189,60	Alto
Zn	mg/dm ³	0,82	Baixo

Densidade do solo: Método da proveta; Densidade de partículas: Método do balão volumétrico; Equivalente de umidade: Método da centrifuga; Textura: Método da pipeta; pH em água Relação 1:2,5; P - K - Fe - Zn -Mn - Extrator Mehlich-1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black.

Tabela 2. Quantidade de corretivo aplicado em função do PRNT e níveis de calagem

Fonte de corretivo	PRNT	NC	Necessidade de calagem (%)			
			30	60	100	150
	%		t/ha			
CM	98,94	4,84	1,45	2,90	4,84	7,26
CB	73,70	6,04	1,81	3,61	6,04	9,07
CC	74,43	6,01	1,80	3,60	6,01	9,01
CS	96,39	4,96	1,48	2,97	4,96	7,44

2.2.7 Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância. Para o fator qualitativo as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5 % de probabilidade. Para comparar a testemunha com os demais tratamentos usou-se o teste de Dunnett adotando o nível de 5 % de probabilidade. Para o fator quantitativo foram ajustadas regressões e os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando o teste “t” ao nível de 1 % de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{S.Q. Regressão} / \text{S.Q. Tratamento}$) e no comportamento do fenômeno em estudo. Para algumas das características em estudo, devido a grande variabilidade, optou-se pela análise estatística descritiva. Para auxílio da análise estatística utilizou-se SAEG 9.1 (UFV, 2007).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Difractometria de Raios-X (DRX)

Nos difratogramas de Raios-X, observa-se que o CM e CC (Figuras 1 e 3 respectivamente) são formados predominantemente por dolomita e calcita. O CM apresenta também tremolita em sua formação, conferindo ao corretivo de acidez um aporte maior de Mg^{2+} , quando comparado com a CC, característica observada na caracterização química dos corretivos (Tabela 3), segundo o Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (CPRM, 1997), a reserva de mármore do Espírito Santo trata-se de megalente de mármore e duas outras menores encaixadas em biotita-anfibólio gnaiss, fato que pode estar

condicionando maior aporte de Mg^{2+} ao CM. No CS (figura 4) foram detectados apenas picos de calcita.

O CB (Figura 2), apresenta em sua composição Mg-calcita, quartzo e aragonita, além de micas. Entre o polimorfismo do $CaCO_3$, a calcita é mais comum, sendo o constituinte principal de rochas sedimentares como calcário e metamórficas como o mármore. Em seguida a aragonita, que depende de condições físico-químicas mais específicas para a sua formação. Organismos através do processo de biomineralização, conseguem depositar aragonita em superfícies protéicas com morfologia adequada, a nucleação da calcita ou aragonita é induzida de forma seletiva por proteínas polianiónicas inerente de cada espécie (BESSLER e RODRIGUES, 2008). Em relação aos minerais silicatados, segundo Sampaio e Almeida (2008), talvez, a impureza mais comum nas rochas carbonatadas em todo o mundo seja a argila. Os argilominerais, principalmente caulinita, illita, clorita, esmectita e outros tipos de micáceos, podem estar disseminados por toda a rocha ou, ainda, concentrados em finos leitões no seu interior. Neste contexto, a alumina, em combinação com a sílica, encontra-se nos calcários sob a forma de argilominerais, embora outros aluminossilicatos, em forma de feldspato e mica, possam ser encontrados.

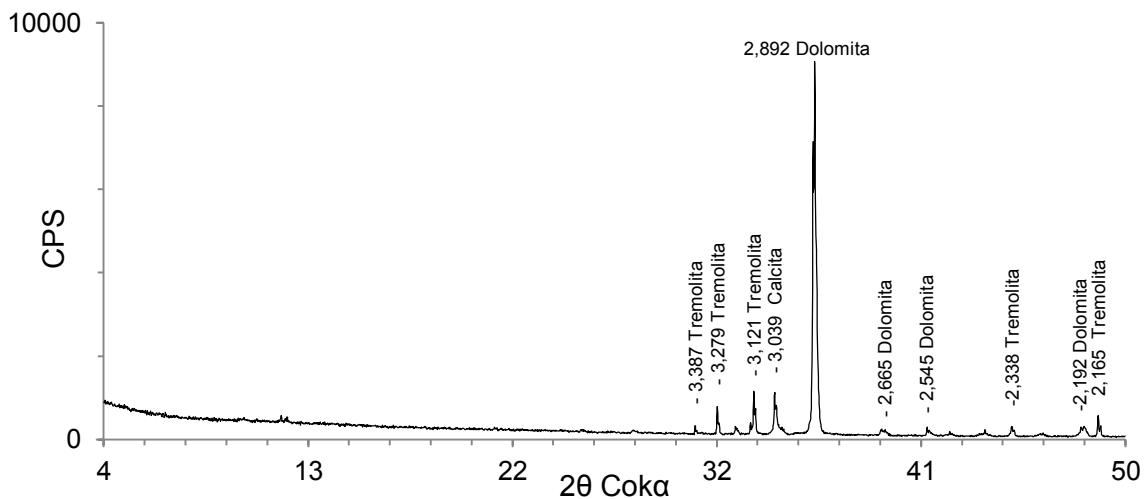


Figura 1. Análise mineralógica do mármore.

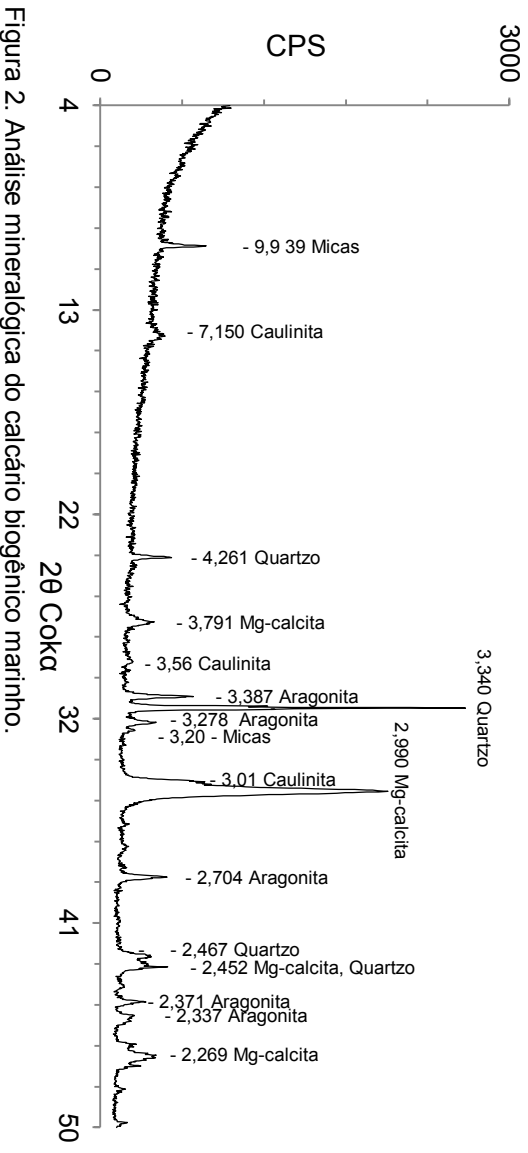


Figura 2: Análise mineralógica do calcário biogênico marinho.

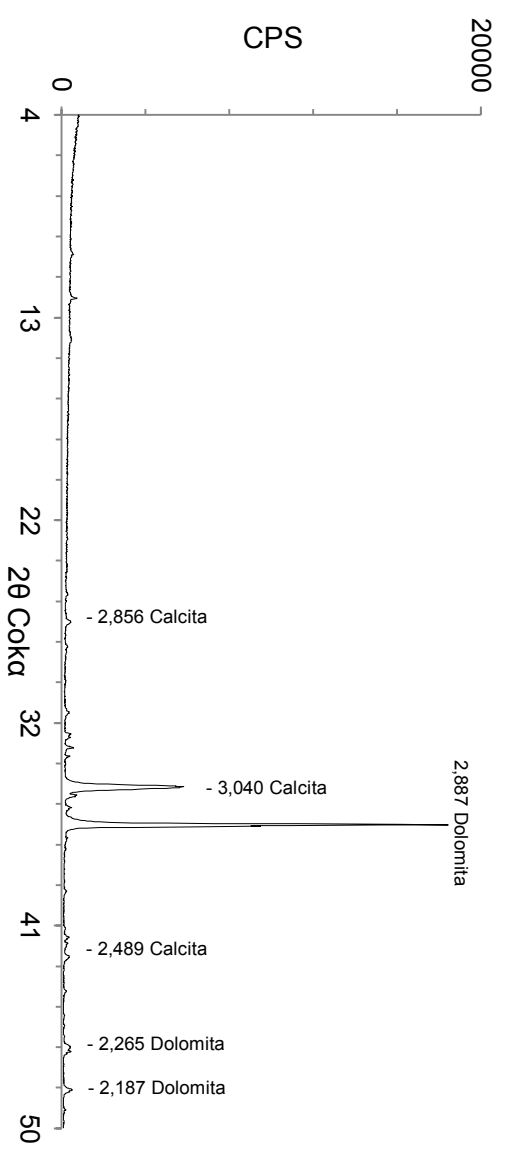


Figura 3: Análise mineralógica do calcário comercial.

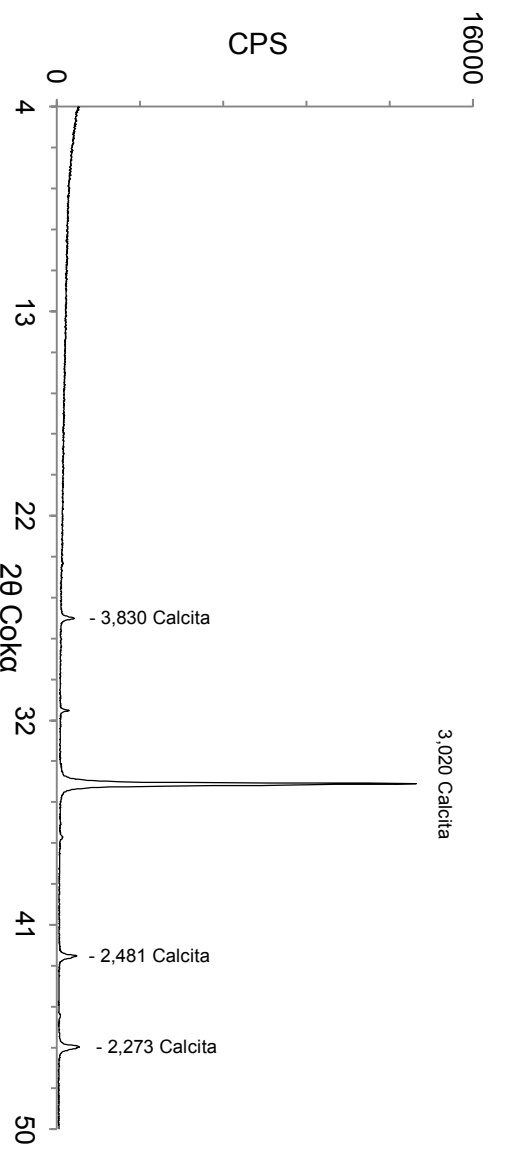


Figura 4: Análise mineralógica do calcário sedimentar.

2.3.2 Caracterização Química e Poder Relativo de Neutralização Total

Na caracterização química dos corretivos de acidez, para os elementos avaliados (Tabela 3), exceto Ca^{2+} e Mg^{2+} , todos os outros elementos avaliados as maiores concentrações foram observados no CB. De acordo com Melo e Moura (2009), as principais características que potencializam as algas calcárias são atribuídas à maior disponibilidade dos micronutrientes que se encontram adsorvidos nas paredes celulares, sendo assim facilmente assimiláveis pelas plantas e animais. Dias (2000) complementa que, as algas calcárias são compostas basicamente por CaCO_3 e MgCO_3 , além de concentrações variáveis de elementos tais como Fe, Mn, B, Ni, Cu, Zn, Mo, Se e Sr.

Maior concentração de Ca^{2+} , foi verificado no CS e maior concentração de Mg^{2+} no CM.

Os resultados da caracterização química e física dos diferentes corretivos de acidez são apresentados na Tabela 4. Todos os corretivos de acidez possuem granulação de calcário “filler”, mais fina que 0,30 mm. O PN dos CM e CS são próximos de 100 %, entretanto, para o CB e CC valores menores foram observados, possivelmente devido a presença quartzo e argilominerais, onde no CB foi possível observar através da difratometria de Raios-X a presença de quartzo e alguns argilominerais. Entretanto para CC na difratometria de Raios-X não foi detectado minerais silicatados, porém na caracterização química, apresentado na Tabela 4, teores similares de Si foram detectados tanto no CB como no CC.

Tabela 3. Teores médios e desvios padrão dos teores Al, Ca, K, Mg, Na, P, Fe, Zn, Cu, Mn, B e Si nos diferentes corretivos de acidez

Corretivo de acidez	Al	Ca	Mg
	mg/g		
CM	0,614 ± 0,022	262,694 ± 5,305	179,238 ± 3,920
CB	10,541 ± 0,833	283,143 ± 7,760	29,960 ± 1,001
CC	5,624 ± 0,472	274,192 ± 3,299	115,018 ± 3,274
CS	2,688 ± 0,787	403,464 ± 7,063	7,406 ± 0,575
	Na	Zn	Fe
	mg/g		
CM	0,116 ± 0,006	0,009 ± 0,001	0,375 ± 0,042
CB	2,870 ± 0,042	0,013 ± 0,001	11,489 ± 0,235
CC	0,119 ± 0,001	0,012 ± 10 ⁻⁴	2,004 ± 0,006
CS	0,097 ± 0,006	0,007 ± 10 ⁻⁴	1,424 ± 0,036
	Cu	Mn	B
	mg/g		
CM	0,006 ± 10 ⁻⁴	0,008 ± 0,001	0,004 ± 10 ⁻⁴
CB	0,006 ± 10 ⁻⁴	0,379 ± 0,005	0,012 ± 10 ⁻⁴
CC	0,008 ± 10 ⁻⁴	0,064 ± 10 ⁻⁴	0,005 ± 10 ⁻⁴
CS	0,008 ± 10 ⁻⁴	0,046 ± 0,001	0,004 ± 10 ⁻⁴
	K	P	Si
	mg/g		
CM	4,778 ± 0,898	1,406 ± 0,009	11,702 ± 0,312
CB	4,158 ± 0,386	1,786 ± 0,093	65,718 ± 6,890
CC	3,544 ± 0,487	<LD	57,187 ± 1,361
CS	1,773 ± 0,089	<LD	10,044 ± 0,496

<LD= abaixo do limite de detecção do aparelho.

Tabela 4. Caracterização química e física dos diferentes corretivos de acidez

Corretivo de acidez	PRNT	PN	CaO	MgO	Peneira ABNT		
					2,0 mm	0,84 mm	0,3 mm
					%		
CM	98,9	98,9	35,40	13,05	100	100	100
CB	73,7	73,7	43,90	2,91	100	100	100
CC	74,4	74,4	30,80	6,63	100	100	100
CS	96,3	96,3	58,32	0,51	100	100	100

2.3.3 Área superficial específica

Na Tabela 5 observa-se, a área superficial específica dos diferentes corretivos de acidez. Os maiores valores são observados no CB, seguindo do CS. Segundo Melo e Moura (2009), as algas calcárias apresentam elevada porosidade que propicia maior superfície de atuação. Os menores valores são

observados no CM e CC, possivelmente devido à maior cristalinidade, visto que, são rochas metamórficas.

Tabela 5. Área superficial específica dos diferentes corretivos de acidez

Corretivo de acidez	Área superficial específica m ² /g
CM	0,0942
CB	4,0560
CC	1,6830
CS	2,8020

2.3.4 Solubilidade dos diferentes corretivos de acidez em ácido clorídrico

Na Tabela 6, encontram-se os resultados da análise de variância para as variáveis: resíduo de calcário, liberação de cálcio e liberação de magnésio, verifica-se que houve efeito significativo para todas as fontes de variação (P<0,01).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para as variáveis resíduo de calcário, liberação de cálcio (Ca) e liberação de magnésio (Mg)

F.V	G.L	Quadrado médio		
		Resíduo de calcário	Ca	Mg
Bloco	3	0,000032	34,51	5280,5100
Concentração (D)	4	2,499121**	538403,90**	9045,7810**
Corretivo de acidez (C)	3	0,059474**	32987,72**	1234,4150**
D X C	12	0,015743**	8826,61**	0,0698**
Resíduo	57	0,000011	19,40	1,1200
C.V (%)		0,85	1,74	0,05

** F significativo a 1%; C.V(%) - coeficiente de variação.

Verifica-se que entre os corretivos estudados, o CB mostrou-se mais reativo nas concentrações de 0,01 e 0,1 mol/L de HCl (Tabela 7), entretanto com o aumento da concentração de HCl, ocorre o consumo de carbonatos, proporcionando maior geração de resíduo tanto nos CB e CC, em contrapartida os CM e CS por apresentarem maior proporção de CaO e MgO geram menor quantidade de resíduo.

Tabela 7. Valores médios de resíduo de calcário para os diferentes corretivos de acidez e concentrações de HCl avaliadas.

Concentração de HCl mol/L	Corretivo de acidez			
	CM	CB	CC	CS
0,01	0,940 a	0,904 b	0,937 a	0,954 a
0,10	0,741 a	0,686 c	0,714 b	0,720 b
0,50	0,033 c	0,187 b	0,217 a	0,033 c
1,00	0,036 c	0,165 b	0,232 a	0,034 c
2,00	0,034 c	0,165 b	0,237 a	0,030 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Figura 5, nos valores ajustados de resíduo de calcário em função da concentração, observa-se que no CB concentração maior que 0,42 mol/L de HCl consegue solubilizar os carbonatos presentes no corretivo de acidez, e que no CC esse valor assume a concentração maior que 0,29 mol/L, ou seja, a partir desses valores não ocorre mais efeito da concentração sobre a geração de resíduo de calcário. Nos CM e CS, observa-se a influência da área superficial específica (Tabela 5), onde o CS por apresentar uma área superficial específica de 30 vezes maior que o CM, o consumo dos carbonatos ocorre mais rapidamente. Em contrapartida o CM, por ser uma rocha mais cristalina e consequentemente apresentar menor área superficial específica, o HCl encontrou maior dificuldade de solubilizar os carbonatos. Confirmando que a composição química e a gênese do material interferem em sua solubilidade.

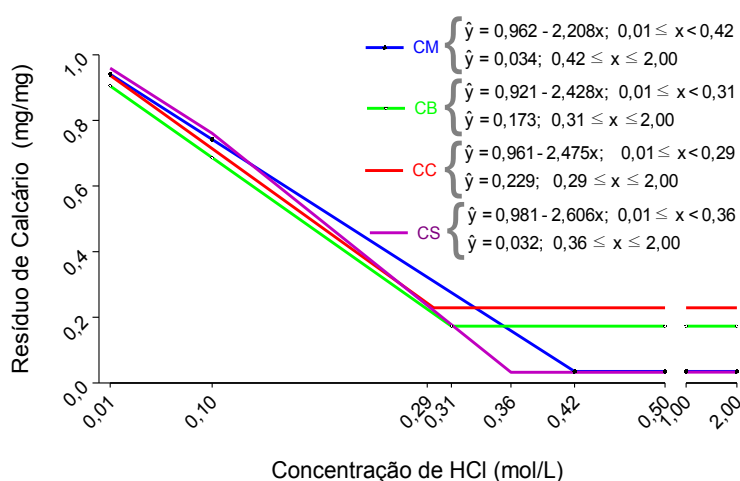


Figura 5. Valores ajustados de resíduo de calcário em função da concentração de HCl para os diferentes corretivos de acidez.

Na Tabela 8, observa-se a liberação de Ca^{2+} dos diferentes corretivos de acidez em função das diferentes concentrações de HCl em mol/L. Na concentração 0,01 mol/L os corretivos CM, CC e CS apresentaram maior liberação de Ca^{2+} em relação ao CB; na concentração de HCl de 0,10 mol/L os corretivos que liberaram mais Ca^{2+} para a solução foram CC e CS e na concentração de 0,50 foram os corretivos CM e CS. Entretanto nas duas últimas concentrações de HCl estudadas, 1,00 e 2,00 mol/L, apenas CS mostrou-se mais eficiente em disponibilizar Ca^{2+} para a solução, visto que, foi o corretivo de acidez que apresentou maior teor de CaO.

Tabela 8. Valores médios de liberação de Ca^{2+} para os diferentes corretivos de acidez e as diferentes concentrações de HCl utilizadas

Concentração de HCl mol/L	Corretivo de acidez			
	CM	CB	CC	CS
0,01	14,279 a	15,347 b	18,559 a	16,448 a
0,10	83,501 c	102,990 b	117,760 a	124,876 a
0,50	321,431 a	307,110 b	267,132 c	323,534 a
1,00	345,076 c	420,121 b	321,298 d	500,081 a
2,00	385,651 c	434,528 b	353,970 d	574,958 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Figura 6, os valores ajustados de liberação de Ca^{2+} em função da concentração de HCl para os diferentes corretivos de acidez, observa-se que com o aumento da concentração de HCl, maior liberação de Ca^{2+} ocorre no CS seguindo pelo CB.

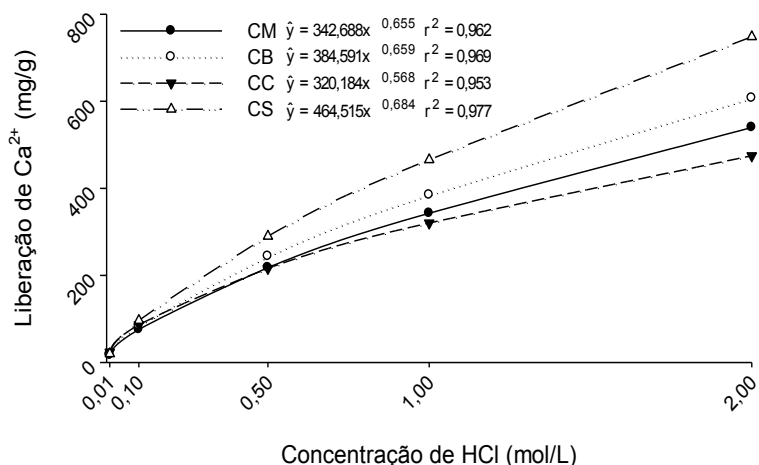


Figura 6. Valores ajustados de liberação de Ca^{2+} em função da concentração de HCl para os diferentes corretivos de acidez.

Na Tabela 9, observa-se a liberação de Mg^{2+} dos diferentes corretivos de acidez em função das diferentes concentrações de HCl em mol/L, para todas as concentrações em estudo o CM disponibilizou mais Mg^{2+} para a solução, uma vez, que entre os corretivos de acidez em estudo, o CM apresentou maior teor de Mg^{2+} .

Tabela 9. Valores médios de liberação de Mg^{2+} para os diferentes corretivos de acidez e diferentes concentrações de HCl utilizadas

Concentração de HCl mol/L	Corretivo de acidez			
	CM	CB	CC	CS
	..... mg/mg			
0,01	1,756 a	1,239 b	0,802 bc	0,518 c
0,10	15,104 a	5,854 b	4,782 c	1,004 d
0,50	63,810 a	16,761 c	46,229 b	3,089 d
1,00	82,796 a	16,997 c	47,007 b	3,227 d
2,00	88,921 a	17,184 c	48,730 b	3,417 d

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Figura 7, os valores ajustados de liberação de Mg^{2+} em função da concentração de HCl para os diferentes corretivos de acidez, observa-se que com o aumento da concentração de HCl, houve maior liberação de Mg^{2+} no CM seguindo pelo CC.

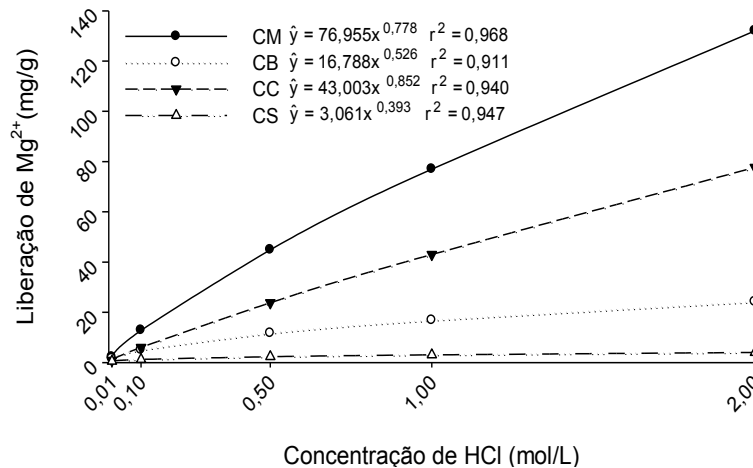


Figura 7. Valores ajustados de liberação Mg^{2+} em função da concentração de HCl para os diferentes corretivos de acidez.

2.3.5 Solo incubado com diferentes corretivos de acidez

Na Tabela 10 encontram-se os resultados da análise de variância para as variáveis: pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P, verifica-se que para a variável pH houve efeito significativo para a fonte corretivo de acidez ($P < 0,05$), para as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , todas as fontes tiveram efeitos significativos ($P < 0,05$) e para a variável P não houve efeito de nenhuma fonte ($P < 0,05$).

Os resultados obtidos foram avaliados considerando a Quinta Aproximação de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes (CFSEMG, 1999). Conforme apresentado na Tabela 1, o solo apresenta alto grau de intemperismo, pobre em nutrientes e elevada acidez.

Tabela 10. Resumo da análise de variância das variáveis: potencial hidrogeniônico (pH), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) fósforo (P) e potássio (K^+) em função do corretivo (C) e da necessidade de calagem (N) e suas interações

F.V	G.L	Quadrado Médio				
		pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	P	K^+
Bloco	2	0,0106	0,0142	0,3396	0,0076	76,25
Corretivo de acidez (C)	3	0,0442 ^{ns}	3,0656**	0,2485ns	0,0730 ^{ns}	21,46ns
Neces. de calagem (N)	3	1,8946**	18,9895**	18,9703**	0,0247 ^{ns}	120,40**
C x N	9	0,0370 ^{ns}	0,3289**	0,4092*	0,0334 ^{ns}	47,55**
Fatorial vs Test	1	2,3264	14,48	21,841	0,0653	62,04
Resíduo	32	0,0237	0,0081	0,1783	0,0281	11,60
C.V.(%)		2,81	3,26	3,31	14,23	6,99

** F significativo a 1%; * F significativo a 5%; ^{ns} não significativo; (Test) testemunha; C.V.(%) - coeficiente de variação.

Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Figura 8, os valores ajustados de pH em função da necessidade de calagem, observa-se que, o pH aumenta linearmente com o aumento dos níveis de necessidade de calagem. Na Tabela 11, os valores médios de pH no solo, para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem, observa-se que, todos os tratamentos que receberam corretivo de acidez apresentam resultados significativos ($p < 0,05$) e superiores à testemunha pelo teste de Dunnett. O pH da testemunha é classificado como baixo, (4,5 - 5,4), entretanto independentemente do corretivo de acidez aplicado no solo, no nível de calagem de interesse agrônômico, 100 % da necessidade de calagem, o pH atingiu valores classificados como bom (5,5 - 6,0) e nos níveis de 150% da necessidade de calagem chegou a valores classificados como alto (6,1 - 7,0).

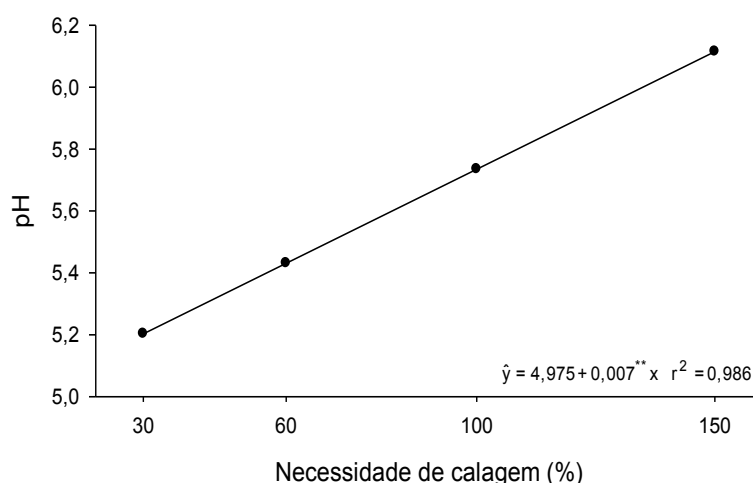


Figura 8. Valores ajustados de pH em função da necessidade de calagem. (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Tabela 11. Valores médios de no pH solo para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
CM	4,61	5,11*	5,35*	5,76*	6,15*
CB	4,61	5,05*	5,30*	6,67*	6,03*
CC	4,61	5,23*	5,40*	5,65*	5,80*
CS	4,61	4,85*	5,33*	5,67*	5,93*

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha diferem da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} no solo

Observa-se que para o nível de 30 % da necessidade de calagem os corretivos CB e CS foram mais eficientes em aportar Ca^{2+} ao solo enquanto para os demais níveis de calagem estudados o CS ofereceu maior aporte deste nutriente ao solo (Tabela 12). Possivelmente tal comportamento esteja relacionado ao maior teor de CaO e também a área superficial específica. Os corretivos de acidez CM e CC apresentam comportamento semelhante no nível de 60 % de necessidade de calagem, aportando menor quantidade de Ca^{2+} ao solo ao solo, visto que, além de apresentarem menores teores de carbonatos, também apresentam menor área superficial específica (Tabelas 4 e 5). Nos níveis de 100 e 150 % de necessidade de calagem os menores valores médios de liberação de Ca^{2+} foram observados no CM.

Observa-se que o teor médio de Ca^{2+} no solo aumenta linearmente com o aumento dos níveis de necessidade de calagem aplicados (Figura 9). Os valores de b_1 das equações apresentadas nesta figura indicam que para cada uma unidade de necessidade de calagem aplicada ao solo os corretivos de acidez CS, CB, CM e CC promovem aumento de 0,029; 0,028; 0,016 e de 0,021 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ de Ca^{2+} no solo, respectivamente.

Para os valores médios de Mg^{2+} obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de calagem, observa-se que para o nível de 30 % de necessidade de calagem não houve diferença entre a aplicação dos diferentes corretivos (Tabela 13). No nível de 60 % de necessidade de calagem, a aplicação do CM, CB ou CC resultou em maior aporte de Mg^{2+} ao solo quando comparados com o CS. Nos níveis de 100 e 150 % da necessidade de calagem, os corretivos que contribuíram com maior aporte de Mg^{2+} foram o CM e CC. O comportamento do CM, possivelmente está relacionado à presença de minerais que apresentam Mg^{2+} em sua composição, como a dolomita e a tremolita (Figura 1).

O ajuste dos teores de Mg^{2+} em função dos diferentes corretivos de acidez e da necessidade de calagem mostra que o teor médio de Mg^{2+} no solo cresce linearmente com o aumento dos níveis de necessidade de calagem (Figura 10). Os valores b_1 indicam que a cada unidade de necessidade de

calagem aplicada ao solo, acarreta aumento de 0,015; em 0,002; 0,007 e de 0,00009 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ de Mg^{2+} quando os solos foram incubados com o CM, CB, CC e CS, respectivamente.

Observou-se também que todos os tratamentos que receberam corretivo de acidez apresentaram teores médios de Ca^{2+} e Mg^{2+} superiores à testemunha pelo teste de Dunnett (Tabelas 14 e 15).

Os corretivos de acidez devem ser escolhidos não apenas por seu poder de neutralização da acidez, mas também pela proporção entre cátions acompanhantes, principalmente relação entre Ca:Mg no material. Entre os corretivos de acidez em estudo, o CM possui relação Ca:Mg de 2,71:1, O CB de 15,08:1, o CC de 4,65:1 e o CS de 114,35:1. Historicamente, o estabelecimento de relações ideais para as plantas entre os cátions de Ca^{2+} e Mg^{2+} foi desenvolvido a partir do trabalho de Bear e Toth (1948), que usaram vinte solos dos EUA e estabeleceram que as relação Ca:Mg ideal seria de 6,5:1. Atualmente, a maioria dos trabalhos considera relações Ca:Mg entre 4:1 para a maioria das plantas cultivadas e 8:1 para algumas menos exigentes, como adequadas para as plantas (MEDEIROS et al., 2008)

Quando aplicados no solo, no nível de necessidade de calagem de interesse agrônômico, todos os corretivos estudados elevaram o nível de Ca^{2+} de muito baixo (0,41 - 1,20 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) para o nível bom (2,41 - 4,00 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). Para o Mg^{2+} , embora o seu nível no solo fosse considerado muito baixo ($\leq 0,15$ $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), a incubação com o CM o elevou para o nível muito bom ($> 1,50$ $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), a utilização do CB e o do CC, para o nível bom (0,91 - 1,50 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), enquanto o CS o elevou para 0,20 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, classificado como nível baixo de Mg^{2+} (0,16 - 0,45 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$).

Resultados mostram que a adição de corretivos da acidez do solo com altas concentrações de cálcio em relação ao magnésio, provoca aumento da saturação do solo por cálcio e pode causar absorção preferencial deste pelas plantas, em detrimento dos íons magnésio e potássio, e provocar desbalanço nutricional, diminuindo a altura e produção de matéria seca de plantas de milho em fase inicial de crescimento (MEDEIROS et al., 2008)

Tabela 12. Valores médios de Ca^{2+} obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
	..... $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$			
CM	1,30 b	1,94 c	2,59 d	3,36 d
CB	1,57 a	2,37 b	3,70 b	4,96 b
CC	1,36 b	2,13 c	3,23 c	3,85 c
CS	1,72 a	2,71 a	3,95 a	5,31 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

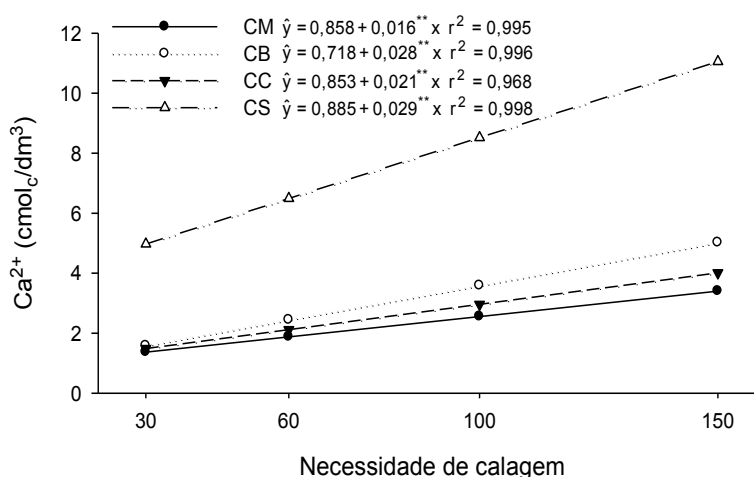


Figura 9. Valores ajustados de Ca^{2+} em função dos diferentes corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (* significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Tabela 13. Valores médios de Mg^{2+} obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
	..... $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$			
CM	0,70 a	1,20 a	1,77 a	1,77 a
CB	0,30 a	0,40 ab	0,50 b	0,50 b
CC	0,47 a	0,75 ab	1,09 ab	1,09 ab
CS	0,20 a	0,19 b	0,19 b	0,19 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

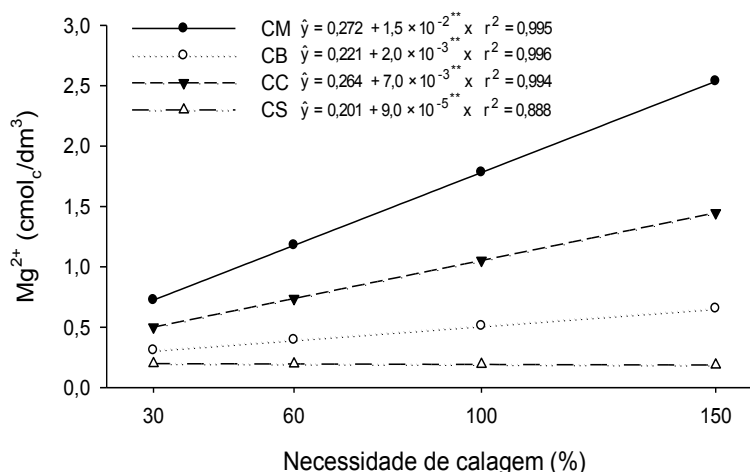


Figura 10. Valores ajustados de Mg^{2+} em função dos diferentes corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Tabela 14. Valores médios de Ca^{2+} no solo para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
	..... $cmol_e/dm^3$				
CM	0,68	1,30*	1,94*	2,59*	3,33*
CB	0,68	1,57*	2,37*	3,70*	4,96*
CC	0,68	1,36*	2,13*	3,23*	3,85*
CS	0,68	1,72*	2,71*	3,95*	5,31*

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Tabela 15. Valores médios de Mg^{2+} no solo para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
	..... $cmol_e/dm^3$				
CM	0,14	0,70*	1,20*	1,77*	2,53*
CB	0,14	0,30*	0,40*	0,50*	0,65*
CC	0,14	0,47*	0,75*	1,09*	1,42*
CS	0,14	0,20	0,19	0,19	0,18

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Teores de K^+ no solo

Observa-se que para os níveis de 30 e 150 % da necessidade de calagem aplicados, independente do corretivo de acidez, não houve diferença entre os teores de K^+ no solo após o período de incubação (Tabela 16). Quando foi aplicado 60 % da necessidade de calagem, CM e CS foram aqueles que

promovem os maiores teores de K^+ no solo. Todavia, no nível de calagem de interesse agrônomo, 100 % da necessidade de calagem, CB e CS foram aqueles mais efetivos para o aumento de K^+ no solo.

Entre os efeitos positivos da calagem, o aumento da atividade microbiota do solo pode atuar na liberação de nutrientes. Arantes et al., 2010, em trabalho com Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico, observaram que a prática da calagem apresentou efeito positivo na atividade microbiana dos solos estudados, e que após a realização da calagem, houve aumento do pH dos solos e maior disponibilidade dos nutrientes. Os mesmos autores afirmam que, provavelmente a calagem foi a responsável pelo maior crescimento e desenvolvimento da microbiota dos solos.

Na Figura 11, observa-se que a aplicação dos diferentes corretivos de acidez sob níveis crescentes de necessidade de calagem proporciona aumento linear dos teores de K^+ no solo quando aplicado CM e CC; enquanto para o CB este comportamento foi quadrático com teor máximo de K^+ para o nível de 111,5 % da necessidade de calagem. Todavia, a aplicação das doses crescentes do CS mantém constante o valor ajustado de K^+ no solo, ou seja, não houve efeito da necessidade de calagem.

Quando comparados à testemunha, apenas alguns tratamentos apresentaram teores mais elevados de K^+ no solo pelo teste de Dunnett (Tabela 17).

Tabela 16. Valores médios de K^+ obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
	..... mg/dm ³			
CM	43,33 a	53,33 a	47,33 b	52,66 a
CB	45,66 a	45,00 b	56,00 a	50,00 a
CC	41,00 a	46,33 b	46,33 b	55,33 a
CS	48,33 a	53,33 a	50,00 a	50,33 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

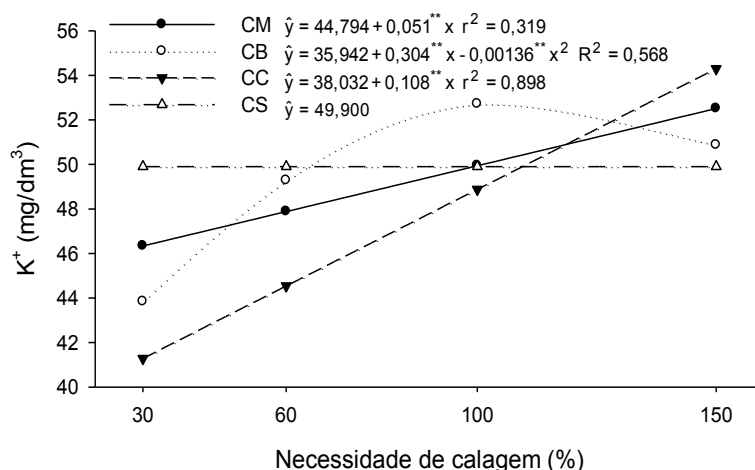


Figura 11. Valores ajustados de K^+ em função dos diferentes corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Tabela 17. Teores médios de K^+ no solo para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
		..... mg/dm ³			
CM	44,33	43,33	53,33*	47,33	52,66*
CB	44,33	45,66	45,00	56,07*	50,00
CC	44,33	45,07	46,33	46,33	55,33*
CS	44,33	48,33	53,33*	50,00	50,33

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Na Tabela 18 encontram-se os resultados da análise de variância para as variáveis: H+Al, P-rem, SB, V, e CTC, verificam-se que para as variáveis H+Al, SB, V e CTC, todos as fontes foram significativas ($P < 0,05$) e para a variável P-rem não houve efeito de nenhuma fonte ($P < 0,05$).

Tabela 18. Resumo da análise de variância das variáveis: acidez potencial (H+Al), fósforo remanescente (P-rem), soma de base (SB), saturação por base (V) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC efetiva) em função do corretivo (C) e da necessidade de calagem (N) e suas interações

F.V	G.L	Quadrado Médio				
		H+Al	P-rem	SB	V	CTC efetiva
Bloco	2	0,000003	9,18	0,01027	5,44	0,0165
Corretivo de acidez (C)	3	4,267100**	0,52 ^{ns}	0,1920**	14,83**	0,1407**
Neces. de calagem (N)	3	1,345512**	7,11 ^{ns}	30,7206**	2570,05**	23,2393**
C x N	9	0,358202**	6,54 ^{ns}	0,0440**	7,73**	0,0752**
Fatorial vs Test	1	1,159500	32,96	24,0344	2309,39	9,6991
Resíduo	32	0,000600	4,39	0,0100	2,31	0,0108
C.V.(%)		6,58	12,77	2,76	4,25	2,70

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo; (test) testemunha; C.V (%) - coeficiente de variação.

Acidez potencial (H+Al)

As amostras de solo tratadas com o corretivo de acidez CB apresentaram valores médios menores de H+Al no nível de 30 % quando comparados aos demais corretivos de acidez estudados (Tabela 19). Nos níveis de 60 e 100% de necessidade de calagem os menores valores médios foram observados nas amostras tratadas com CM. No nível de 150 %, não houve diferença entre os corretivos.

A aplicação dos níveis crescentes de calagem promoveu decréscimo dos valores de H+Al. Também pode ser observado através do coeficiente b1 das equações ajustadas que o aumento de uma unidade da necessidade de calagem utilizando os corretivos de acidez CM, CC, CB e CS promoveram redução de 0,026; 0,027; 0,024 e 0,024 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ nos valores de H+Al, respectivamente (Figura 12).

Observa-se também que todos os tratamentos que receberam corretivo de acidez apresentaram valores menores de H+Al quando comparados à testemunha pelo teste de Dunnett (Tabela 20).

Vale ressaltar que independente do corretivo de acidez estudado, no nível de calagem de interesse agrônômico, 100 % da necessidade de calagem, estes corretivos foram efetivos em diminuir a acidez potencial do nível muito alto apresentado na testemunha ($> 9,00 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) para valores classificados como médio (2,51 - 5,00 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) (Tabela 19).

Tabela 19. Valores médios de H+Al obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
	..... cmol _e /dm ³			
CM	7,73 a	5,66 d	4,40 d	4,39 a
CB	6,90 c	5,96 a	4,56 b	4,35 a
CC	6,96 b	5,73 c	5,23 a	4,43 a
CS	6,33 d	5,90 b	4,46 c	4,27 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

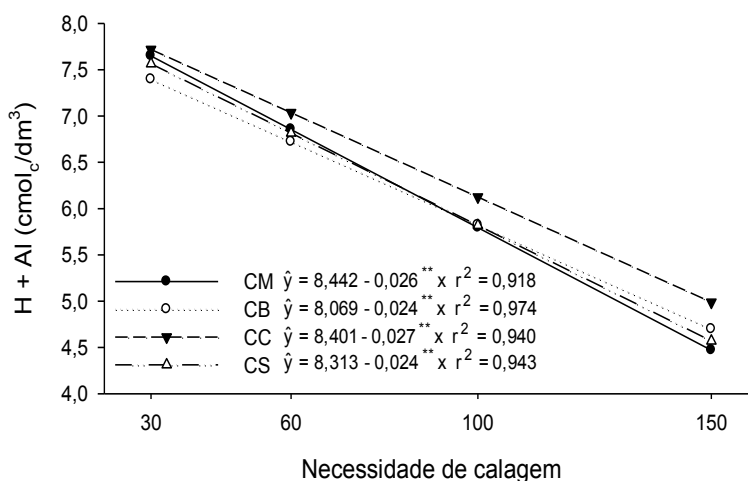


Figura 12. Valores ajustados de H+Al em função dos diferentes corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Tabela 20. Valores médios de H+Al em cmol_e/dm³ no solo para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
	..... cmol _e /dm ³				
CM	9,03	7,73*	5,66*	4,40*	4,39*
CB	9,03	6,90*	5,96*	4,56*	4,35*
CC	9,03	6,96*	5,73*	5,23*	4,43*
CS	9,03	6,33*	5,90*	4,46*	4,27*

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Soma de Base (SB) e CTC efetiva

As amostras de solo tratadas com o CM apresentaram o maior valor médio de SB nos níveis de 60 e 100 % da necessidade de calagem quando comparado aos demais corretivos de acidez (Tabela 21). Para o nível de 30 % não houve diferença entre os corretivos enquanto para o nível de 150 % da necessidade de calagem o maior valor observado foi para CC .

Observou-se que ocorre um aumento linear da SB com o aumento dos níveis de necessidade de calagem aplicados (Figura 13). Em média o maior acréscimo foi proporcionado pela aplicação de CM.

A aplicação dos níveis de 30 e de 100 % da necessidade de calagem via os diferentes corretivos de acidez estudados não diferença nos valores de CTC das amostras de solo (Tabela 22). Para o nível de 60 % os maiores valores médios foram observados nas amostras tratadas com CM e com CC, enquanto para o nível de 150 % da necessidade de calagem, os maiores valores médios foram observados para o CM.

A aplicação dos diferentes corretivos estudados promoveu aumento linear da CTC efetiva com o aumento dos níveis de necessidade de calagem (Figura 14). Em média o maior acréscimo foi proporcionado pela aplicação de CM e de CB.

Independente do corretivo de acidez e da dose aplicada, os valores médios de SB (Tabela 23) e CTC efetiva no solo (Tabela 24) foram maiores nas amostras de solo que receberam estes tratamentos comparativamente à testemunha pelo teste de Dunnett.

Todas as fontes de corretivo estudadas conseguiram no nível de calagem de interesse agrônômico, 100 % da necessidade de calagem, aumentar a SB do nível baixo, apresentado na testemunha ($0,61 - 1,80 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$) para valores classificados como altos ($5,43 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$). Para CTC efetiva este aumento foi do nível baixo, apresentado na testemunha ($\leq 0,80 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$) para valores classificados como bom ($4,61 - 8,00 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$).

Tabela 21. Valores médios de SB obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
	..... cmol _e /dm ³			
CM	2,12 a	3,28 a	6,03 a	7,26 c
CB	2,00 a	2,89 b	5,75 b	7,20 d
CC	1,94 a	3,00 b	5,41 c	7,93 a
CS	2,05 a	3,04 b	5,63 bc	7,86 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

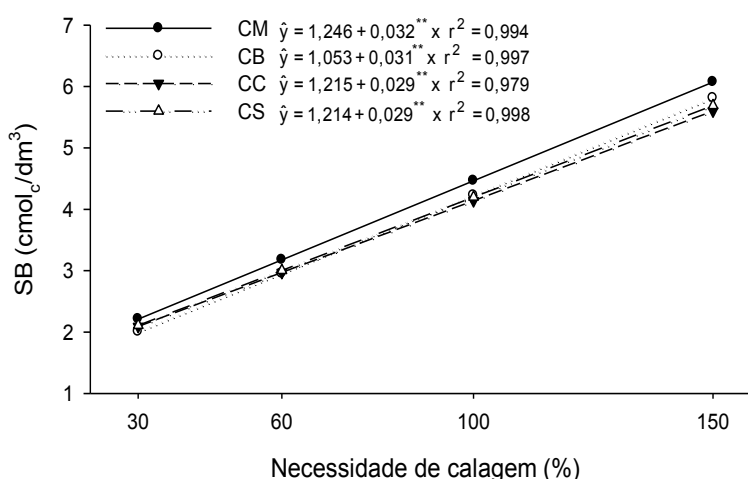


Figura 13. Valores ajustados de SB em função dos diferentes corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Tabela 22. Valores médios de CTC efetiva em cmol_e/dm³ efetiva obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
	..... cmol _e /dm ³			
CM	2,50 a	3,47 a	4,48 a	6,03 a
CB	2,48 a	2,99 c	4,45 a	5,57 b
CC	2,51 a	3,29 ab	4,43 a	5,41 c
CS	2,63 a	3,14 bc	4,27 a	5,63 bc

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

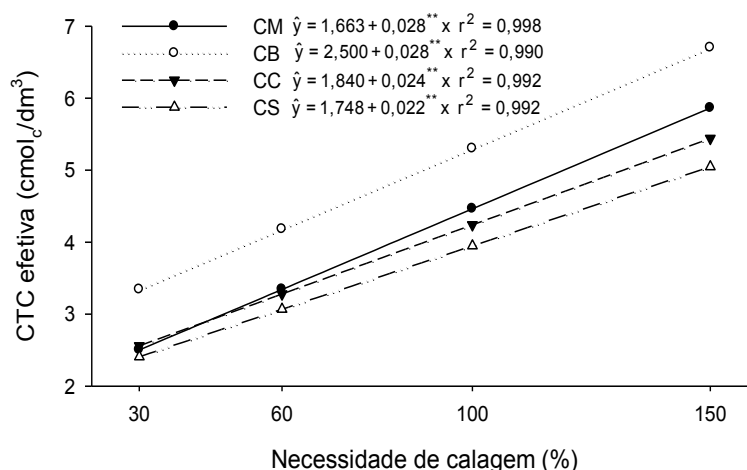


Figura 14. Valores ajustados de CTC efetiva em função dos diferentes corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Tabela 23. Valores médios de SB em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 [†]	30	60	100	150
	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$				
CM	0,87	2,12*	3,28*	6,03*	7,26*
CB	0,87	2,00*	2,89*	5,75*	7,20*
CC	0,87	1,94*	3,00*	5,41*	7,93*
CS	0,87	2,05*	3,04*	5,63*	7,86*

[†] Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett

Tabela 24. Valores médios de CTC efetiva para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 [†]	30	60	100	150
	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$				
CM	2,11	2,50*	3,47*	4,48*	6,03*
CB	2,11	2,48*	2,99*	4,35*	5,75*
CC	2,11	2,51*	3,29*	4,43*	5,41*
CS	2,11	2,63*	3,14*	4,27*	5,63*

[†] Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Saturação por base (V)

Em relação à saturação por bases, os corretivos de acidez apresentaram comportamento semelhante em todos os níveis de necessidade de calagem, exceto no nível de 150 %, onde os valores médios foram menores para o CS

(Tabela 25). Entretanto, não houve elevação da saturação por base de forma satisfatória, 60 %, ideal para a cultura do milho, o que se deve ao fato de o método de recomendação de calagem utilizado ser suficiente para neutralização do Al tóxico às plantas e para elevar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} apenas.

Na Figura 15 observa-se que, para todos os corretivos analisados, ocorreu o aumento linear de V com o aumento dos níveis da necessidade de calagem para todos os corretivos avaliados. Em média o maior acréscimo foi proporcionado pela aplicação de CM.

Também pode ser observado na Tabela 26, que todos os tratamentos que receberam aplicação dos corretivos de acidez apresentaram valores médios de V no solo maiores quando comparados à testemunha, que não recebeu aplicação de corretivo de acidez, mostrando a eficiência da calagem em aumentar os valores de V.

Tabela 25. Valores médios de V obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
%.....			
CM	22,59 a	30,64 a	44,25 a	57,82 a
CB	21,81 a	29,62 a	42,18 a	55,74 a
CS	19,69 a	30,16 a	43,72 a	50,85 b
CC	20,80 a	32,31 a	42,05 a	54,89 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Tabela 26. Valores médios de V para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
%.....				
CM	8,85	22,59*	30,64*	44,25*	57,82*
CB	8,85	21,81*	29,62*	42,18*	55,74*
CC	8,85	19,69*	30,16*	43,72*	50,85*
CS	8,85	20,86*	32,31*	42,05*	54,89*

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

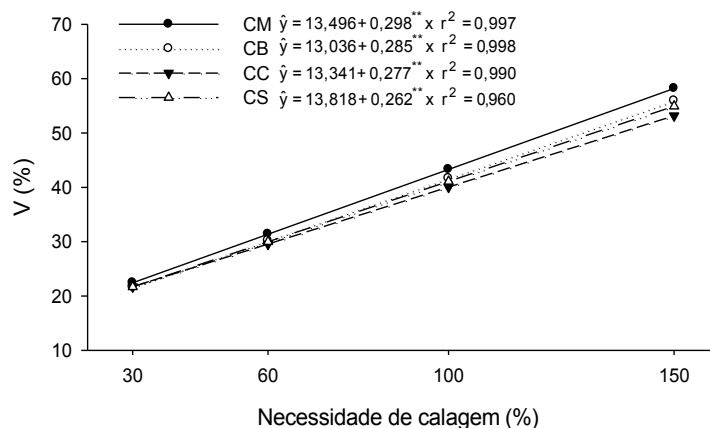


Figura 15. Valores ajustados de V em função dos diferentes corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Micronutrientes

O resumo da análise de variância para as variáveis Fe, Zn, Cu, Mn e B são apresentados na Tabela 27. Para Todas as variáveis não houve efeito significativo de nenhuma fonte de variação.

Tabela 27. Resumo da análise de variância das variáveis: Ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B) em função do corretivo (C) e da necessidade de calagem (N) e suas interações

F.V	G.L	Quadrado Médio				
		Fe	Zn	Cu	Mn	B
Bloco	2	8238,88	0,0232	0,0138	5,79	0,0355
Corretivo de acidez (C)	3	630,79 ^{ns}	0,0053 ^{ns}	0,0014 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,0076 ^{ns}
Neces. de calagem (N)	3	2104,82 ^{ns}	0,0035 ^{ns}	0,0090 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,0202 ^{ns}
C x N	9	638,46 ^{ns}	0,0118 ^{ns}	0,0051 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,0054 ^{ns}
Trat vs Test	1	4564,35	0,0077	0,0113	1,34	0,0633
Resíduo	32	1107,13	0,0029	0,0066	0,56	0,0042
C.V(%)		23,36	7,38	13,56	14,77	14,49

^{ns} não significativo; tratamento (trat); testemunha (test); C.V(%) - coeficiente de variação.

Em relação ao CM, que poderia fornecer algum micronutriente ao solo, visto que, entre os corretivos estudados foi aquele que apresentou em sua composição maior teor de micronutrientes, conforme observado na Tabela 3, Miranda (1985) estudou a utilização de um calcário magnesiano comercial e dois calcários marinhos (Lithothamne C e Lithothamne 400), de procedência francesa, como corretivos da acidez do solo para a cultura do milho-grão. O

mesmo autor concluiu que os calcários marinhos são viáveis como corretivos da acidez do solo quando aplicados em quantidades semelhantes às do calcário comercial, e que seu uso não dispensaria a aplicação de micronutrientes para solos deficientes nesses elementos.

Saturação por alumínio (m) e Acidez trocável (Al³⁺)

Observa-se que todos os corretivos de acidez quando aplicados ao solo proporcionaram redução dos valores médios de saturação de alumínio e da acidez trocável, quando comparados com os valores médios da testemunha, que não recebeu corretivo de acidez. No nível da necessidade de calagem de interesse agrônômico (100 %), a aplicação de qualquer dos corretivos de acidez reduziu o teor de Al³⁺ do nível médio (0,51 a 1,00 cmol_c/dm³) para o nível muito baixo (0,1 a 0,0 cmol_c/dm³) (Tabela 28). O mesmo foi observado no comportamento de m, em que todos corretivos testados levaram este parâmetro do alto (50,1 a 75,0%) para o nível muito baixo (<15%) (Tabela 29).

Tabela 28. Valores médios e desvios padrão da acidez trocável (Al³⁺) para os diferentes corretivos de acidez e níveis de necessidade de calagem após 90 dias de reação

Necessidade de calagem	Corretivo de acidez			
	CM	CB	CC	CS
%	..... cmol _c /dm ³			
0*	1,23 ± 0,10	1,23 ± 0,10	1,23 ± 0,10	1,23 ± 0,10
30	0,48 ± 0,09	0,48 ± 0,22	0,57 ± 0,09	0,58 ± 0,10
60	0,19 ± 0,01	0,10 ± 0,14	0,29 ± 0,01	0,10 ± 0,10
100	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
150	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0

* Testemunha.

Tabela 29. Valores médios de saturação por alumínio (m) para as diferentes combinações de corretivo de acidez e níveis de necessidade de calagem após 90 dias de reação

Necessidade de calagem	Corretivo de acidez			
	CM	CB	CC	CS
%	%			
0,0*	58,33 ± 1,23	58,33 ± 1,23	58,33 ± 1,23	58,33 ± 1,23
30	15,30 ± 2,84	19,35 ± 0,33	22,92 ± 1,00	22,16 ± 0,72
60	5,47 ± 0,07	3,34 ± 0,06	8,81 ± 0,210	3,19 ± 0,15
100	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
150	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0

* Testemunha.

2.4 CONCLUSÕES

Entre os corretivos de acidez, os que apresentam maiores valores de PRNT são o calcário metamórfico (CM) e o sedimentar (CS), os menores valores foram detectados no calcário biogênico (CB) e no comercial (CC). Entre os corretivos estudados, o CS apresentou maiores teores de CaO e o CM maiores teores de MgO.

Na análise mineralógica são observados além de calcita e dolomita nos corretivos de acidez, presença de minerais silicatados no calcário biogênico.

Nas menores concentrações de ácido clorídrico, o CB mostra-se mais reativo, enquanto nas maiores concentrações de ácido clorídrico o CS é aquele que apresenta maior reatividade. Na presença de ácido clorídrico o calcário sedimentar liberou mais Ca^{2+} e o metamórfico mais Mg^{2+} .

Quando aplicados no solo, todos os corretivos aumentam o pH do solo, dentro da faixa ideal para o desenvolvimentos das espécies vegetais cultivadas.

O corretivo de acidez que apresenta a relação Ca:Mg mais próximo do ideal, segunda a literatura é o CC. No solo, o CS aportou mais Ca^{2+} e o CM mais Mg^{2+} .

Independente do corretivo de acidez utilizados, a aplicação do nível de 100 % da necessidade de calagem proporciona valores de H^+Al , SB, CTC efetiva, V, m e Al^{3+} classificados como bons para o desenvolvimneto das espécies cultivadas.

3. CAPÍTULO 2. RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DE MÁRMORE E SEU USO NA AGRICULTURA

3.1 INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais apresenta grande importância para a indústria brasileira. O Brasil destaca-se entre os cinco maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais, mundialmente. Dentre elas, destaca-se o mármore, o granito, o diorito, e o gnaisse, comercialmente conhecidos por mármore e granito. A ocorrência de mármore no Sul Estado do Espírito Santo se distribuem em uma área de aproximadamente 180.000 ha, abrangendo os municípios de Cachoeiro de Itapemirim, Vargem Alta e Castelo, sendo que, em Cachoeiro de Itapemirim e Vargem Alta, os mármore afloram continuamente, constituindo-se um maciço de cerca de 20 x 8 km, além de outros corpos com menores dimensões (CPRM, 1997). Essa região é reconhecida como um dos principais polos produtores de mármore ornamentais do Brasil (MOREIRA et al., 2005), com extração anual de 800 mil m³ de rochas ornamentais e geração de 130 mil empregos diretos ou indiretos. Constitui 80 % do mercado nacional e é responsável por 78 % das exportações. De janeiro a julho de 2013, a produção foi de 4,5 milhões de t, ou 50 % da produção nacional. (VITORIA STONE FAIR, 2014).

Entretanto como qualquer atividade exploratória de recurso natural, não são oferecidos apenas benefícios, concomitante aparecem os problemas ambientais, como a degradação do solo, contaminação de água e poluição atmosférica, poluição visual, geração de resíduos finos, estes principalmente no processo de beneficiamento. A proporção de desperdício durante o extração de blocos nas pedreiras varia de 40 a 60 % do volume total de produção. E no processo de beneficiamento está em torno de 30 a 35 %, variando de acordo com a tecnologia de corte dos blocos (CELIK e SABAH, 2008 citados por TOZSIN et al., 2014). Estes resíduos podem alcançar rios, lagos, córregos e até mesmo os reservatórios naturais de água, pois, de modo geral, são depositados no ecossistema sem nenhum tratamento prévio (SILVA, 2011).

O mármore é uma rocha metamórfica, contendo basicamente calcita e dolomita (SEGADÃES et al., 2005). Nesse contexto, os resíduos gerados do seu

beneficiamento apresentam potencial para ser utilizados como corretivo de acidez do solo (XENIDIS et al., 2002 , KARASAHIN TERZI, 2007, BILGIN et al., 2012), com a vantagem de diminuir a quantidade de rejeito a ser descartado no ambiente, além de agregar valor a um resíduo indesejável.

Em trabalho com resíduos de pedreira e do corte de mármore, Tozsin et al. (2014) concluíram que os resíduos do corte de mármore, e especialmente, os resíduos de mármore oriundos da pedreira poderiam ser usados como alternativa ao calcário agrícola para a neutralização da acidez do solo.

Baldotto et al. (2007), em trabalho com resíduos de marmorarias, concluíram que a neutralização da acidez do solo, a disponibilidade de Ca^{2+} e de Mg^{2+} e o crescimento inicial do milho foram semelhantes em resposta à aplicação do calcário comercial e resíduo de marmoraria. Estes autores mostraram que os resíduos de marmorarias podem ser utilizados como corretivo e fonte de nutrientes para o cultivo de plantas de milho, com ação semelhante a do calcário comercial.

Raymundo et al. (2013), trabalhando com dois resíduos de marmoraria, observaram valores de pH no solo superiores com a utilização de resíduo de marmoraria obtido por teares de lâminas de diamante comparativamente ao uso do calcário comercial e do resíduo de marmoraria obtido por teares de lâminas de ferro.

Machado et al. (2010), avaliando a produção de matéria seca e a concentração de nutrientes na planta em café arábica e no solo, em função dos diferentes corretivos (calcário, resíduos de mármore e resíduos de rocha) mostraram que não houve diferenças na produção de matéria seca total, matéria seca do caule e matéria seca da folha do cafeeiro, em função do tipo de corretivo estudado. Em relação à concentração de nutrientes na planta e no solo, observaram-se diferenças na concentração de Mg^{2+} no solo e na planta, com valores superiores quando da utilização do resíduo de rocha comparado ao calcário.

Segundo Coelho (2004), os fatores que influenciam na eficiência dos corretivos agrícolas e conseqüentemente na qualidade são o valor neutralizante e a granulometria. O valor neutralizante é fundamental, porém, devido à baixa solubilidade em água dos corretivos, a granulometria assume papel importante uma vez que sua dissolução fica na dependência da umidade do solo. Diante do

exposto os resíduos do processo de polimento por apresentarem menor granulometria, podem apresentar comportamento diferente, dos resíduos do processo de serrada do mármore, por possuírem granulometria maior.

O objetivo deste trabalho é avaliar a diferença no comportamento dos resíduos gerados em processos de serrada e beneficiamento do mármore quando aplicados como corretivo de acidez.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização

O trabalho experimental foi realizado no Laboratório de Geoquímica e em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, MG.

3.2.2 Coleta do material de pesquisa

O resíduo de polimento de mármore (RP) e o resíduo de serraria de mármore (RS) foram coletados em uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais localizada em Cachoeiro de Itapemirim- Espírito Santo.

O calcário comercial (CC) é oriundo da exploração realizada na região compreendida no Terreno Oriental da Faixa Ribeira, Domínio Italva, Formação São Joaquim, localizada no município de Italva, RJ e foi adquirido no comércio local de Viçosa, MG.

3.2.3 Preparo das amostras

Todos os corretivos de acidez foram homogeneizados e quarteados em porções menores para caracterização e montagem dos experimentos. Todas as amostras foram colocadas em estufa a 105 °C por no mínimo 24 horas em seguida resfriadas em dessecador.

3.2.4 Caracterização dos corretivos de acidez

Para se determinar o poder relativo de neutralização total (PRNT) dos corretivos de acidez foi utilizado o procedimento padrão pela IN 28-2007 (BRASIL, 2007).

O PN de cada corretivo estudado foi determinado pelo método da titulação ácido-base, segundo norma do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, com quatro repetições (BRASIL, 2007). A reatividade foi calculada a partir dos resultados da composição granulométrica conforme BRASIL (2007).

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e dos micronutrientes disponíveis Fe, B, Cu, Mn e Zn em cada material em estudo foram obtidos segundo norma do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, com quatro repetições (BRASIL, 2007). A dosagem destes elementos foi feita em espectrômetro de absorção atômica (AAS) e B por fotolorimetria.

Para a caracterização a determinação dos teores de Al, K, P, Na e Si foi utilizada a fusão alcalina, seguindo o procedimento descrito por Pansu e Gautheyrou (2003), adaptado por Guerra et al. (2013). A dosagem destes elementos foi realizada em espectrômetro de emissão ótica acoplado ao plasma induzido (ICP-OES).

Para a área superficial específica foi utilizada a método B.E.T. (Brunauer, Emmett, Teller) utilizando o aparelho NOVA instrument (Quantachrome. Instruments version 10.01).

Foi determinada a concentração total de metais pesados presente nos resíduos de beneficiamento do mármore, conforme métodos conhecidos para determinação de metais pesados em fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionantes de solo e substrato para plantas definidos pela instrução normativa nº 24 de 20 de junho de 2007 da Secretária de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento MAPA (BRASIL, 2007). Os valores médios obtidos para os corretivos de acidez foram comparados com os limites de concentração máxima estabelecidos pela U.S.EPA - 40 CFR Part. 503 (uso agrícola), que são os mesmo limites adotados pela CETESB, (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental).

3.2.5 Ensaio de solubilidade em ácido clorídrico

Após a padronização granulométrica das amostras em peneira com abertura de 0,053 mm, foi pesado um 1 g de corretivo e colocado em erlenmeyer de 125 mL. Foram adicionados 50 mL de HCl nas concentrações de 0,01; 0,10; 0,50; 1,00 e 2,00 mol/L, com quatro repetições cada. O tempo de reação foi de 12 horas, período no qual as amostras foram agitadas a cada hora por 15 minutos em agitador de 200 oscilações por minuto.

Após o período de reação, as soluções contendo as amostras de calcário, foram filtradas em papel de filtro quantitativo de filtragem lenta. No filtrado foram determinados os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} através da espectroscopia de absorção atômica. Após a filtragem, os papéis de filtro contendo os resíduos foram levados à mufla a 500 °C, por uma hora. Por diferença de massa antes do ataque ácido e pós mufla foi possível determinar o resíduo de calcário. Metodologia adaptada de Amaral Sobrinho et al, (1992).

3.2.6 Experimento de Incubação

O solo foi coletado no município de Viçosa, MG, na camada de 0-20 cm e seco ao ar, destorroado, passado em peneira com abertura de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e realizada a caracterização física e química (EMBRAPA, 2011). A interpretação das características químicas e físicas seguiu a Quinta Aproximação (CFSEMG, 1999), dados apresentados na (Tabela 1).

Os corretivos foram incubados com amostras de Latossolo Vermelho Amarelo. Os corretivos foram aplicados no solo ainda seco e homogeneizados em todo o volume de solo. Os tratamentos, foram arrançados num esquema fatorial (3 x 4) + 1, sendo três corretivos de acidez (RP, CC e RS), quatro níveis de necessidade de calagem (30, 60, 100 e 150 %) e um controle, sem aplicação de corretivo de acidez, que foram distribuídos em blocos casualizados, com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um saco plástico, com capacidade de 1 dm³ e foram distribuídas em bancada.

Com base nos resultados de análise química dos corretivos de acidez foi determinada a necessidade de calagem (NC) para o solo, utilizando-se o método

da neutralização de Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (ALVAREZ e RIBEIRO, 1999). Para fins de cálculo foi considerada a cultura do milho. Para calcular a quantidade de corretivo a ser aplicado considerou-se o PRNT dos diferentes corretivos em estudo, conforme Tabela 2.

As unidades permaneceram incubadas por 90 dias. Ao final foi obtida a TFSA e realizada a determinação do pH em água, na relação solo:solução 1:2,5; Ca^{2+} e Mg^{2+} (extração com KCl 1 mol/L); acidez trocável por titulação (extração com KCl 1 mol/L) e acidez potencial, igualmente por titulação (extração com solução de $Ca(Ac)_2$ 0,5 mol/L a pH 7, relação solo:solução 1:15) (EMBRAPA, 2011).

A umidade do solo foi mantida entre 60 e 80 % da capacidade de campo, por meio de pesagem e reposição de água. Os sacos plásticos foram mantidos ligeiramente abertos para permitir as trocas gasosas.

Tabela 1. Atributos físicos, químicos e interpretação do solo utilizado no experimento

Atributos	Unidade	Valor	Interpretação
Densidade do solo	kg/dm ³	1,20	-
Densidade de partículas	kg/dm ³	2,60	-
Equivalente de umidade	kg/kg	0,286	-
Textura	% de argila	68,00	Muito argilosa
pH H ₂ O	-	5,24	Baixo
P	mg/dm ³	1,20	Muito baixo
K	mg/dm ³	43,00	Médio
Ca^{2+}	cmol _c /dm ³	0,63	Baixo
Mg^{2+}	cmol _c /dm ³	0,14	Muito baixo
Al^{3+}	cmol _c /dm ³	1,40	Alto
H + Al	cmol _c /dm ³	9,70	Muito alto
SB	cmol _c /dm ³	0,88	Baixo
CTC efetiva	cmol _c /dm ³	2,28	Baixo
CTC potencial	cmol _c /dm ³	10,58	Bom
V	%	8,30	Muito baixo
m	%	61,40	Alto
MO	dag/kg	4,78	Bom
P-Rem	mg/L	12,30	Muito baixo

Densidade do solo: Método da proveta; Densidade de partículas: Método do balão volumétrico; Equivalente de umidade: Método da centrífuga; Textura: Método da pipeta; pH em água Relação 1:2,5; P - K - Extrator Mehlich-1; Ca^{2+} - Mg^{2+} - Al^{3+} - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black.

Tabela 2. Quantidade de corretivo aplicado em função do PRNT e níveis de necessidade de calagem

Fonte de corretivo	PRNT	QC	Necessidade de calagem (%)			
			30	60	100	150
	%	.....t/ha.....				
RP	100,03	4,470	1,340	2,681	4,470	6,705
CC	74,43	6,011	1,803	3,607	6,011	9,017
RS	95,91	4,690	1,407	2,814	4,690	7,035

3.2.7 Análises estatísticas

Os dados foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão. Para o fator qualitativo as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para comparar a testemunha com os demais tratamentos usou-se o teste de Dunnett adotando o nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando o teste “t” ao nível de 1% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{S.Q. Regressão} / \text{S.Q. Tratamento}$) e no comportamento do fenômeno em estudo. Para algumas das características em estudo, devido a grande variabilidade, optou-se pela análise estatística descritiva. Para auxílio da análise estatística utilizou-se SAEG 9.1 (UFV, 2007).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Caracterização química e física

Os resultados da caracterização química e física dos corretivos de acidez são mostrados na Tabela 3. Todos apresentam a granulação de calcário “filler, mais fina que 0,30 mm. Pôde-se observar que 5 % do RS encontrava-se com granulometria entre 0,074 mm e 0,053 mm e que 100 % do RP encontrava-se com granulometria menor que 0,053 mm. Por motivos técnicos não foram realizadas demais classificações. A diferença na granulometria do material já era esperada, pois o processo de polimento é uma etapa de acabamento onde a placa de rocha é tratada de forma mais cuidadosa com a passagem continuada de polidores para uniformização e brilho de sua superfície. A serraria é um processo inicial de corte de blocos e é realizada por serras de ferro, com a

Tabela 4. Valores médios de metais pesados nos diferentes corretivos de acidez

Corretivo de acidez	As	Cd	Cr	Ni	Pb	Se
	..... mg/g					
RP	0,002	0,0002	0,001	0,002	<LD	<LD
CC	0,002	0,0002	0,009	0,003	<LD	<LD
RS	<LD	0,0001	0,023	0,009	<LD	<LD
Conc. Máx. U.S.EPA 40	0,075	0,085	---	0,420	0,085	0,100

< LD= Abaixo do limite de detecção do aparelho.

Tabela 5. Valores médios e desvios padrão dos teores totais nos diferentes corretivos de acidez

Corretivo de acidez	Al	Ca	Mg
	..... mg/g		
RP	0,882 ± 0,050	259,459 ± 4,526	171,129 ± 4,187
CC	5,624 ± 1,222	274,192 ± 2,693	115,178 ± 0,501
RS	1,271 ± 0,472	262,678 ± 6,113	167,177 ± 3,274
Corretivo de acidez	Na	Zn	Fe
	..... mg/g		
RP	0,116 ± 0,013	0,009 ± 0,001	0,590 ± 0,002
CC	1,284 ± 0,001	0,012 ± 4 x 10 ⁻⁴	2,004 ± 0,006
RS	0,119 ± 0,013	0,007 ± 10 ⁻⁴	0,941 ± 0,227
Corretivo de acidez	Cu	Mn	B
	..... mg/g		
RP	0,015 ± 5 x 10 ⁻⁴	0,012 ± 4 x 10 ⁻⁴	0,003 ± 0,010
CC	0,008 ± 3 x 10 ⁻⁴	0,008 ± 0,001	0,005 ± 0,015
RS	0,007 ± 10 ⁻⁴	0,018 ± 10 ⁻⁴	0,003 ± 0,010
Corretivo de acidez	K	P	Si
	..... mg/g		
RP	2,663 ± 0,256	< LD	13,153 ± 0,243
CC	3,543 ± 0,487	1,746 ± 0,020	57,187 ± 1,361
RS	1,785 ± 0,050	< LD	18,067 ± 0,328

< LD= Abaixo do limite de detecção do aparelho.

Tabela 6. Área superficial específica dos diferentes corretivos de acidez

Corretivo de acidez	Área superficial específica
	..... m ² /g
RP	2,6880
CC	1,6830
RS	1,5330

3.3.2 Solubilidade dos corretivos em ácido clorídrico

Na Tabela 7, encontram-se os resultados da análise de variância para as variáveis: resíduo de calcário, liberação de cálcio e liberação de magnésio,

verifica-se que houve efeito significativo para todas as fontes de variação (P<0,01).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis resíduo de calcário, liberação de cálcio e liberação de magnésio

F.V	G.L	Quadrado médio		
		Resíduo de calcário	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Bloco	3	0,000031	0,0041	33,380
Concentração (D)	4	1,847901**	12142,9000**	273533,500**
Corretivo de acidez (C)	2	0,083620**	2095,1902**	70,395**
D X C	8	0,010271**	212,4835**	917,392**
Resíduo	42	0,000013	0,0623	29,081
C.V (%)		0,93	0,60	2,51

** F significativo a 1 %; C.V(%) - coeficiente de variação.

Observa-se que, entre os corretivos de acidez o RP gerou menor quantidade de resíduo, seguido do RS e pelo CC. Tal fato pode estar relacionado com a maior superfície de contato presente no RP, visto que, em relação aos teores de carbonatos (Tabela 3), os corretivos de acidez estudados apresentaram teores semelhantes.

Tabela 8. Valores médios de resíduo de calcário para as respectivas combinações de concentração de HCl e corretivos de acidez

Concentração de HCl	Corretivos de acidez		
	RP	CC	RS
mol/L	mg/g		
0,01	0,903 c	0,937 a	0,930 b
0,10	0,699 c	0,714 a	0,707 b
0,50	0,046 c	0,217 a	0,063 b
1,00	0,045 c	0,232 a	0,063 b
2,00	0,043 c	0,237 a	0,065 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A adição de doses crescentes de HCl mostrou que o consumo dos carbonatos presente no RP, ocorre até a concentração de 0,36 mol/L HCl e para o RS até a concentração de 0,39 mol/L (Figura 1), evidenciando que a maior área superficial específica intensifica a atuação do HCl.

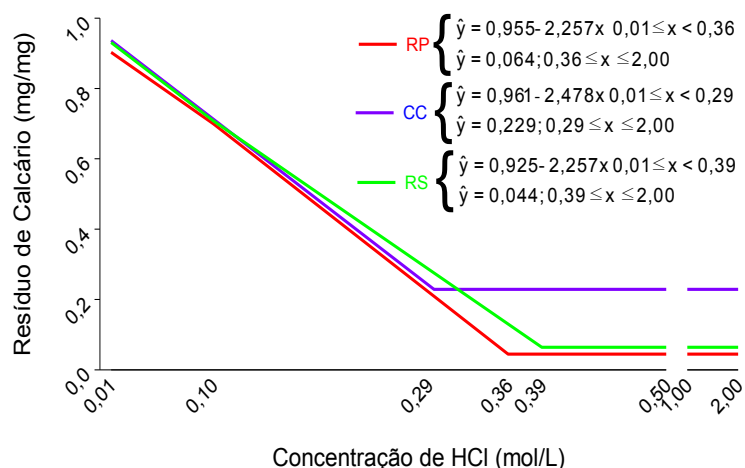


Figura 1. Valores ajustados de resíduo de calcário em função da concentração de HCl para os três corretivos de acidez.

Quanto à liberação de Ca^{2+} (Tabela 9) não houve um corretivo de acidez que se mostrou superior na liberação de Ca^{2+} independente do nível e da necessidade de calagem estudados, uma vez que, os teores de CaO são similares entre os corretivos (Tabela 3).

Tabela 9. Valores médios de liberação de Ca^{2+} para as respectivas combinações de concentração de HCl e corretivos de acidez

Concentração de HCl	Corretivo de acidez		
	RP	CC	RS
mol/L		mg/g	
0,01	14,241 a	18,559 a	12,237 a
0,10	70,188 c	117,760 a	97,883 b
0,50	286,319 b	267,134 c	298,272 a
1,00	332,477 a	321,298 b	327,110 ab
2,00	362,426 a	351,970 ab	345,362 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

De modo geral, observa-se que a adição de concentrações crescentes de HCl aos corretivos de acidez do solo leva ao aumento da liberação de Ca^{2+} (Figura 2).

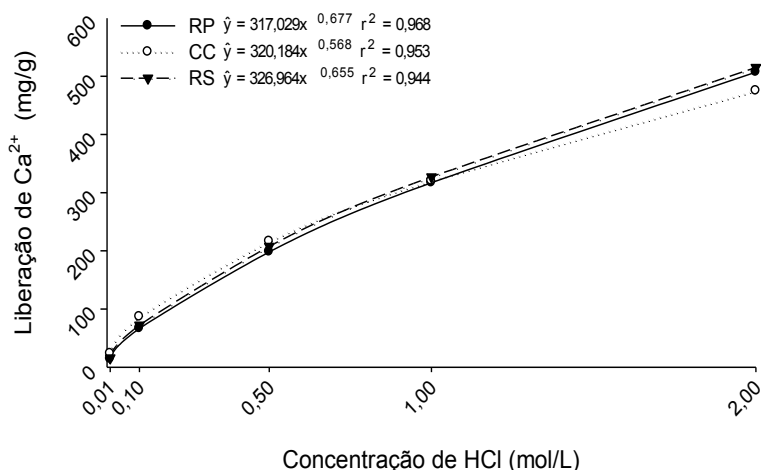


Figura 2. Valores ajustados de liberação de Ca^{2+} em função da concentração de HCl para os três corretivos de acidez.

Os valores médios de liberação de Mg^{2+} para as respectivas combinações de corretivo de acidez e concentração de HCl mostraram que o RP apresentou maior liberação de Mg^{2+} (Tabela 10). Todavia, na caracterização química (Tabela 3), os corretivos avaliados apresentaram comportamento similar em relação ao teor de MgO. A liberação de Mg^{2+} em função da concentração da solução de HCl utilizada mostra maior liberação de Mg^{2+} no corretivo RP seguido pelo RS e pelo CC (Figura 3).

Tabela 10. Valores médios de liberação de Mg^{2+} para as respectivas combinações de concentração de HCl e corretivos de acidez

Concentração de HCl	Corretivo de acidez		
	RP	CC	RS
mol/L	mg/g		
0,01	2,209 a	0,802 c	1,639 b
0,10	16,615 a	4,782 c	16,061 b
0,50	64,217 a	46,229 c	59,168 b
1,00	79,715 a	47,007 c	73,342 b
2,00	82,660 a	48,730 c	76,322 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

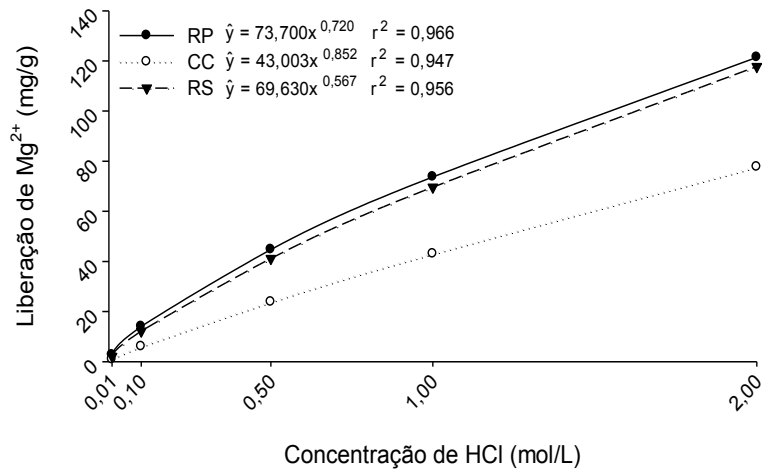


Figura 3. Valores ajustados de liberação de Mg^{2+} em função da concentração de HCl para os três corretivos de acidez.

3.3.3 Solo incubado com três corretivos de acidez

Na Tabela 11 encontram-se os resultados da análise de variância para as variáveis: pH, Ca^{2+} , Mg^2 e H+Al. Verifica-se que para a variável pH houve efeito significativo para a fonte necessidade de calagem ($P < 0,05$), para as variáveis Ca^{2+} , Mg^2 e H+Al, todos as fontes foram significativas ($P < 0,05$).

Os resultados obtidos foram interpretados considerando a Quinta Aproximação (CFSEMG, 1999).

Tabela 11. Resumo da análise de variância das variáveis: potencial hidrogeniônico (pH), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e acidez potencial (H+Al) em função do corretivo (C) e da necessidade de calagem (N) e suas interações

F.V	G.L	Quadrado médio			
		pH	Ca	Mg	H+AL
Bloco	2	0,0064	0,0095	0,0051	0,0310
Corretivo de acidez (C)	3	0,0075 ^{ns}	0,6913 ^{**}	1,0629 ^{**}	0,9058
Neces. de calagem (N)	3	0,8362 ^{**}	8,0854 ^{**}	3,5452 ^{**}	11,5991
C x N	9	0,0336 ^{ns}	0,0728 ^{**}	0,1160 ^{**}	0,7565
Trat vs Test	1	2,2293	8,5753	3,5256	20,3130
Resíduo	32	0,0513	0,0139	0,0055	0,1343
C.V(%)		4,16	5,28	6,28	5,61

** F significativo a 1 %; * F significativo a 5%; ^{ns} não significativo; tratamento (trat); testemunha (test); C.V(%) - coeficiente de variação.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

Observa-se que o pH varia linearmente com o aumento dos níveis de necessidade de calagem (Figura 4). Em relação aos os valores médios de pH no solo, para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem, observa-se que todos os tratamentos que receberam corretivo de acidez apresentam valores de pH superiores à testemunha pelo teste de Dunnett (Tabela 12). Os resultados encontrados estão de acordo com Guarçoni e Fanton (2010), que trabalhando com resíduos de rochas ornamentais, concluíram que a aplicação de doses crescentes do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais elevou o pH do solo e reduziu o teor de Al^{3+} , de forma linear para o crescimento inicial do café.

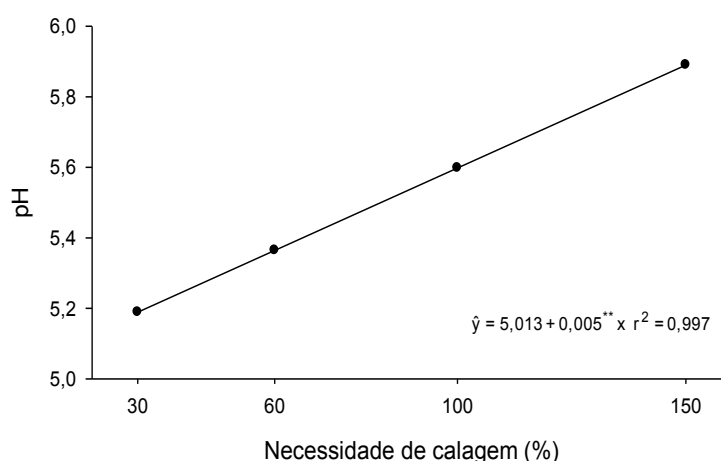


Figura 4. Valores ajustados de pH em função da necessidade de calagem. (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”).

Tabela 12. Valores médios de pH do solo para os três corretivos de acidez e necessidade de calagem, após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
RP	4,61	5,12*	5,33*	5,50*	6,05*
CC	4,61	5,24*	5,41*	5,65*	5,80*
RS	4,61	5,24*	5,39*	5,60*	5,88*

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5 % de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo

Os teores médios de Ca^{2+} das amostras de solo tratadas com os três corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de calagem, apresentaram comportamento semelhante ao observado quando os mesmos foram colocados em reação com o HCl (Tabela 13).

Independente do corretivo de acidez, observa-se que o teor médio de Ca^{2+} no solo aumentou linearmente com o aumento dos níveis de necessidade de calagem (Figura 5). Pode-se observar que, em média, o maior acréscimo foi proporcionado pela aplicação de CC.

De modo geral, os corretivos de acidez o RP e o RS proporcionaram maior aporte de Mg^{2+} comparativamente ao CC quando as amostras de solo foram tratadas com os níveis crescentes de necessidade de calagem (Tabela 14).

Na Figura 6, valores ajustados de Mg^{2+} em função dos diferentes corretivos de acidez e da necessidade de calagem, verifica-se que, os corretivos RP e RS seguido de CC, proporcionam maior liberação de Mg^{2+} com o aumento da necessidade de calagem.

Os teores médios de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, para os diferentes corretivos de acidez e necessidade de calagem estudados foram superiores à testemunha, quando comparados pelo teste de Dunnett.

Quando aplicados no solo, no nível de necessidade de calagem de interesse agrônômico, os três corretivos elevaram o nível de Ca^{2+} de baixo (0,41 – 1,20 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) para o nível bom (2,41 – 4,00 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). Em relação ao nível de Mg^{2+} , os resíduos elevaram o nível de Mg^{2+} de muito baixo ($\leq 0,15 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) para o nível muito bom ($>1,50 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) e o CC para o nível bom (0,90 – 1,50 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$).

Em trabalho com resíduos de marmorarias, Baldotto et al., (2007) concluíram que a neutralização da acidez do solo, a disponibilidade de cálcio e de magnésio e o crescimento inicial do milho foram semelhantes em resposta a ambos os corretivos aplicados (calcário e resíduo de marmoraria). Para os autores os resíduos de marmorarias podem ser usados como corretivo e fonte de nutrientes para o cultivo de plantas de milho.

Tabela 13. Valores médios de Ca^{2+} das amostras de solo tratadas os três corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
	.....$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$			
RP	1,21 a	1,83 b	2,47 b	3,20 b
CC	1,36 a	2,13 a	3,23 a	3,85 a
RS	1,29 a	1,94 ab	2,65 b	3,34 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

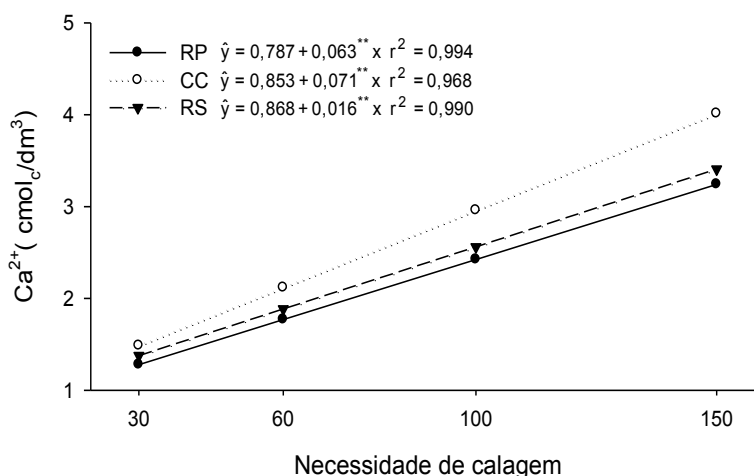


Figura 5. Valores ajustados de Ca^{2+} em função dos três corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Tabela 14. Valores médios de Mg^{2+} das amostras de solo tratadas com três corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de necessidade de calagem

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
	.....$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$			
RP	0,65 a	1,14 a	1,66 a	2,48 a
CC	0,47 b	0,75 b	1,09 b	1,43 c
RS	0,64 a	1,09 a	1,66 a	2,34 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

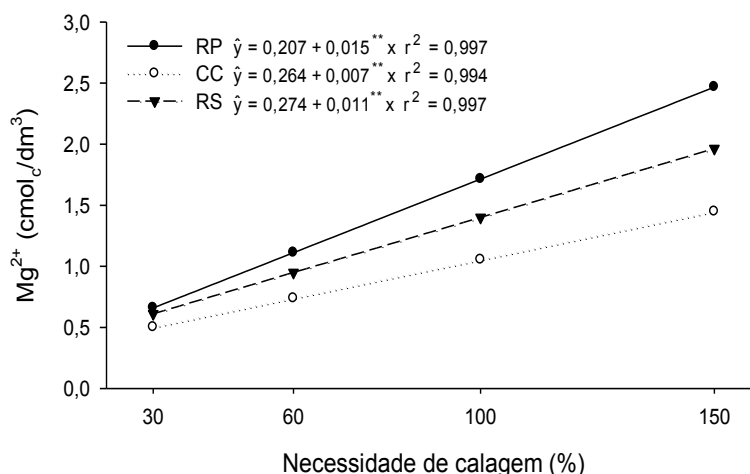


Figura 6. Valores ajustados de Mg^{2+} em função dos três corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t").

Tabela 15. Valores médios de Ca^{2+} para os três corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
	..... cmol _c /dm ³				
RP	0,61	1,21*	1,83*	2,47*	3,20*
CC	0,61	1,36*	2,13*	3,23*	3,85*
RS	0,61	1,29*	1,94*	2,65*	3,34*

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Tabela 16. Valores médios de Mg^{2+} para os três corretivos de acidez e necessidade de calagem após 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
	..... cmol _c /dm ³				
RP	0,14	0,65*	1,14*	1,66*	2,48*
CC	0,14	0,47*	0,75*	1,09*	1,42*
RS	0,14	0,64*	1,09*	1,63*	2,24*

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Acidez trocável (H+Al)

Os valores médios de H+Al obtidos para as amostras de solo tratadas com três corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de calagem mostram que no nível de 30 % da necessidade de calagem o RS apresentou o menor de H+Al, e que nos demais níveis de necessidade de calagem não houve diferença entre os corretivos de acidez (Tabela 17).

Para os corretivos RP e CC, ocorre o decréscimo dos valores de H+Al com o aumento dos níveis de necessidade de calagem, para o corretivo RS o decréscimo ocorre a partir de 52,3 % da necessidade de calagem (Figura 7) e todos os tratamentos que receberam corretivo de acidez apresentam valores médios de H+ Al inferiores a testemunha pelo teste de Dunnett.

Todas as fontes de corretivo estudadas conseguiram no nível de calagem de interesse agrônômico, 100 % da necessidade de calagem, diminuir a acidez potencial do nível muito alto apresentado na testemunha (>9,00 cmol_c/dm³) para valores classificados como médios (2,51 – 5,00 cmol_c/dm³).

Tabela 17. Valores médios de H+Al obtidos para as amostras de solo tratadas com três corretivos de acidez dentro dos diferentes níveis de necessidade de calagem

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)			
	30	60	100	150
	.....cmol _c /dm ³			
RP	8,03 a	7,10 a	6,20 a	4,66 a
CC	7,93 a	6,96 a	5,73 a	5,23 a
RS	6,33 b	6,96 a	5,93 a	4,80 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

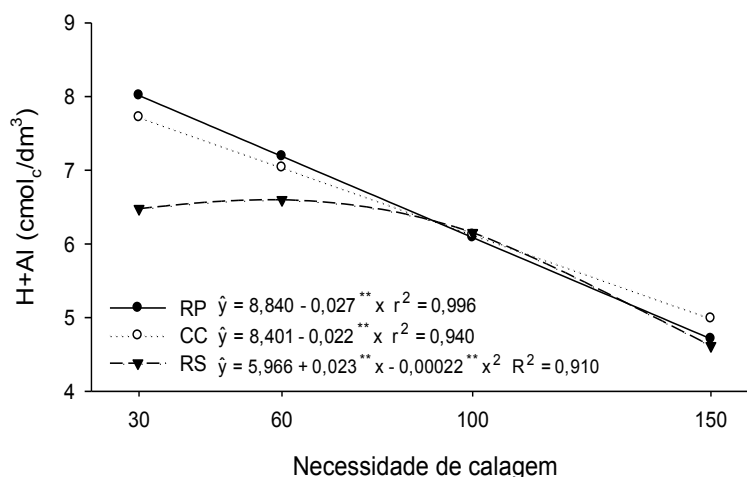


Figura 7. Valores ajustados de H+Al em função dos três corretivos de acidez e da necessidade de calagem; (** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”).

Tabela 18. Valores médios de H+Al para os três corretivos de acidez e necessidade de calagem, após de 90 dias de reação

Corretivo de acidez	Necessidade de calagem (%)				
	0 ¹	30	60	100	150
	.....cmol _c /dm ³				
RP	9,03	8,03*	7,10*	6,20*	4,66*
CC	9,03	7,93*	6,96*	5,73*	5,23*
RS	9,03	6,33*	6,96*	5,93*	4,80*

¹ Testemunha; As médias com asterisco na linha não diferem da Testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

Saturação por alumínio (m) e acidez potencial (Al³⁺)

Observa-se que todos os corretivos de acidez quando aplicados ao solo proporcionaram redução dos valores médios de saturação de alumínio e da acidez trocável, quando comparados com os valores médios da testemunha. No nível da necessidade de calagem de interesse agrônômico (100%), a aplicação de qualquer dos corretivos de acidez reduziu o teor de Al³⁺ do nível alto (1,01 a 2,00 cmol_c/dm³) para o nível muito baixo ($\leq 0,20$ cmol_c/dm³) (Tabela 19). O mesmo foi observado no comportamento de m, em que todos corretivos testados levaram este parâmetro do nível alto (50,1 a 75,0%) para o nível muito baixo ($\leq 15\%$) (Tabela 20).

Tabela 19. Valores médios e desvios padrão da acidez trocável (Al³⁺) para os três corretivos de acidez e níveis de necessidade de calagem

Necessidade de calagem	Corretivo de acidez		
	RP	CC	RS
t/ha	.....cmol _c /dm ³		
0,0*	1,23 ± 0,10	1,23 ± 0,10	1,23 ± 0,10
30	0,48 ± 0,09	0,57 ± 0,09	0,45 ± 0,10
60	0,22 ± 0,14	0,29 ± 0,01	0,29 ± 0,01
100	0,00 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,00 ± 0,0
150	0,00 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,00 ± 0,0

*Testemunha

Tabela 20. Valores médios de saturação por alumínio (m) em % para os três corretivos de acidez e níveis de necessidade de calagem

Necessidade de calagem	Corretivo de acidez		
	RP	CC	RS
t/ha %		
0,0*	58,44 ± 1,23	58,44 ± 1,23	58,44 ± 1,23
30	19,58 ± 0,82	22,92 ± 1,00	19,15 ± 0,74
60	5,77 ± 0,13	8,81 ± 0,21	3,07 ± 0,10
100	0,00 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,00 ± 0,0
150	0,00 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,00 ± 0,0

*Testemunha

3.4 CONCLUSÕES

O resíduo de polimento (RP) apresentou maior PRNT e solubilidade em HCl.

Os resíduos são similares em relação aos teores de CaO e MgO, fato que os levaram a comportamento semelhante quando reage com HCl.

Quando aplicados no solo, os corretivos de acidez mostraram comportamento semelhante para as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{H}+\text{Al}$, m e Al^{3+} . Nas condições que foram conduzidos o experimento de incubação, a granulometria dos resíduos não influenciou nas variáveis analisadas.

Os resíduos apresentam grande potencial como corretivos de acidez, principalmente nas regiões próximas à produção de rochas ornamentais, diminuindo custos com frete, resolvendo um empasse ambiental e melhorando as condições dos solos.

4. CONCLUSÃO GERAL

Os corretivos de acidez de diferentes origens apresentam alteração quanto ao PRNT, teores de CaO e MgO, composição mineralogia e solubilidade em HCl. Entretanto tais diferenças não são observadas quando os corretivos são aplicados no solo, visto que, todos os corretivos aumentam o pH do solo dentro da faixa ideal para o desenvolvimentos das espécies vegetais cultivadas e quando aplicado 100 % da necessidade de calagem, os corretivos proporcionam valores de $\text{H}+\text{Al}$, SB, CTC efetiva, V, m e Al^{3+} classificados como bons para o desenvolvimneto das espécies cultivadas. Nas condições que foram aplicados

os corretivos de acidez no solo, a diferença na origem do corretivo de acidez não afetou as variáveis analisadas, tais resultados apontam outras possibilidades de corretivos de acidez.

Os diferentes resíduos do processo de beneficiamento apresentam composição química e reatividade em HCl similar. Quando aplicado no solo mostraram comportamento semelhante para as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , H+Al , m e Al^{3+} . Dentro das condições que foram realizados os estudos, a granulometria dos resíduos não influenciou nas variáveis analisadas, resultados que confirmam o potencial dos resíduos de beneficiamento de mármore como corretivo de acidez.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANTES, S. A. DO C. M.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L. Efeito da calagem na mineralização de ^{14}C -glifosato em solos. *Ciência Agrotécnica*, v. 35, n. 2, p. 234 -241, mar./abr., 2011.

ALVAREZ V., V. H.; DIAS, L. E.; RIBEIRO, A. C.; SOUZA, R. B. Uso de Gesso Agrícola. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 43-60, 1999.

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Sociedade Brasileira de Ciência do solo*, v. 25, n.1, p. 27-33, 2000. (Boletim Informativo).

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos. ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos). *Boletim Técnico*, n. 6, 20 p. 2005.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 1, p.115-123, 2004.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M., OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.271-276, 1992.

BALDOTTO, M. A.; ASPIAZÚ, I. N.; SILVA, A. P.; CORRÊA, M. L. T.; VENEGAS, V. H. A. Potencialidade agrônômica do resíduo de rochas ornamentais. *Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia*, n. 3, p. 1- 8, 2007.

BILGIN, N.; YEPREM, H. A.; ARSLAN, S.; BILGIN, A.; GUNAY, E.; MARS OGLU, M. Use of waste marble powder in brick industry. *Construction and Building Materials*. Elsevier Science, v. 29, p. 449 - 457, 2012.

BESSLER, K. E. e RODRIGUES, L. C. Os polimorfos de carbonato de cálcio – uma síntese fácil de aragonita. *Revista Química Nova*, v. 31, n. 1, p.178-180, 2008.

BEAR, F. E.; TOTH, S. J. Influence of Ca on availability of other soil cations. *Soil Science*, v. 65, n. 1, p. 69 - 75, 1948.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Métodos reconhecidos para determinação de metais pesados tóxicos em fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionadores de solo e substratos para plantas. IN nº 24. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. IN nº 28. Brasília, 2007.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações das 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, 1988.

CARREIRA C. A.; SAKOMURA, N. K.; PINHEIRO, S. R. F.; TOLEDANO, F. M. M.; GIACOMETTI, R.; SILVA JÚNIOR, J.W. Uso da alga *Lithothamnium calcareum* como fonte alternativa de cálcio nas rações de frangos de corte. *Ciência Agrotecnologia*, v. 35, n. 4, p. 833 - 839, 2011.

CAVALCANTI, V. M. M. Plataforma continental: A última fronteira da mineração. *Recursos Minerais Marinhos*. DNPM. Brasília, 104 p. il., 2011.

COELHO, A. M. Eficiência de calcários de diferentes granulometrias na correção da acidez do solo. MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Comunicado Técnico 100, 1 ed. 4 p., 2004.

COUTINHO P. N. Sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira. *Revista de Geologia*, n. 6, p. 65 -73, 1992.

COSTA NETO, J. M.; TEIXEIRA, R. G.; SÁ, M. J. C.; LIMA, A. E.; JACINTO ARAGÃO, G. S.; TEIXEIRA, M. W.; MARTINS FILHO, E. F.; TORÍBIO, J. M. de M. L.; AZEVEDO, A. S. de. Farinha de algas marinhas ("*Lithothamnium calcareum*") como suplemento mineral na cicatrização óssea de autoenxerto cortical em cães. *Revista Brasileira Saúde Produção Animal*, v. 11, n. 1, p. 217 - 230, 2010.

COSTA A. S. V.; HORN A. H.; DONAGEMMA G. K.; SILVA M. B. Uso do resíduo de granito oriundo da serraria e polimento como corretivo e fertilizante de solos agrícolas. *Revista Geonomos*, v.18, p. 23 - 27,2010.

CRUZ, M. C. M.; HAFLE, O. M.; RAMOS, J. D.; RAMOS, O. S. Desenvolvimento do porta-enxerto de tangerineira 'Cleópatra'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, p. 471-475, 2008.

CFSEMG - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, 1999.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. CPRM: 1997.

DIAS, G. T. M. Granulados bioclásticos: Algas calcárias. *Revista Brasileira Geofísica*, v. 18, n. 3, p. 307-318, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2 Ed., 230 p. 2011.

FREITAS, P. L. Manejo físico do solo. In: Simpósio sobre manejo e conservação do solo no cerrado, Anais... Fundação Cargil, Goiânia, p. 17-39, 1992.

GUERRA, M. B. B.; NETO, E. L.; PRIANTI, M. T.A.; PEREIRA FILHO, E. R. P.; SCHAEFER, C. E. G. R. Post-fire study of the Brazilian Scientific Antarctic Station: Toxic element contamination and potential mobility on the surrounding environment. *Microchemical Journal*. Elsevier Science, n.110, p. 21-27, 2013.

GRAY, S.; KINROSS, J.; READ, P.; MARLAND, A. The nutrient assimilative capacity of maerl as a substrate in constructed wetland systems for waste treatment. *Water Research*. Elsevier Science, v. 34, n. 8, p. 2183 - 2190, 2000.

KARASAHIN, M.; TERZI, S. Evaluation of marble dust in the mixture of asphaltic concrete. *Construction and Building Materials* 21. Elsevier Science, v. 21, p. 616 - 620, 2007.

KEMPF, M. Notes on the benthic bionomy of the N-NE Brazilian Shelf. *Marine Biology*, v. 5, n. 3, p. 213 - 224, 1970.

KEMPF, M. Perspectivas de exploração econômica dos fundos de algas calcárias da plataforma continental do Nordeste do Brasil. *Trabalho Oceanográfico* 14, 22 p., 1974.

LOPES, A.S.; SILVA, M.C. & GUILHERME, L.R.G. Acidez do solo e calagem. ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos). *Boletim Técnico*, n.1, 3 ed., 22 p., 1991.

MALAVOLTA, E.; VIOLANTE NETTO, A. Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros. Piracicaba: POTAFOS, 153 p.,1989.

MACHADO R. V.; RIBEIRO, R. C.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R.; MESQUITA, L. F. Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais. In: Série Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro, CETEM / MCT, 2010.

MARTINS JUNIOR, F. L. Sumário Mineral. Calcário Agrícola. DNPM. 2013. Disponível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8971. Acesso em 10 de janeiro de 2014.

MELO, T. V.; MOURA, A. M. A. Utilização da farinha de algas calcáreas na alimentação animal. Archivos de Zootecnia, v. 58, p. 99-107, 2009.

MENDONÇA, V.; ORBES, M. Y.; ABREU, N. A. A.; RAMOS, J. D.; TEIXEIRA, G. A.; SOUZA, H. A.. Qualidade de mudas de maracujazeiro amarelo formadas em substratos com diferentes níveis de Lithothamnium. Ciência Agrotecnologia, v. 30, n. 5, p. 900-906, 2006.

MESQUITA, L. F.; FILHO, J. C.; ANDRADE, F. V. Calcário marinho e resíduo de marmoraria como corretivos alternativos da acidez em Latossolos. In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, p. 1136-1450, 2009.

MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; MELO, P. C, COSTA, A.C. F. Calcified seaweed in production and fruit quality of 'Ponkan' tangerine tree. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science, v. 2, n. 11, p. 476-480, 2012.

MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; ARAÚJO, N. A.; MARQUES, V. B. Produção e qualidade de frutos de pitaiá-vermelha com adubação orgânica e granulada bioclástica. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 33, p. 762-766, 2011.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Cerâmica, v 51. p. 180-186. 2005.

MEDEIROS J.C.; ALBUQUERQUE J. A.; MAFRA A. L.; 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, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MIRANDA, L. N. Utilização de calcários marinhos como corretivos de acidez do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 9, n. 1, p. 245-248, 1985.

PARAHYBA, R. E. Economia Mineral do Brasil. Calcário Agrícola. DNPM, 2009. Disponível em: <http://simineral.org.br/arquivos/EconomiaMineraldoBrasil2009CalcarioDNPM.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2014.

PANSU, M.; GAUTHEYROU, J. Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer Dordrecht, Netherlands, 995 p., 2003.

RAYMUNDO, V.; NEVES M. A.; CARDOSO, M. S. N.; BREGONCI, I. S.; LIMA, J. S. S.; FONSECA A. B. Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.1, p.47-53, 2013.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca:Mg, Ca:K e Mg:K do solo na produção de sorgo sacarino. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 19, n. 12, p. 1443-1448, 1984.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of Savannah Oxisols. Soil Science, v.133, n. 3, p.378 - 382, 1982.

SAMPAIO J. A.; ALMEIDA S. L. M. In: LUZ, A. B. da.; LINS, A. F. Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações. Rio de Janeiro, 2 Ed, p. 363-387, 2008.

SAEG. Sistema para análises estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes. Viçosa- UFV-Viçosa, 2007.

SA, J. C. de M. Manejo da Fertilidade do solo no plantio direto. Fundação ABC, Castro, 94 p, 1993.

SEGADÃES, A. M.; CARVALHO, M. A.; ACCHAR, W. Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. Applied Clay Science, Elsevier Science, v. 30, p. 42 - 52, 2005.

SILVA, A. Z. da. Metodologia de avaliação das práticas de gerenciamento ambiental dos resíduos de empresas de beneficiamento de rochas ornamentais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 121 p., 2011.

SOUZA, H. A.; RAMOS, J. D.; MELO P. C.; HAFLE, O. M.; RODRIGUES, H. C. A.; SANTOS, V. A. Avaliação de doses e produtos corretores da acidez em variáveis biométricas na produção de mudas de maracujazeiro. Acta Scientiarum Agronomy, v. 31 n. 4, p. 607 - 612. 2009.

SOUZA, D. M. G de; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do Solo e sua Correção. In.: NOVAIS, R.F.; et. al. Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 205-274, 2007.

TOZSIN, G.; AROL, A. I.; OZTAS, T.; KALKAN, E. Using marble wastes as a soil amendment for acidic soil neutralization. *Journal of Environmental Management* 133, Elsevier Science, p. 374 - 377, 2014.

UNITED STATES Environmental Protection Agency. 40 CFR - Parts 503. final rules: Standards for the use of sewage sludge. *Federal Register*, Washington, v.58, p. 9248 - 9415, 1993.

VITÓRIA STONE FAIR 2014. 37^a Feira Internacional do Mármore e Granito. O Setor.
Disponível em: <http://www.vitoriastonefair.com.br/site/2014/pt/setor>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2014.

VILLAÇA, R. C. Recifes Biológicos In: *Biologia Marinha*. 2 Ed. Rio de Janeiro, p. 229-248, 2009.

XENIDIS, A.; MYLONA, E.; PASPALIARIS, I. Potential use of lignite fly ash for the control of acid generation from sulphidic wastes. *Waste Management*. Elsevier Science, Amsterdam, v. 22, p.631-641, 2002.