

IRAN NEVES ORDONIO

**PROPRIEDADES DE TRÊS AMOSTRAS DE SOLOS DA ZONA DA MATA DE
PERNAMBUCO SOB APLICAÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO,
CARBONATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E SULFATO DE CÁLCIO**

RECIFE
PERNAMBUCO-BRASIL
2004
IRAN NEVES ORDONIO

**PROPRIEDADES DE TRÊS AMOSTRAS DE SOLOS DA ZONA DA MATA DE
PERNAMBUCO SOB APLICAÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO,
CARBONATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E SULFATO DE CÁLCIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como exigência para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof^o. Mauro Carneiro dos Santos

Conselheiros:

Prof^a. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, D. Sc.

Prof^o Clístenes Williams Araújo do Nascimento, D. Sc.

RECIFE
PERNAMBUCO-BRASIL
2004
IRAN NEVES ORDONIO

PROPRIEDADES DE TRÊS AMOSTRAS DE SOLOS DA ZONA DA MATA DE
PERNAMBUCO SOB APLICAÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO, CARBONATO
DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E SULFATO DE CÁLCIO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
como requisito à obtenção do título de Mestre
em Ciência do Solo.

Aprovado em 29 de dezembro de 2004.

Mauro Carneiro dos Santos, Ph.D

Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, D. Sc

Emídio Cantídio de Oliveira Filho, Ph.D

Luiz Bezerra de Oliveira, LD

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

O65p Ordonio, Iran Neves
Propriedades de três amostras de solos da Zona da
Mata de Pernambuco sob aplicação de carbonato de
cálcio e magnésio e sulfato de cálcio / Iran Neves Ordo-
nio. -- 2005.
57 f. : il, tabs.

Orientador: Mauro Carneiro dos Santos
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Depart-
amento de Agronomia
Apêndice e referências

CDD 631.42

1. Solo
2. Pernambuco
3. Acidez do solo
4. Corretivo
5. Característica físico-química
 - I. Santos, Mauro Carneiro dos
 - II. Título

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela conquista de mais uma etapa de minha vida;

A meus pais, Antônio e Zilda, pelo apoio e incentivo ao estudo;

A minha esposa Renata, pela compreensão, companhia e amor dedicado;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo e ao Órgão de Capacitação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela viabilidade estrutural e apoio financeiro;

Ao professor Mauro Carneiro dos Santos pela orientação;

A professora Dra. Maria Betânia pela valiosíssima orientação prestada, ensinamentos transmitidos de forma sincera e honesta e, sobretudo pela concretização deste trabalho,

Ao professor Dr. Clístenes, pela orientação, apoio e confiança;

Aos professores José Júlio Vilar Rodrigues e Emídio Cantídio de Oliveira Filho, pela grande contribuição para realização deste trabalho;

Aos funcionários do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo: Anacleto e Josué pelo apoio prestado; Sr. Noca pelos momentos de descontração e alegria; e especialmente Socorro pela solidariedade, incentivo e motivação nas horas difíceis;

Ao funcionário e amigo Brivaldo pelo apoio indispensável e valiosíssima participação durante a realização deste trabalho;

Aos colegas José de Castro e Gledson Correa pela valiosa contribuição nas análises físicas;

A todos os colegas do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da UFRPE, pela amizade e convivência;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

Resumo

ORDONIO, Iran Neves, MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco. Dezembro de 2004. Propriedades de três amostras de solos da zona da mata de Pernambuco sob aplicação de carbonato de cálcio, carbonato de cálcio e magnésio e sulfato de cálcio. **Orientador: Mauro Carneiro dos Santos. Conselheiros: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire e Clístenes Williams Araújo do Nascimento.**

Amostras de Plintossolo horizonte Ap, Plintossolo horizonte Bt e Nitossolo horizonte B1 foram utilizadas no estudo, com o objetivo de avaliar o uso de carbonato de cálcio, carbonato de cálcio e magnésio, sulfato de cálcio e associação entre eles, investigando suas interações nas alterações químicas e físicas. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As amostras de solos foram acondicionadas em colunas de PVC com 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura, seccionados em dois cilindros de 15 cm. Nos cilindros superiores foram aplicados os corretivos. A necessidade de calagem foi calculada de modo a elevar a saturação por bases a 60 %, e a dose de sulfato de cálcio correspondente a 25 % da necessidade de calagem de cada amostra de solo. O período de incubação foi de 36 dias, durante o qual as amostras foram lixiviadas com dois volumes de poros com água deionizada, em aplicações semanais. Após esse período, procederam-se às avaliações físicas e químicas dos solos e químicas do material lixiviado. Os resultados obtidos indicaram que não houve correção de forma efetiva quando as propriedades químicas após o período de incubação. Houve pequena influência das doses aplicadas quanto à movimentação de cátions em profundidade, evidenciado pela pequena concentração de cátions no cilindro inferior. Entretanto, no cilindro inferior, maiores teores de cálcio foram relacionados aos tratamentos contendo carbonato de cálcio (CC) e sua combinação com sulfato de cálcio (CCG). Os tratamentos contendo carbonato de cálcio e magnésio (CM) e sua combinação com sulfato de cálcio (CMG), proporcionaram, por sua vez, maiores teores de magnésio nas referidas camadas. Esse fato evidencia a contribuição do carbonato de cálcio e carbonato de cálcio e magnésio no fornecimento de Ca e Mg e o efeito do sulfato de cálcio em profundidade. Os tratamentos de correção aplicados não proporcionaram diferenças nas propriedades físicas entre os cilindros. Após a aplicação dos tratamentos percebe-se um efeito pouco expressivo de argila dispersa em água e do grau de floculação, principalmente para as amostras do

Plintossolo Horizonte Bt e o Nitossolo Horizonte Bt, cujas diferenças não foram significativas.

ABSTRACT

ORDONIO, Iran Neves, MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco. Dezembro de 2004. **Properties of three soil samples of Mata region (Pernambuco state, Brazil) treated with calcium carbonate, calcium and magnesium carbonate, and calcium sulfate.** Orientador: Mauro Carneiro dos

Santos. Conselheiros: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire e Clístenes Williams Araújo do Nascimento.

Samples of the surface and B horizons of a Plintisol as well as the B horizon of a Nitosol were treated with calcium carbonate, calcium and magnesium carbonate, and calcium sulfate. The objective was to study the effects of such amendments on chemical and physical properties of the soils. The experiment was carried out in a completely randomized design with three replicates. The samples were packed into PVC columns sectioned in two 15 cm-cylinders. The amendments were applied on the upper cylinder. The lime requirement was calculated to reach 60% of base saturation while the gypsum dose was equivalent to 25% of lime requirement. Soil samples were kept incubated for 36 days. During this period, they were leached out through two pore-volumes using deionized water. The results showed that the treatments were not effective at ameliorating the soil acidic condition. There was not a significant influence of the amendments on the cation movement in the soil column as corroborated by low cation concentrations in the lower cylinder. On the other hand, calcium carbonate and its application with calcium sulphate provoked highest Ca contents in the lower cylinder. Calcium and magnesium carbonate treatments as well as their association with calcium sulphate provided the highest Mg concentrations in lower cylinders. This result shows the role of such chemical amendments in supplying Ca and Mg to subsurface layers of soil. The treatments did not alter the physical soil properties. Water dispersed clay and flocculation were little influenced by treatments, especially for the B horizons, which were statistically equal.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Perfil 2. PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico típico profundo
textura média/argilosa fase floresta subperenifolia relevo forte
ondulado.....13

FIGURA 2 - Perfil 12. NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico muito profundo
textura argilosa fase floresta subperenifolia relevo
ondulado.....14

FIGURA 3. Teores de cálcio, magnésio e valores de pH e condutividade elétrica do lixiviado das amostras do Plintossolo Horizonte Ap, nas quatro coletas.....33

FIGURA 4. Teores de cálcio, magnésio e valores de pH e condutividade elétrica do lixiviado das amostras do Plintossolo Horizonte Bt, nas quatro coletas.....34

FIGURA 5. Teores de cálcio, magnésio e valores de pH e condutividade elétrica do lixiviado das amostras do Nitossolo Horizonte B1, nas quatro coletas.....35

FIGURA 6 - Imagem de parte dos blocos impregnados com resina de poliéster e corante ultravioleta, iluminados com luz negra.....43

FIGURA 7 - Imagens com dimensões de 5,64 x 5,74 cm tomadas das partes mais uniformes dos blocos impregnados e iluminados com luz ultravioleta.....44

FIGURA 8 - Imagens com dimensões de 5,64 x 5,74 cm tomadas das partes mais uniformes dos blocos impregnados e iluminados com luz ultravioleta.....45

FIGURA 9 - Imagens com dimensões de 5,64 x 5,74 cm tomadas das partes mais uniformes dos blocos impregnados e iluminados com luz ultravioleta.....46

FIGURA 10 - Imagens com dimensões de 5,64 x 5,74 cm tomadas das partes mais uniformes dos blocos impregnados e iluminados com luz ultravioleta.....47

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Identificação, classe, procedência e profundidade de amostragem dos solos estudados.....	12
QUADRO 2. Características químicas das amostras de solos estudadas.....	16
QUADRO 3. Características físicas dos solos estudados.....	17
QUADRO 4. Doses de calcários e gesso utilizados.....	19
QUADRO 5. Características dos corretivos utilizados.....	19
QUADRO 6. Dados referentes as amostras de solos acondicionadas nas colunas de PVC.....	21
QUADRO 7. Características químicas médias das amostras dos solos estudados após a aplicação dos tratamentos de correção.....	23
QUADRO 8. Características químicas médias das amostras de solos nos cilindros após a aplicação dos tratamentos.....	24
QUADRO 9 - Características químicas médias das amostras de solos entre os tratamentos aplicados.....	25
QUADRO 10. Características químicas médias das amostras de solos entre tratamentos para cada camada analisada.....	26
QUADRO 11. Resultados das análises químicas das amostras do Plintossolo horizonte Ap com a aplicação dos tratamentos de correção nos dois cilindros da coluna.....	28
QUADRO 12. Resultados das análises químicas das amostras do Plintossolo horizonte Bt com a aplicação dos tratamentos de correção nos dois cilindros da coluna.....	29
QUADRO 13. Resultados das análises químicas das amostras do Nitossolo horizonte B1 com a aplicação dos tratamentos de correção nos dois cilindros da coluna.....	30

QUADRO 14. Resultados das análises químicas do lixiviado em função das coletas.....	
.32	
QUADRO 15. Resultados das análises químicas do lixiviado em função dos tratamentos aplicados.....	37
QUADRO 16. Resultados das análises químicas das amostras de solos estudados em função dos tratamentos aplicados.....	38
QUADRO 17. Propriedades físicas das amostras dos três solos estudadas em função dos tratamentos aplicados.....	40

SUMÁRIO

1.		INTRODUÇÃO
.....		1
2.	REVISÃO	DE
LITERATURA.....		3
2.1.	Acidez	do
solo.....		3
2.2.	Correção	do
solo.....		6
2.3.	Floculação e dispersão da fração argila	do
solo.....		7
2.4.	Análise	de
imagem.....		9
3.	MATERIAL	E
MÉTODOS.....		12
3.1.	Solos	utilizados
.....		12
3.2.	Calagem e	gessagem
.....		18
3.3.	Condução	experimental
.....		20
4	RESULTADOS	E
DISCUSSÃO.....		22

4.1. Propriedades químicas dos solos após incubação.....	22
4.2. Propriedades químicas dos lixiviados em quatro coletas.....	31
4.3. Propriedades físicas dos solos após aplicação e incubação dos corretivos.....	39
4.4. Análise de imagem.....	42

5 CONCLUSÕES

.....48

REFERÊNCIAS.....

.49

APÊNDICE.....

.68

1 INTRODUÇÃO

A acidez dos solos é um dos problemas mais conhecidos que ocorre na maioria dos solos cultivados do Brasil, comprometendo o crescimento vegetal, o uso eficiente de fertilizantes e, conseqüentemente, a produtividade.

Os problemas causados pela acidez dos solos, principalmente de natureza química, são bastante conhecidos, sendo a correção uma prática indispensável para o desenvolvimento das culturas. A calagem e a gessagem são técnicas desenvolvidas para a correção de condições de acidez dos solos, adversas ao bom desenvolvimento das culturas. O emprego da calagem resulta em melhoria comprovada das condições químicas do solo, elevando o pH, eliminando e/ou reduzindo os níveis de elementos tóxicos, favorecendo o aumento da disponibilidade de nutrientes, bem como aumentando a eficiência da utilização

dos fertilizantes aplicados. Dentre os efeitos da gessagem, destacam-se a redução da porcentagem de saturação por alumínio, sua ação fertilizante pela adição de cálcio e enxofre ao solo e sua habilidade condicionadora das camadas subsuperficiais do solo proporcionando um maior desenvolvimento radicular.

Embora os efeitos químicos da aplicação de calcário nos solos sejam assunto bastante explorado na literatura de solos, poucos trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de verificar os efeitos dessa prática sobre as características físicas dos solos, especialmente no que diz respeito à quantificação da porosidade e estruturação e na observância das interações entre o solo e o próprio calcário.

As características físico-químicas do solo são governadas pela fração argila, sendo denominada de fração ativa do solo devido a sua elevada área superficial, conjugada a presença de cargas elétricas. As características físicas do solo, influenciadas pelos fenômenos de floculação e dispersão, são por sua vez controladas pela espessura da dupla camada difusa, sendo esta determinada pela valência e concentração de íons de sinais opostos àqueles existentes na superfície das partículas. A aplicação de calcário e gesso ao solo altera a concentração e valência dos íons presentes no complexo de troca do solo, haja vista o fornecimento de cátions básicos bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) que são trocados pelos cátions predominantes nas argilas silicatadas ácidas (H^+ e Al^{3+}). Dessa forma a calagem e a gessagem, possivelmente, alteram as características físicas do solo.

O presente trabalho vem avaliar o uso de carbonato de cálcio, carbonato de cálcio e magnésio, sulfato de cálcio e associação entre eles, investigando sua interferência na alteração das características químicas e físicas de amostras de solos ácidos da Zona da Mata de Pernambuco. Objetiva-se, também, verificar as modificações no arranjo dos componentes mátricos do solo, especialmente na distribuição das frações finas, estruturação e porosidade, através da técnica de análise de imagem, a partir de blocos de solo com estrutura indeformada, impregnados com resina de poliéster e corante ultravioleta.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Acidez do solo

A condição desfavorável de reação do solo mais comum nos solos brasileiros é a acidez excessiva, que compromete o crescimento vegetal, o uso de fertilizantes e, conseqüentemente, a produtividade (MELLO et al., 1989).

A característica ácida ocorre de forma natural devido ao tipo de material de origem ou aos agentes de formação do solo, principalmente o clima, que promovem a remoção de suas bases. O solo será tanto mais ácido quanto menor parte da capacidade de troca de cátions for ocupada por cátions básicos, tais como cálcio, magnésio, potássio e sódio. A acidificação do solo consiste, portanto, na remoção desses cátions do complexo de troca catiônica, substituindo-os por alumínio trocável e hidrogênio não dissociado (MELLO et al., 1989; RAIJ, 1981).

A acidez do solo é determinada pela composição do material de origem e pelas reações de troca de íons e de hidrólise que apresentam os componentes

inorgânicos e orgânicos existentes no mesmo (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1987).

Segundo Quaggio (1983), citado por Carvalho (1995), a acidez do solo era atribuída aos ácidos húmicos livres ou exclusivamente à matéria orgânica que, por decomposição, libera ácidos que contribuem com a acidez do solo. A matéria orgânica decomposta ou húmus contém grupos carboxílicos e fenólicos que se comportam como ácidos fracos, dissociando-se e liberando íons H^+ . Entretanto, a heterogeneidade da matéria orgânica do solo é grande, causando diferença em sua contribuição para a acidez do solo (TISDALE et al., 1985).

As cargas dos minerais de argila podem ser originadas de substituições isomórficas na rede cristalina ou da dissociação de íons dos grupos hidroxilas ou da água de constituição do mineral, acidificando o meio. Igualmente, a hidrólise de composto de alumínio e de ferro libera H^+ no meio, baixando o pH do solo (TISDALE et al., 1985).

Em solos muito ácidos, quando o acúmulo de hidrogênio trocável chega a certa concentração, ocorre a alteração espontânea da argila, liberando Al^{+3} (KIEHL, 1979). Como conseqüência, íons de alumínio podem ser dissociados das superfícies negativamente carregadas das argilas silicatadas ou substituídos do interior de suas camadas octaédricas. Em solução, o alumínio, por hidrólise, libera íons H^+ , constituindo-se fonte geradora de acidez (FAQUIN & VALE, 1991).

Quanto a seus componentes, a acidez é formada por uma parte ativa representada pela concentração de hidrogênio na solução do solo; uma parte trocável correspondente ao alumínio e pequenas quantidades de hidrogênio ligados por eletrovalência e deslocáveis por uma solução não tamponada de sal neutro; e uma parte não trocável que pode ser neutralizada por materiais alcalinos e determinada por extração com solução normal de acetato de cálcio a pH 7,0, sendo representado pelo hidrogênio de ligação covalente associado aos colóides de carga negativa variável e aos polímeros de alumínio (KINJO, 1989).

Os maiores prejuízos às plantas em solos ácidos são ocasionados pela presença de quantidades tóxicas de Al e de Mn, e pela deficiência de Ca e, ou Mg. Em baixos valores de pH do solo, a disponibilidade de P e de MO, assim como, a atividade de microorganismos e também negativamente afetada, porém assumem menor importância, pois esses problemas podem ser superados pela aplicação de maiores quantidades desses nutrientes e de N. Aplicação de Ca e Mg também é resolvida pela aplicação de doses baixas de calcário dolomítico, ao

redor de 2 a 3 t/ha. Os maiores problemas nos solos ácidos resumem-se, portanto, à fitotoxidez de Al e de Mn (ALMEIDA et al., 1999).

Pesquisas têm demonstrado que os maiores incrementos ocasionados pela calagem no rendimento de várias culturas ocorrem até em torno de pH 5,5 (MASCARENHAS, 1983; Siqueira, 1989; QUAGGIO, 1989; ERNANI et al., 1998), onde o nível de alumínio trocável já é muito baixo ou inexistente. Para solos com altos teores de matéria orgânica, essa faixa de pH pode ser ainda menor, principalmente se os valores de fósforo e potássio forem altos (ERNANI et al., 1998).

Para os micronutrientes (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) a disponibilidade para as plantas é maior em pH baixo. Uma vez que com o aumento do pH, a exceção do Mo, para os demais micronutrientes verifica-se redução na disponibilidade devido à formação de precipitados com hidrogênio e carbonatos. Ânions como sulfatos e nitratos são adsorvidos mais intensamente sob condições de acidez. Já o fósforo, em tal condição, tem sua disponibilidade diminuída para as plantas devido à formação de fosfatos de ferro e alumínio de baixa solubilidade (PAVAN & MIYZAWA, 1997).

Solos ácidos são comuns nas regiões dos trópicos úmidos que estão submetidos a condições em que a precipitação pluviométrica excede a evapotranspiração durante a maior parte do ano. Esta situação causa a acidificação progressiva dos solos devido à substituição paulatina das bases trocáveis. Esta substituição resulta da percolação de água carregada de CO_2 onde os elementos alcalinos são lixiviados das camadas superiores. Esse processo é explicado por Wutke (1972), devido ao suprimento contínuo de H^+ , originados principalmente da dissociação do ácido carbônico, formado pela dissolução do CO_2 do ar e do solo nas águas da chuva. Essa condição, aliada ao cultivo permanente, pode ainda ser agravada por práticas agrícolas de cultivo inadequadas e pela adição de fertilizantes acidificantes (Raij, 1991). Dentre os produtos mais utilizados, os que fornecem nitrogênio, nas formas amoniacal e amídica, são os principais responsáveis, tanto pela redução do pH do solo, quanto pela perda de cátions por lixiviação (TISDALE et al., 1985).

Solos cultivados podem ter sua acidez aumentada por: erosão; reações de troca por contato de hidrogênio permutável das raízes das plantas e as bases de troca do solo; ácidos nítrico e sulfúrico, provenientes da atividade de microrganismos; radicais ácidos de certos adubos, como sulfato de amônio;

dissociação de grupos COOH^- e OH^- da matéria orgânica; dissociação de radicais OH^- expostos em arestas de fraturas de minerais de argilas (WUTKE, 1972).

Estudos revelam que 40 % dos solos aráveis e aproximadamente 70 % dos solos do mundo com potencial de produção são ácidos e apresentam problemas de toxidez por alumínio (SENGIK et al., 1996).

No Brasil, a maioria dos solos caracterizam-se por ter sofrido um acentuado processo de intemperismo e lixiviação de bases, particularmente aqueles localizados em áreas de cerrado que ocupam 2 milhões de km^2 , correspondendo a um quarto da superfície do país (DEMATTE, 1981; MELLO et al., 1989). Estes processos originam solos ácidos, em que a presença de níveis altos de Al ou extremamente baixos de Ca podem ser limitantes ao aprofundamento do sistema radicular, o que é especialmente danoso em épocas de falta de água (OLMOS; CARMAGO, 1976; RITCHEY et al., 1982).

Os solos da Amazônia que, junto aos solos do Cerrado, cobrem dois terços do território nacional, também são ácidos, apresentando alta saturação por alumínio e baixos níveis de cálcio e magnésio (EMBRAPA, 1987; ALFAIA; MURAOKA, 1997).

No estado de São Paulo e de Mato Grosso, estima-se que 70 % das áreas cultivadas com cana-de-açúcar se encontram em solos ácidos, com baixa disponibilidade de bases. Nessas condições, um dos fatores que têm limitado o aumento de produtividade das culturas é o pequeno volume de solo explorado pelo sistema radicular (MORELLI et al., 1992).

Grande parte dos solos do extremo sul do Brasil é muito ácido, deficiente em fósforo e apresenta elevados teores de alumínio, tóxico aos vegetais (ALMEIDA, 1999).

Situada em clima tropical, a Região Nordeste está incluída nesta situação, onde solos do Litoral e da Zona da Mata sofrem tal degradação progressiva. Em Pernambuco, a maioria dos solos ácidos encontra-se na Zona da Mata, onde as altas precipitações favorecem as constantes lixiviações de bases trocáveis, resultando em elevada acidez e, conseqüentemente, baixa disponibilidade de cátions básicos, principalmente nas camadas mais inferiores do perfil do solo (LIMA JÚNIOR & LIMA, 1998).

A acidez do solo é determinada pela composição do material de origem e pelas reações de troca de íons e de hidrólise que apresentam os componentes

inorgânicos e orgânicos existentes no mesmo (FASSBENDER & BORNEMISZA1987).

2.2. Correção do solo

No Brasil, sob condições de clima tropical úmido, geralmente, encontram-se solos em estágio avançado de intemperismo, com problemas de acidez elevada, reduzidos teores de bases e altas concentrações de alumínio trocável, tóxico às plantas.

Solos dessa natureza, uma vez corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial agrícola. A calagem e a gessagem são técnicas desenvolvidas para a correção de condições de solo adversas ao bom desenvolvimento das culturas. O emprego da calagem resulta em melhoria comprovada das condições químicas do solo, como por exemplo, a elevação do pH, do teor de Ca^{+2} e Mg^{+2} , aumento da atividade microbiana e a liberação de nutrientes, tais como N, P, S pela decomposição da matéria orgânica, aumento das cargas dependentes de pH e, conseqüentemente, a CTC dos solos (LOPES, 1989).

Contudo, a atuação do carbonato de cálcio depende de práticas dispendiosas de incorporação ao solo, por ser um sal de reduzida solubilidade em água, da ordem de 0,0014 g/100 mL (BORKERT et al., 1987). O calcário apresenta eficiência máxima quando é bem misturado ao solo e à maior profundidade possível. Normalmente a calagem é realizada incorporando-se o material corretivo à camada arável do solo, por isso, seus efeitos normalmente restringem-se à profundidade em torno de 0 a 20 ou de 0 a 30 cm. A presença de camadas subsuperficiais com baixos teores de Ca^{2+} e, ou, elevados teores de Al^{3+} pode determinar a perda de safras, uma vez que conduzem ao menor aprofundamento do sistema radicular, refletindo em menor volume de solo explorado, ou seja, menos nutrientes e água disponíveis para a planta (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999).

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) não corrige a acidez nem promove a elevação do pH do solo, por tratar-se de um sal neutro, não podendo substituir, portanto o calcário. Quando aplicado ao solo e após sua dissolução, que é bastante rápida, move-se para as camadas subsuperficiais do solo, aumentando os teores de cálcio e reduzindo os de alumínio em profundidade. Isto favorece o aprofundamento das raízes, permitindo às plantas usar com maior eficiência a água e os nutrientes aplicados ao solo (SOUSSA et al., 1995). Portanto, a

gessagem é conhecida por sua habilidade condicionadora das camadas subsuperficiais do solo ao maior desenvolvimento radicular.

A solubilidade do gesso, em geral, é elevada em comparação com a do calcário, da ordem de 172 vezes maior (solubilidade do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,241$ g/100 ml) em água, o que lhe confere uma grande vantagem com relação à mobilidade, apresentando maiores efeitos em profundidade penetrando no subsolo com as águas de percolação, fornecendo o cálcio às raízes (VITTI, 1987).

Por isso, o gesso agrícola vem sendo utilizado como um agente promotor de melhoria das condições químicas de solos ácidos. Ao solubilizar-se, o gesso libera Ca^{2+} e SO_4^{2-} para a solução do solo e, dependendo da quantidade de água e da dose aplicada, os cátions, principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , movem-se em profundidade no solo, acompanhando o ânion SO_4^{2-} (REEVE & SUMNER, 1972; RITCHEY et al., 1980).

2.3. Floculação e dispersão da fração argila do solo.

Dentre as frações granulométricas do solo, a fração argila apresenta grande importância por ser a fração ativa, responsável pela maior parte da atividade físico-química que se desenvolve no meio. Em solos de regiões de clima árido ou semi-árido essa fração é dominada por minerais do grupo dos aluminossilicatos, enquanto que em regiões de intemperismo acentuado são encontradas quantidades significativas de óxidos de Fe^{2+} e Al^{3+} (LIMA, 1997).

Durante a formação dos minerais primários, pode ocorrer substituição de Si^{+4} por Al^{+3} nos tetraedros e de Al^{+3} por Mg^{+2} e, ou Fe^{+2} nos octaedros, que produzem um desequilíbrio na eletroneutralidade do cristal, resultando em uma carga líquida negativa permanente. Adicionalmente, existem cargas originadas por protonação ou desprotonação de grupos hidroxilas terminais. A carga negativa assim gerada atrai cátions e repele ânions da superfície dos minerais, e sua distribuição é importante para o comportamento do conjunto das partículas do solo (SUMNER, 1995).

Em solução coloidal, os íons trocáveis dispõem-se ao redor das partículas, constituindo a dupla camada difusa (WUTKE, 1972). Esta, por sua vez, é formada pela Camada de Stern, constituída pelos cátions fortemente adsorvidos (Al>Ba>Ca>Mg>K>Na), que formam uma camada relativamente fixa à superfície da partícula e pelos cátions que se difundem a maiores distâncias (FERREIRA, 1997). A espessura da dupla camada difusa é determinada pela valência e concentração de íons de sinais opostos àqueles existentes na superfície das partículas, raio iônico e grau de hidratação dos íons. Dessa forma, quanto maior a concentração de íons na solução do solo, maior será a compressão da dupla camada, o que possibilita a aproximação das partículas de argila levando à floculação, sendo esse efeito bastante visível em sistemas que existem argilominerais expansíveis (BAVER et al, 1972; VAN OLPHEN, 1977). Por outro lado, sob baixo conteúdo eletrolítico da solução do solo, a dupla camada torna-se mais espessa e os colóides dispersos. Em concentrações eletrolíticas equivalentes, cátions polivalentes têm maior poder de neutralizar as cargas das partículas, resultando em maior floculação que os monovalentes, haja vista que a espessura da dupla camada difusa é inversamente proporcional ao quadrado da valência do íon. Assim, a dupla camada difusa é mais comprimida em caso de um solo saturado com cálcio, divalente, do que com sódio, monovalente, por exemplo. Quanto mais extensa a dupla camada, maior é a força repulsiva entre as partículas coloidais, facilitando a dispersão do sistema (SUMNER, 1995). Assim, aumentos na concentração de eletrólitos levam a uma redução na espessura da camada difusa, o mesmo acontecendo pela diferença de íons divalentes em relação aos monovalentes (VAN OLPHEN, 1977; FASSBENDER, 1984).

A aplicação de corretivos ao solo, possibilita uma série de reações que resultam na neutralização da acidez do solo. Tais reações permitem alterações tanto de ordem química quanto física. As modificações ocasionadas tanto na concentração eletrolítica da solução, quanto na valência dos íons predominantes influenciam os fenômenos de dispersão e floculação e, conseqüentemente, a porosidade estrutural do solo.

Para a floculação e, conseqüentemente, formação de boa estrutura do solo, as cargas elétricas negativas das partículas de argilas necessitam ser neutralizadas. Em condições de baixo pH, há neutralização dessas cargas e floculação das argilas devido à presença dos íons H^+ em concentrações elevadas. Já em condições de alcalinidade, pH acima de 7,0, a neutralização não ocorre, haja vista a não predominância desse íon em solução. Neste caso as partículas coloidais se repelem ficando dispersas, em suspensão (PIZARRO, 1978).

O aumento no pH determina aumento nas cargas elétricas negativas das partículas de argila, que se originam, principalmente, da dissociação dos íons H^+ dos grupos OH^- nas bordas quebradas dos argilominerais silicatados, nos grupos funcionais da matéria orgânica e dos hidróxidos de ferro e alumínio (Brady, 1989). Excesso de cargas elétricas negativas nas partículas de argila desfavorece a aproximação entre as partículas, aumentando a dispersão (MESQUITA *et al.*, 1993).

2.4. Análise de imagem

As características físico-químicas do solo são governadas pela fração argila, sendo denominada de fração ativa do solo devido a sua elevada área superficial, conjugada a presença de cargas elétricas. As características físicas do solo, representadas pelos fenômenos de floculação e dispersão, são por sua vez controladas pela espessura da dupla camada difusa, sendo esta determinada pela valência e concentração de íons de sinais opostos àqueles existentes na superfície das partículas. A aplicação de calcário ao solo altera a concentração e valência dos íons presentes no complexo de troca do solo, pelo fornecimento de cátions básicos bivalentes (Ca^{+2} e Mg^{+2}) que são trocados pelos cátions predominantes nas argilas silicatadas ácidas (H^+ e Al^{+3}). Dessa forma, a calagem pode alterar, em parte, as características físicas do solo.

O grau de modificação sofrido pelo solo pode ser quantificado através de fórmulas empíricas, que dão uma idéia aproximada das modificações na estrutura do solo. Estas quantificações, no entanto, não permitem visualizar a redistribuição das frações coloidais do solo, nem tão pouco permite quantificar de forma mais precisa a porosidade, como também a identificação da predominância das formas, tamanhos e tipos de porosidade afetada pelas correções.

O emprego da técnica de análise de imagem serve como uma ferramenta de grande relevância para a averiguação do efeito de corretivos calcários sobre as características físicas do solo. Pouco se tem demonstrado sobre a influência desse tipo de prática nos fenômenos de dispersão e floculação dos colóides do solo. A realização de trabalhos dessa natureza permite visualizar a interação entre as partículas do corretivo empregado e as frações granulométricas do solo, possibilitando quantificar as modificações da porosidade quanto ao total de poros, sua distribuição espacial e formas dominantes.

Estudos micromorfológicos, especialmente conjugados a análise de imagens digitalizadas de blocos de solo impregnados com resina de poliéster e corantes ultra-violeta ou de lâminas delgadas observadas ao microscópio petrográfico e eletrônico, têm sido bastante utilizados para este tipo de investigação. Estes estudos, no entanto, são principalmente utilizados para averiguações da influência do manejo nas condições físicas do solo, especialmente no que diz respeito à porosidade, estruturação, adensamentos e compactações.

Análise de imagens não é um processo novo para a ciência do solo (MERMUT & NORTON, 1992), pois pesquisadores já têm utilizado o processo de quantificação por contagem de ponto há mais de 50 anos. O processo de digitalização, processamento e interpretação quantitativa, no entanto, é novo tendo começado em 1966. Moran (1992) faz uma retrospectiva sobre o processamento de imagem em micromorfologia do solo definindo este processamento como a utilização de imagens digitais para estudar a forma das feições do solo ou parâmetros derivados destas feições. A tarefa primária de uma medida de imagem é fornecer informações quantitativas sobre os solos. Há muitas opções de mensuração de feições individuais e componentes a elas conectadas em imagem de solos.

Muitos trabalhos têm utilizado a análise digital de imagens de solo na avaliação quantitativa da porosidade e estruturação como Bouabid *et al.* (1992); Grevers & Jong (1992); Mermut *et al.* (1992); Sweeney & Frotz *et al.*, (1992).

Embora os trabalhos de análise de imagens aplicados a estudos de solo tenham se concentrado mais na avaliação da porosidade e estruturação de solos sob cultivo, há aplicações diversificadas especialmente para avaliação de raízes, textura matricial dos solos, caracterização mineralógica das frações mais grossas etc.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solos utilizados

Utilizaram-se três amostras de dois solos provenientes da Zona da Mata de Pernambuco, com características químicas e físicas diferentes. Suas classificações e localizações encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1. Identificação, classe, procedência e profundidade de amostragem dos solos estudados.

Identificação	Classe de solo	Procedência	Profundidade Cm
FTA	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico típico profundo textura média/argilosa fase floresta subperenifólia relevo forte ondulado	Usina Bom Jesus – Cabo de Santo Agostinho	0 – 10
FTA	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico típico profundo textura média/argilosa fase floresta subperenifólia relevo forte ondulado	Usina Bom Jesus – Cabo de Santo Agostinho	30 – 90
NVd1	NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico muito profundo textura argilosa fase floresta subperenifólia relevo ondulado	Engenho Algoduais – Cabo de Santo Agostinho	45 – 100

Foram coletadas amostras, com estrutura deformada, nos horizontes dos perfis selecionados, que se apresentam nas Figuras 1 e 2, para caracterização química e física e montagem do experimento, além de torrões para determinação da densidade do solo.



FIGURA 1- Perfil 2 (acima). PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico típico profundo textura média/argilosa fase floresta subperenifólia relevo forte ondulado. Na foto de baixo, observa-se o relevo forte ondulado com plantio de cana-de-açúcar. Proximidades da Usina Bom Jesus (Coordenadas UTM: 9086560 x 268920).

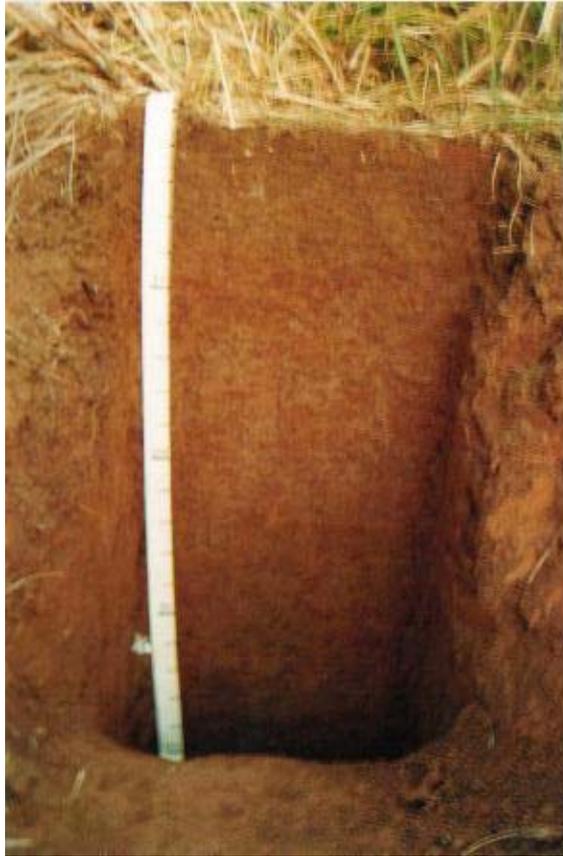


FIGURA 2 - Perfil 12 (acima). NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico muito profundo textura argilosa fase floresta subperenifólia relevo ondulado. A cor do solo está um pouco alterada em virtude da foto ter sido tomada ao cair da tarde. Nas fotos de baixo: à esquerda, relevo e plantio de cana-de-açúcar no local do perfil. 12; à direita, mangueiras, próximas ao ponto de observação C54), em mesmo tipo de solo e relevo. Engenho Algoduais (Coordenadas UTM no local do perfil: 9080170 x 278880).

Após a coleta, as amostras deformadas para realização das análises químicas e físicas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Na TFSA foram determinados os teores de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis através da extração com KCl 1 mol/l, sendo determinados por volumetria; sódio e potássio trocáveis extraídos por solução Mehlich-1 e dosados por fotometria de chama; acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) por extração com acetato de cálcio, determinada por volumetria; carbono orgânico, pelo método Walkley-Black. Todas as análises foram realizadas seguindo os métodos descritos no Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 1997) (Quadro 2).

Excluído: ??????????

Na caracterização física procederam-se as determinações da densidade do solo pelo método do torrão parafinado e a análise granulométrica pelo método do densímetro, usando como dispersante o hexametáfosfato de sódio (EMBRAPA, 1997) (Quadro 3).

O problema mais generalizado dos solos estudados está relacionado com a baixa fertilidade natural e com acidez excessiva, conjugada à presença de elevados teores de alumínio trocável. Os mesmos apresentaram pH em água inferior a 4,4 e teores de alumínio trocável acima de $1,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, com saturação por bases muito baixa, sendo classificados como dsitróficos, com baixos teores de cálcio e magnésio de acordo com a Comissão Estadual de Fertilidade do Solo-PE (CAVALCANTI et al., 1998)

Quadro 2. Características químicas das amostras de solos estudadas.

Símbolo	Solo	Profundidade	pH H ₂ O (1:2,5)	C ¹	Complexo Sortivo							Saturação			
					Ca	Mg	Na	K	S	H+Al	Al	CTC ²	Na	Al	Bases
		Cm	g/kg		cmol _c /kg							%			
FTA		0 – 10	4,34	10,48	0,26	0,56	0,06	0,21	1,09	3,96	1,10	5,05	< 1	50	22
FTA		30 – 90	3,83	3,10	0,98	0,33	0,06	0,02	1,39	24,50	11,70	25,89	< 1	90	6
NVd1		45 – 100	4,17	5,10	0,83	0,35	0,06	0,08	1,32	5,28	1,90	6,6	< 1	60	20

¹ Carbono orgânico; ² Capacidade de troca de cátions.

Quadro 3. Características físicas dos solos estudados.

Solo	Fração Grosseira	Composição Granulométrica						Argila dispersa em água	GF ²	Relação Silte / Argila	Classe Textural
		Símbolo	Profundidade	TFSA ¹	Cascalho + Calhaus	Areia					
				g/kg				g/100g			
FTA	00 – 10	896,9	103,1	360	170	280	190	140	26	1,47	Franco-arenosa
FTA	30 – 90	927,7	72,3	200	150	280	370	20	95	0,76	Franco-argilosa
NVd1	45 – 100	810,1	189,9	20	10	520	450	0	100	1,16	Argilossiltosa

¹ Terra fina seca ao ar; ² Grau de floculação.

3.2. Calagem e gessagem

Para a correção da acidez e neutralização do alumínio trocável dos solos foram definidos tratamentos de calagem e gessagem. Na calagem utilizou-se carbonato de cálcio e carbonato de cálcio e magnésio, já para a gessagem foi utilizado o sulfato de cálcio.

A necessidade de calagem foi calculada pelo método de saturação por bases (Quaggio, 1983), objetivando-se elevar a saturação por bases dos solos a 60%. Calculou-se a saturação por bases (V1) de cada amostra de solo através do quociente entre a soma de bases (S) e a capacidade de troca de cátions (CTC). A necessidade de calagem (NC) foi determinada através da fórmula $NC(t/ha) = (V2 - V1) \times CTC/100$ (Raij, 1981), onde CTC = capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V2 = saturação por bases a ser atingida; V1 = saturação de bases atual do solo. A CTC neste caso foi obtida através da soma de bases acrescida aos teores de $H^+ + Al^{3+}$ extraídos com a solução de acetato de cálcio a pH 7,0.

A dose de gesso foi calculada conforme a recomendação do Boletim de Recomendações de Minas Gerais (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999), que orienta acrescentar uma dose de gesso correspondente a 25 % da necessidade de calagem de cada solo.

As características e as quantidades dos corretivos utilizados são apresentadas nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4. Doses de calcários e gesso utilizados.

Tratamento	Solo		
	FTa Ap	FTa	NVd1
	(0-20 cm)	(30 - 90 cm)	(45-100 cm)
	t/ha		
Testemunha (T)	0	0	0
Carbonato de cálcio (CC)	1,39	10,14	1,67
Carbonato de cálcio e magnésio (CM)	1,39	10,14	1,67
Sulfato de cálcio (G)	0,25	1,84	0,30
Carbonato de cálcio + Sulfato de cálcio (CCG)	1,39 + 0,25	10,14 + 1,84	1,67 + 0,30
Carbonato de cálcio e magnésio + Sulfato de cálcio (CMG)	1,39 + 0,25	10,14 + 1,84	1,67 + 0,30

Quadro 5. Características dos corretivos utilizados.

	CaO	MgO	PRNT
	%		
Carbonato de Cálcio	56	–	100
Carbonato de cálcio e magnésio	42	10	100
Sulfato de Cálcio	41	–	100

3.3. Condução experimental

O experimento foi conduzido em colunas de PVC com 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro, divididas em dois cilindros de 15 cm. As colunas foram fechadas na base, deixando-se apenas um orifício, onde foi acoplada uma mangueira como dreno para permitir a passagem do lixiviado. Para evitar a perda de solo, colocou-se uma tela de algodão forrando o dreno.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial 3x6, sendo três amostras de solos e seis tratamentos de correção, com quatro repetições, perfazendo um total de 72 unidades experimentais, sendo que uma amostra de cada tratamento foi escolhida aleatoriamente para análise de imagem.

As amostras de solo foram acondicionadas nas colunas em dois cilindros, um inferior de 15 a 30 cm e outro superior, de 0 a 15 cm. O acondicionamento das amostras de solos nas colunas de PVC foi realizado de forma padronizada, permitindo um rearranjo mais uniforme possível das partículas do solo. A massa de solo adicionada por coluna variou conforme as características físicas das amostras de solos, o que não permitiu repetir a densidade do solo em condições de campo. O cilindro inferior recebeu apenas o solo, sem corretivo, sendo os tratamentos incorporados na massa de solo do cilindro superior.

Após receberem os tratamentos, as amostras de solo foram submetidas a uma aplicação de água objetivando elevar a umidade do solo a capacidade de pote. No dia seguinte, adicionou-se a primeira lâmina de irrigação de um total de quatro aplicações, sendo as mesmas realizadas semanalmente. A quantidade total de água adicionada correspondeu a duas vezes o volume de poros sendo que a cada aplicação foi adicionado um quarto desse volume. Após esse período, 29 dias de condução do experimento, os tratamentos foram submetidos a um período de sete dias sem aplicação de lâmina de irrigação. Após cada irrigação, foram coletadas amostras do lixiviado para a determinação do pH, condutividade elétrica e teores de cálcio e magnésio, com quatro coletas ao todo. As características físicas apresentadas pelas amostras de solos nas colunas, bem como a massa de solo acondicionada e volume de água aplicado são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6. Dados referentes as amostras de solos acondicionadas nas colunas de PVC.

Símbolo	Solo Profundidade	Ms ¹ g	Ds ² g/cm ³	Dp ³	VTP ⁴ cm ³	Água aplicada mL
FTA	0 – 10	1594	2,55	2,55	1108	277
FTA	30 - 90	1400	1,20	2,60	1268	317
NVd1	45 - 100	1300	1,10	2,86	1450	362

¹Massa de solo acondicionada; ²Densidade do solo; ³Densidade das partículas;

⁴Volume total de poros.

Completado o período de incubação, 36 dias, as colunas foram divididas em dois cilindros (superior e inferior), separando-se o solo para secagem ao ar. Depois de seco, o material contido em cada cilindro foi preparado, obtendo-se a TFSA para análises físicas e químicas.

Foi realizada a medida do pH em água e determinaram-se os teores de Ca, Mg, Na, K, Al e H+Al, conforme métodos citados anteriormente.

Nas análises físicas, foi realizada a determinação da argila dispersa em água, calculando-se o grau de dispersão das amostras; determinou-se, também, a umidade à capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, com o extrator de Richards, calculando-se a água disponível; e a condutividade hidráulica em meio saturado (EMBRAPA, 1997).

Procedida a realização das análises físicas e químicas os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância para os fatores solo e tratamento e sua interação. Para as variáveis que os fatores foram significativos, foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias ao nível de 5% de probabilidade.

Foi feito, também, o preparo das amostras para os estudos de análise de imagens segundo método descrito por Murply (1986). Após a secagem em estufa, as amostras foram impregnadas sob vácuo com resina de poliéster contendo corante ultravioleta. Após polimerização, os blocos foram cortados e polidos para, posteriormente, serem iluminados com luz UV e fotografados. O processamento final das imagens fotografadas e digitalizadas foi realizado com o programa Adobe-Photoshop e a análise quantitativa com o programa Imagem de domínio público e distribuído pelo "National Institute of Health" dos Estados Unidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades químicas dos solos após incubação

Em condições naturais, as amostras dos solos estudados apresentaram reação ácida, com valores de pH de 4,34, 3,83 e 4,17 para o Plintossolo horizonte Ap, Plintossolo horizonte Bt e Nitossolo horizonte B1, respectivamente. Estes valores de pH refletem o equilíbrio da acidez ativa com os elevados valores de acidez potencial encontrados. Adicionalmente, apresentaram fertilidade natural muito baixa, com reduzidos teores de bases trocáveis e elevada saturação por alumínio (acima de 50%) o que lhes confere o caráter álico, justificando o uso destas amostras de solo (Quadro 2).

Após a aplicação dos tratamentos e o período de incubação, algumas características químicas foram alteradas, verificando-se efeito significativo para os fatores solo, cilindro, tratamento de correção e das interações entre os mesmos.

Quanto aos valores de pH do solo, nota-se uma leve tendência de aumento ao se comparar com o pH antes da aplicação dos corretivos (Quadro 7), ou seja, pH do solo em condições naturais (Quadro 2). Contudo, percebe-se que os índices médios de pH ficaram abaixo da faixa considerada ideal para a maioria das culturas, mesmo após a aplicação dos tratamentos de correção.

Solos com maiores teores de argila e de matéria orgânica apresentam maior acidez potencial ($H^+ + Al^{+3}$) e, conseqüentemente, maior necessidade de calcário. De acordo com Ross et al. (1964) apud Lima Junior e Lima (1998), existe uma correlação estreita entre a necessidade de calagem e a CTC a pH 7,0, a matéria orgânica, a soma de bases e o hidrogênio trocável. Quando se adiciona calcário ao solo, a resistência à elevação do pH se deve inicialmente aos íons Al^{+3} . Quando a quantidade de bases adicionada for suficiente para superar a ação tamponante devido, principalmente, ao alumínio, o pH estará situado numa faixa de 5,5 a 6,0. Desse ponto em diante, a resistência à elevação do pH será devido à dissociação de hidrogênios de grupos OH^- expostos das arestas das argilas (Wutke, 1972). Tal comportamento foi registrado por Carvalho (1995), demonstrando que a partir de pH 5,5, o Al^{+3} trocável não afeta mais a reação do solo, sendo o H^+ trocável o principal componente responsável pela acidez, o que provém das ligações covalentes, principalmente, dos grupos carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica.

A não elevação dos níveis de pH nos solos estudados à faixa ideal deve-se, provavelmente, ao método de neutralização utilizado para cálculo da necessidade de calagem, saturação por bases, que para essa condição de estudo subestimou a quantidade de corretivo aplicado, uma vez que os solos apresentam teores de Al^{+3} trocáveis bastantes expressíveis.

Os teores de Al^{+3} trocável e acidez potencial foram maiores para o Plintossolo horizonte Bt, o que refletiu, conseqüentemente, em maior saturação por alumínio (Quadros 7), mesmo sendo esse o solo que recebeu maior quantidade de corretivo.

Quadro 7. Características químicas médias das amostras dos solos estudados após a aplicação dos tratamentos de correção.

Variáveis	Amostra		
	FTA – Horiz. Ap	FTA – Horiz. Bt	NVd1 – Horiz. B1
pH em água	4,88 a	4,69 b	4,53 c
Na, $cmol_c/dm^3$	0,01 a	0,01 a	0,01 a
K, $cmol_c/dm^3$	0,003 a	0,012 a	0,003 a
Ca, $cmol_c/dm^3$	0,52 c	1,13 b	1,24 a
Mg, $cmol_c/dm^3$	0,62 a	0,53 b	0,46 c
Al, $cmol_c/dm^3$	1,72 c	10,00 a	2,83 b
H+Al, $cmol_c/dm^3$	6,39 b	11,37 a	5,81 b
CO ¹ , g/kg	10,44 a	3,25 c	5,00 b
S ² , $cmol_c/dm^3$	1,18 c	1,08 b	1,72 a
CTC ³ , $cmol_c/dm^3$	7,57 b	13,05 a	7,53 b
M ⁴ , %	58,55 c	79,95 a	61,55 b
V ⁵ , %	15,70 b	15,85 b	23,38 a

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Carbono orgânico; 2 – Soma de bases; 3 – Capacidade de troca de cátions; 4 – Percentagem de saturação por alumínio; 5 – Percentagem de saturação por bases.

Observa-se, também um leve incremento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} das três amostras de solos estudados, com maior teor de Ca^{+2} para o Nitossolo e de Mg^{+2} para o Plintossolo Horizonte Ap.

Na separação das colunas nos dois cilindros, superior e inferior, foram encontradas diferenças significativas nas propriedades das amostras de solos, com exceção dos teores de carbono orgânico. Os cátions do complexo sortivo

apresentaram-se em concentrações mais elevadas no cilindro superior, pois foi aquele que recebeu a aplicação dos corretivos. Esse fato evidencia que grande parte dos corretivos aplicados nas amostras permaneceu no cilindro superior, ou seja, houve pequena movimentação descendente de cátions nas colunas (Quadro 8).

Quadro 8. Características químicas médias das amostras de solos nos cilindros após a aplicação dos tratamentos.

Variáveis	Cilindro	
	Superior	Inferior
PH em água	4,825 a	4,588 b
Na, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	0,012 a	0,013 a
K, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	0,014 a	0,016 a
Ca, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	1,126 a	0,802 b
Mg, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	0,602 a	0,471 b
Al, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	3,354 b	6,347 a
H+Al, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	6,418 b	9,292 a
CO ¹ , g/kg	6,167 a	6,279 a
S ² , $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	1,753 a	1,302 b
CTC ³ , $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	7,172 b	10,594 a
m ⁴ , %	58,209b	75,159 a
V ⁵ , %	22,65 a	13,96 b

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Carbono orgânico; 2 – Soma de bases; 3 – Capacidade de troca de cátions; 4 – Percentagem de saturação por alumínio; 5 – Percentagem de saturação por bases.

Com relação aos tratamentos utilizados, observaram-se diferenças estatisticamente significativas, exceto quanto aos valores de carbono orgânico. Os tratamentos contendo corretivos proporcionaram melhoria nas condições químicas dos solos estudados, o que fica evidente ao se comparar o tratamento sem corretivo (testemunha) com os demais tratamentos (Quadro 9).

As amostras submetidas aos tratamentos contendo carbonato de cálcio e carbonato de cálcio e magnésio apresentaram maiores valores de cálcio e de magnésio, respectivamente. Já o tratamento contendo sulfato de cálcio proporcionou as amostras de solos acréscimo nos valores de cálcio, mas não nos de magnésio.

Esse comportamento era de se esperar dada à quantidade dos mesmos nos produtos utilizados.

Quadro 9 - Características químicas médias das amostras de solos entre os tratamentos aplicados.

Variáveis	Tratamento					
	CC	CM	G	CCG	CMG	T
pH em água	4,8 a	4,8 a	4,7 a	4,7 a	4,7 a	4,4 b
Na, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	0,01 a	0,00 a	0,01 a	0,02 a	0,01 a	0,02 a
K, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	0,02 a	0,01 a	0,01 a	0,02 a	0,01 a	0,02 a
Ca, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	1,13 ab	0,93 bc	1,09 b	1,18 a	0,83 d	0,62 e
Mg, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	0,50 d	0,62 b	0,42 e	0,47 d	0,67 a	0,54 c
Al, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	4,47 bc	4,44 bc	4,52 bc	5,55 ab	3,90 c	6,22 a
H+Al, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	7,27 b	7,31 b	7,79 ab	8,25 ab	7,38 b	9,11 a
CO, g/kg	6,17 a	6,49 a	6,04 a	5,76 a	6,36 a	6,52 a
S, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	1,66 a	1,57 b	1,53 b	1,68 a	1,53 b	1,19 c
CTC, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	8,93 ab	8,89 b	9,66 ab	9,93 ab	8,91 b	10,31 a
m, %	62,91 c	62,56 c	67,92 b	65,30 bc	62,37 c	78,06 a
V, %	20,72 a	19,77ab	18,20 b	19,44 ab	19,55 ab	12,18 c

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Carbono orgânico; 2 – Soma de bases; 3 – Capacidade de troca de cátions; 4 – Percentagem de saturação por alumínio; 5 – Percentagem de saturação por bases.

Observou-se que o efeito dos tratamentos de correção nas propriedades químicas dos solos foi mais pronunciado no cilindro superior, com maiores incrementos em Ca e Mg e reduções mais significativas nos teores de Al e H+Al, refletindo na saturação por Al e por bases das amostras (Quadro 10). No cilindro inferior, maiores teores de cálcio foram relacionados aos tratamentos contendo carbonato de cálcio isolado (CC) e sua combinação com sulfato de cálcio (CCG). Os tratamentos contendo carbonato de cálcio e magnésio (CM) e sua combinação com sulfato de cálcio (CMG), proporcionaram, por sua vez, maiores teores de magnésio nas referidas camadas (Quadro 11). Esse fato evidencia a contribuição dos carbonatos no fornecimento de Ca e Mg e o efeito do sulfato de cálcio em profundidade.

Quadro 10. Características químicas médias das amostras de solos entre tratamentos para cada camada analisada.

Variável	Tratamento					
	CC	CM	G	CCG	CMG	T
Cilindro superior (0 - 15 cm)						
pH em água	4,9 a	5,0 a	4,8 a	4,8 a	4,9 a	4,5 b
Na, cmol _c \dm ³	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a
K, cmol _c \dm ³	0,02 a	0,01 a	0,01 a	0,02 a	0,01 a	0,01 a
Ca, cmol _c \dm ³	1,40 b	1,06 d	1,23 c	1,49 a	0,92 e	0,65 f
Mg, cmol _c \dm ³	0,53 d	0,69 b	0,43 e	0,50 d	0,81 a	0,64c
Al, cmol _c \dm ³	2,13b	2,21 b	2,75 b	4,70 a	2,00b	6,32 a
H+Al, cmol _c \dm ³	5,26 c	5,32 c	6,11 bc	7,51 ab	5,18 c	9,13 a
CO ¹ , g/kg	5,62 a	6,75 a	6,16 a	5,74 a	6,18 a	6,55 a
S ² , cmol _c \dm ³	1,97 a	1,77 b	1,69 b	2,01 a	1,76b	1,32 c
CTC ³ , cmol _c \dm ³	7,23 c	7,08 c	7,80 bc	9,52 ab	6,94 c	10,45 a
m ⁴ , %	49,76 d	53,45 cd	61,83 b	55 33 c	51 13 cd	77,74 a
V ⁵ , %	27,32 a	25,03 abc	21,91 c	23,23 bc	25,51 ab	12,91 d
Cilindro inferior (15 - 30 cm)						
pH em água	4,69 a	4,66 a	4,60 a	4,58 a	4,56 a	4,43 a
Na, cmol _c \dm ³	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,02 a
K, cmol _c \dm ³	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,02 a
Ca, cmol _c \dm ³	0,87 b	0,80 bc	0,95 a	0,87 ab	0,47 c	0,58 d
Mg, cmol _c \dm ³	0,46 b	0,55 a	0,41 c	0,44 bc	0,53 a	0,43 bc
Al, cmol _c \dm ³	6,82 a	6,67 a	6,28 a	6,40 a	5,80 a	6,11 a
H+Al, cmol _c \dm ³	9,58 a	9,31 a	9,47 a	9,00 a	9,58 a	9,10 a
CO ¹ , g/kg	6,72 a	6,22 a	5,92 a	5,78 a	6,54 a	6,54 a
S ² , cmol _c \dm ³	1,34 a	1,38 a	1,38 a	1,33 a	1,30 a	1,06 b
CTC ³ , cmol _c \dm ³	10,63 a	10,69 a	10,85 a	10,34 a	10,88 a	10,16 a
m ⁴ , %	76,05 a	73,66 a	74,01 a	75,26 a	73,61 a	78,37 a
V ⁵ , %	14,11 ab	14,50 ab	14,49 ab	15,65 a	13,60 ab	11,44 b

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Carbono orgânico; 2 – Soma de bases; 3 – Capacidade de troca de cátions; 4 – Percentagem de saturação por alumínio; 5 – Percentagem de saturação por bases.

A ação de corretivo calcário restrito a camada superficial é fato bastante discutido na literatura (Caíres et al., 2003), onde há um aumento significativo do pH,

teores de Ca e Mg e saturação por bases, conseqüentemente, redução significativa dos teores de H + Al do solo. O gesso propicia aumento de bases em profundidade, causando uma leve redução inicial do pH, redução do Al trocável e aumento do Ca^{2+} e do SO_4^{2-} (Braga, 1995). A associação do calcário com o gesso possibilita uma melhor redistribuição das bases em profundidade (Salata et al., 1995; Caíres et al., 1999; Salvada et al., 1999).

Raij et al. (1998) observaram que a calagem influenciou, consideravelmente, a camada superficial do solo, aumentando o pH, os teores de Ca e Mg reduzindo a acidez potencial, mas pouco influenciou as camadas mais profundas. O gesso influenciou nos teores de Ca^{+2} e SO_4^{-2} em profundidade embora de forma pouco pronunciada em relação às quantidades aplicadas, e não alterou as características de acidez.

Ao sofrer dissolução, o gesso libera Ca^{+2} e SO_4^{2-} para a solução do solo. Uma vez na solução do solo, o íon Ca^{+2} pode reagir no complexo de troca, deslocando cátions como Al^{+3} , K^+ , Mg^{+2} , H^+ , etc para a solução do solo, que podem por sua vez, reagir com o SO_4^{2-} formando AlSO_4^+ (que é menos tóxico às plantas e pode ser lixiviado) e os pares neutros: K_2SO_4^0 e MgSO_4^0 , além do CaSO_4^0 (Reeve & Summer, 1972; Ritchey et al., 1980). Em função da sua neutralidade, os pares iônicos apresentam grande mobilidade ao longo do perfil, ocasionando uma descida de cátions para as camadas mais profundas do solo. Esse comportamento envolve aspectos ligados ao equilíbrio entre cálcio, magnésio e potássio, devido à elevação dos teores de cálcio e à possível movimentação de magnésio e potássio, notadamente da camada superficial do solo, e está relacionado com a dose de corretivo aplicada e a quantidade de água percolada no perfil (Quaggio et al., 1982; Rosolem & Machado, 1984; Souza & Ritchey, 1986).

No cilindro superior, os maiores teores de alumínio trocável foram observados para o tratamento sem corretivo (T) e a combinação de carbonato de cálcio mais sulfato de cálcio (CCG). Saigussa & Toma (1997) propuseram o seguinte mecanismo para explicar a redução do alumínio trocável: primeiramente, o Al^{+3} trocável adsorvido nos sítios de troca seria liberado na solução do solo em decorrência do aumento da força iônica causada pela aplicação do gesso e, após, os monômeros de Al^{+3} presentes na solução seriam polimerizados na presença dos colóides do solo. Finalmente, estes polímeros de alumínio seriam seletiva e irreversivelmente fixados nos sítios de troca catiônica.

Foram verificadas elevações nos valores da soma de bases e da saturação por bases, com a aplicação dos tratamentos para as três amostras de solos, o que pode

ser evidenciado ao se comparar os dados de caracterização dos solos (Quadro 2) com os resultados obtidos após a aplicação dos tratamentos de correção (Quadros 11, 12 e 13).

Quadro 11. Resultados das análises químicas das amostras do Plintossolo horizonte Ap com a aplicação dos tratamentos de correção nos dois cilindros da coluna.

Trat.	pH	Na	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S ¹	CO ²	m ³	V ⁴
água		cmol/dm ³						g/kg		%	
Cilindro superior (0-15 cm)											
CC	4,9ab	0,02 ^a	0,03a	0,7ab	0,7ab	1,1a	5,8a	1,5a	9,9a	43,1c	20,2ab
CM	5,1 ^a	0,01 ^a	0,02a	0,6b	0,8a	1,3a	5,8a	1,4a	11,1a	48,8bc	19,0ab
G	4,9ab	0,01a	0,02a	0,7ab	0,6b	2,0a	7,1a	1,3a	10,7a	60,5ab	15,5ab
CCG	5,2 ^a	0,01 ^a	0,03a	0,8a	0,6b	1,2a	5,8a	1,4a	9,8a	46,0c	19,4ab
CMG	5,1 ^a	0,01 ^a	0,02a	0,7a	0,8a	1,1a	5,6a	1,4a	10,1a	42,7c	20,7a
T	4,3b	0,01a	0,03a	0,3c	0,6b	2,3a	6,8a	0,9b	10,1a	70,5a	12,2b
Cilindro inferior (15-30 cm)											
CC	4,9a	0,01 ^a	0,03a	0,3b	0,6ab	2,1a	6,6a	0,9a	10,8a	69,1a	13,0a
CM	4,8a	0,01 ^a	0,02a	0,4ab	0,7a	1,9a	6,9a	1,1a	10,9a	62,8a	13,8a
G	4,8a	0,01 ^a	0,03a	0,5ab	0,5c	1,9a	6,6a	1,1a	10,3a	63,9a	14,1a
CCG	4,8a	0,01 ^a	0,03a	0,6a	0,5c	2,0a	6,5a	1,1a	9,9a	64,2a	14,5a
CMG	4,9a	0,01 ^a	0,02a	0,4ab	0,6ab	1,8a	6,5a	1,0a	11,2a	62,8a	14,2a
T	4,6a	0,05 ^a	0,05a	0,3b	0,5c	2,0a	6,6a	0,9a	10,1a	68,2a	12,3a

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Soma de bases; 2 - Carbono orgânico; 3 – Percentagem de saturação por alumínio; 4 – Percentagem de saturação por bases.

A liberação de bases e reações dos calcários e gesso incorporados ao solo teve como consequência, em geral, a diminuição do teor de alumínio e de sua saturação. Para as amostras de subsuperfície, percebe-se que o Plintossolo horizonte Bt apresentou redução no teor de Al trocável no cilindro superior, correspondente a aplicação dos corretivos. Já para o Nitossolo horizonte B1, também no cilindro superior, não se observa esse comportamento. Segundo Wadt (2000), nas amostras de subsuperfície, a não redução do Al trocável pode ser atribuída a certa adsorção química do sulfato na camada de Stern pelas superfícies

de óxidos carregados positivamente. Essa dedução é reforçada com bases nos resultados obtidos por este autor, que afirma que o efeito da aplicação de gesso nas propriedades químicas do solo depende fundamentalmente das características eletroquímicas dos solos. Havendo superfície mineral com potencial eletropositivo, o sulfato tenderia a ser preferencialmente adsorvido por estas superfícies. Com o predomínio de superfícies com potencial eletronegativo e elevados teores de Al trocável, a principal reação do sulfato passa a ser de precipitação com o Al. Na amostra do Plintossolo horizonte Ap (Quadro 11) não foi encontrada diferença significativa para a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de base (S) e saturação por bases (V). A aplicação isolada de sulfato de cálcio proporcionou baixo valor de S, comparando-se com os demais tratamentos contendo corretivos.

Quadro 12. Resultados das análises químicas das amostras do Plintossolo horizonte Bt com a aplicação dos tratamentos de correção nos dois cilindros da coluna.

Trat	pH	Na	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S ¹	CO ²	m ³	V ⁴
água		cmol/dm ³						g/kg		%	
Cilindro superior (0-15 cm)											
CC	5,2a	0,01a	0,02a	1,5ab	0,4c	3,4b	5,3b	1,9ab	2,5a	63,9b	26,9ab
CM	5,2a	0,01a	0,01a	1,2cd	0,7b	3,5b	5,4b	1,9ab	3,6a	63,5b	26,2ab
G	5,1a	0,01a	0,01a	1,4bc	0,4c	3,0b	5,5b	1,7b	2,5a	62,9b	24,1ab
CCG	4,5b	0,01a	0,01a	1,6a	0,4c	11,0a	11,1a	2,0a	2,9a	77,9a	30,4bc
CMG	5,2a	0,01a	0,01a	1,1de	1,0a	3,1b	4,7b	2,0a	3,5a	60,1b	30,4a
T	4,4b	0,01a	0,01a	1,0e	0,9a	13,3a	14,1a	1,9ab	4,3a	87,4a	12,0c
Cilindro inferior (15-30 cm)											
CC	4,6a	0,01a	0,01a	1,1a	0,1a	14,9a	14,2a	1,5a	3,3a	90,7a	9,2a
CM	4,6a	0,01a	0,01a	0,9ab	0,5a	14,8a	14,9ab	1,4a	2,9a	91,3a	8,6a
G	4,4a	0,01a	0,01a	1,0a	0,4a	13,5a	15,6ab	1,4a	2,5a	90,4a	8,3a
CCG	4,3a	0,01a	0,01a	1,0a	0,4a	13,6a	15,9a	1,4a	3,2a	90,4a	8,4a
CMG	4,4a	0,01a	0,01a	1,0a	0,5a	12,7a	14,3a	1,5a	3,7a	89,1a	9,7a
T	4,5a	0,01a	0,01a	0,8b	0,4a	13,1a	14,4b	1,2a	3,6a	91,6a	7,7a

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Soma de bases; 2 - Carbono orgânico; 3 – Percentagem de saturação por alumínio; 4 – Percentagem de saturação por bases.

Quadro 13. Resultados das análises químicas das amostras do Nitossolo horizonte B1 com a aplicação dos tratamentos de correção nos dois cilindros da coluna.

Trat.	pH	Na	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S ¹	CO ²	M ³	V ⁴
	água	cmol _c /dm ³						g/kg	%		
Cilindro superior (0-15 cm)											
CC	4,6a	0,01a	0,002a	2,0a	0,5b	1,8a	4,7a	2,5a	4,4a	42,2c	34,8a
CM	4,6a	0,01a	0,003a	1,4c	0,6ab	1,9a	4,7a	2,0b	5,2a	48,1c	30,0ab
G	4,5a	0,01a	0,002a	1,7b	0,3c	3,3a	5,7a	2,0bc	5,2a	62,1ab	26,0b
CCG	4,7a	0,01a	0,003a	2,1a	0,5b	1,9a	5,6a	2,6a	4,5a	42,1c	31,7ab
CMG	4,5a	0,03a	0,005a	1,0d	0,7a	1,8a	5,2a	1,8c	5,0a	50,6bc	25,4b
T	4,4a	0,01a	0,003a	0,7e	0,4c	3,4a	6,5a	1,1d	5,2a	75,3a	14,5c
Cilindro inferior (15-30 cm)											
CC	4,6a	0,007a	0,002a	1,1ab	0,4bc	3,4a	6,0a	1,6a	6,0a	68,4a	20,7ab
CM	4,5a	0,008a	0,002a	1,1bc	0,5c	3,3a	6,1a	1,6a	4,8a	66,8	21,1ab
G	4,6a	0,008a	0,002a	1,3a	0,3c	3,4a	6,2a	1,6a	4,9a	67,6a	21,1ab
CCG	4,5a	0,010a	0,003a	1,0bc	0,4b	3,6a	4,6a	1,4ab	4,2a	71,1a	24,0a
CMG	4,3a	0,027a	0,008a	0,9cd	0,4bc	2,9a	8,0a	1,3b	4,7a	68,8a	16,8ab
T	4,3	0,019a	0,005a	0,7d	0,4bc	3,2a	6,3a	1,0c	5,7a	75,3a	14,3b

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Soma de bases; 2 - Carbono orgânico; 3 – Percentagem de saturação por alumínio; 4 – Percentagem de saturação por bases.

Quanto ao teor de alumínio trocável, evidenciado pela saturação por alumínio (m), percebe-se que todos os tratamentos contendo corretivos proporcionaram redução nesta variável, com exceção do tratamento CCG. Já a aplicação de sulfato de cálcio em forma isolada e sua combinação com carbonato de cálcio apresentaram os menores valores de saturação por bases.

Houve diferença na saturação por alumínio em função dos tratamentos aplicados no cilindro superior dos três solos, o que não ocorreu no cilindro inferior (Quadros 11, 12 e 13). Dentre os corretivos utilizados, o sulfato de cálcio em forma isolada foi o menos efetivo na redução da saturação por alumínio dos solos, provavelmente devido à pequena quantidade desse reagente aplicada (25 % da necessidade de calagem). Na literatura encontram-se relatos de doses de gesso bem mais elevadas, como Morelli et al. (1992),

utilizando doses de 0, 2, 4 e 6 t/ha de gesso, num Latossolo de textura média; Caires et al. (1999), com doses de 0, 4, 8 e 12 t/ha de gesso, num Latossolo textura média; Caires et al. (2003), com doses de 0, 3, 6 e 9 t/ha de gesso, num Latossolo textura argilosa; e Caires et al. (2004), com doses de 0, 3, 6 e 9 t/ha de gesso, num Latossolo de textura argilosa. Estes autores observaram resultados mais efetivos do gesso no aumento da saturação por bases e redução dos teores de alumínio e de sua saturação, pelas altas doses aplicadas. No presente trabalho utilizou-se a recomendação do Estado de Minas Gerais (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999), pela falta de referências estabelecendo doses recomendadas de gesso para os solos de Pernambuco.

As amostras do Nitossolo apresentaram maior atuação dos tratamentos nos resultados de soma de bases e saturação por bases, onde os corretivos foram mais efetivos no aumento destas variáveis em relação à testemunha, contudo estes efeitos não corresponderam às expectativas (Quadro 13). Possivelmente, mais uma vez, as doses utilizadas dos corretivos foram subestimadas. Para os solos em estudo, utilizando-se o Boletim de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes de Pernambuco (Cavalcanti et al., 1998) as doses de calcário teriam sido bem mais elevadas do que as recomendadas pelo método da saturação por bases. As três amostras de solos selecionadas continham teores muito baixos de cátions básicos e elevados de alumínio, com alta acidez potencial, que atua na reposição dos hidrogênios na solução do solo, refletindo no pH baixo mesmo após a aplicação dos corretivos.

4.2. Propriedades químicas dos lixiviados em quatro coletas

A composição do lixiviado ao longo das quatro coletas semanais está apresentada no Quadro 14. Percebe-se que, de maneira generalizada, há uma diferença significativa dos resultados entre as coletas, sendo esse comportamento melhor visualizado para cada solo nas Figuras 3, 4 e 5. Os teores de cálcio, magnésio, sódio e potássio foram mais elevados no material lixiviado da primeira coleta. Esse comportamento pode vir a explicar a baixa resposta da correção da acidez dos solos com as doses de corretivos aplicadas. O fato da aplicação de imediato de uma lâmina de irrigação pode ter contribuído para a retirada de parte desses compostos do solo antes mesmo de sua reação com os componentes da acidez, por meio da água de percolação.

Quadro 14. Resultados das análises químicas do lixiviado em função das coletas.

Coleta	Variável						
	Na	K	Ca	Mg	pH	¹ CE	² RAS
	mmol/L					mS/cm	
1	0,92 a	0,34 a	1,09 a	0,80 a	4,42 c	0,46 a	1,18 a
2	0,52 b	0,15 b	0,37 b	0,27 c	4,22 d	0,28 b	1,05 b
3	0,46 c	0,13 b	0,38 b	0,29 c	4,73 b	0,27 b	1,00 b
4	0,42 c	0,14 b	0,37 b	0,44 b	5,06 a	0,55 a	0,92 b

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Condutividade elétrica; 2 – Relação de adsorção de sódio.

A lixiviação dessas bases contribuiu para a elevação da condutividade elétrica do lixiviado na primeira coleta, reduzindo-se nas demais. Isto pode ser atribuído à solubilização dos sais aplicados na forma de corretivos pelo elevado volume de água utilizado. Assim, a rápida retirada dos íons com a água de percolação teria dificultado a efetiva atuação dos corretivos aplicados.

Percebe-se, ainda, que o valor de pH no início (primeira coleta) apresentou-se baixo, caindo de maneira significativa na coleta seguinte, provavelmente, pela retirada de alguns componentes da acidez. Na terceira e quarta coleta o pH aumentou, ultrapassando o valor da primeira. Isso demonstra que a lixiviação das bases não contribuiu para a elevação do pH do material lixiviado logo de imediato. Esta ocorrência pode ser justificada pela dissolução e, conseqüentemente, reação do material corretivo, uma vez que tal reação tende a expulsar o alumínio trocável dos sítios de troca. Estes, por sua vez, ao atingirem a solução do solo reagem liberando íons H⁺, sendo assim responsáveis pelo efeito tampão. Ao serem carregados pelas águas de percolação, transmitem o caráter ácido ao material lixiviado.

Ao longo do tempo de incubação fica evidente a reação do solo tendendo a alcalinidade, uma vez que o pH do material lixiviado evolui de maneira significativa até a quarta coleta. Percebe-se também que a condutividade elétrica do material lixiviado aumentou significativamente, demonstrando que as bases trocáveis contribuíram também para a sua evolução (Quadro 14).

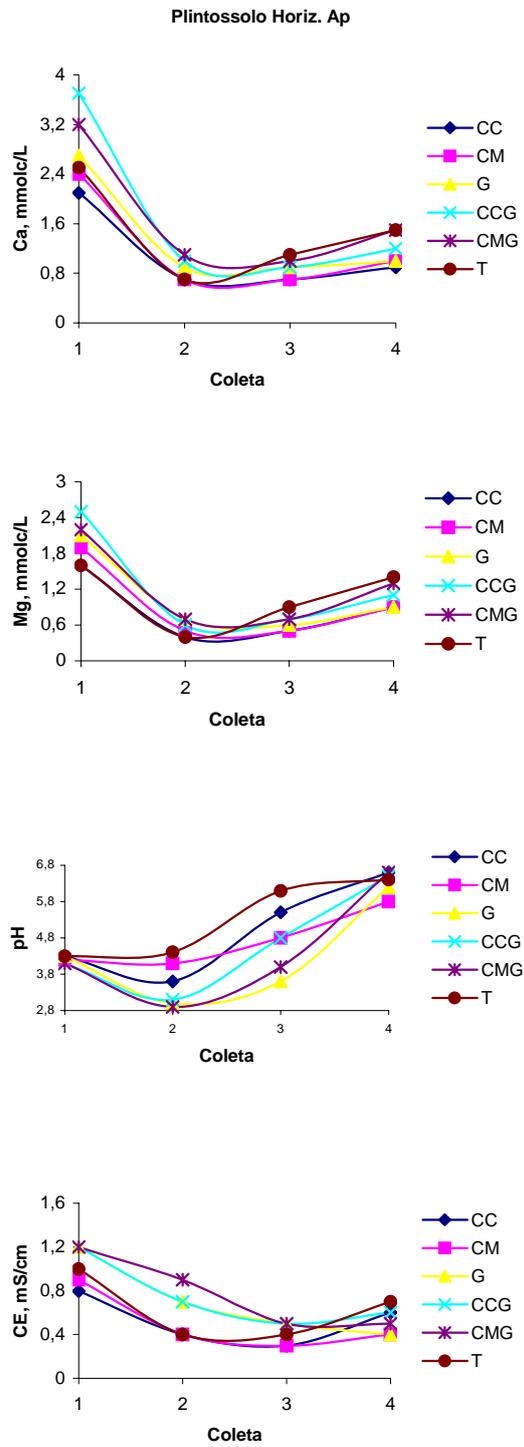


Figura 3. Teores de cálcio, magnésio e valores de pH e condutividade elétrica do lixiviado das amostras do Plintossolo Horizonte Ap, nas quatro coletas.

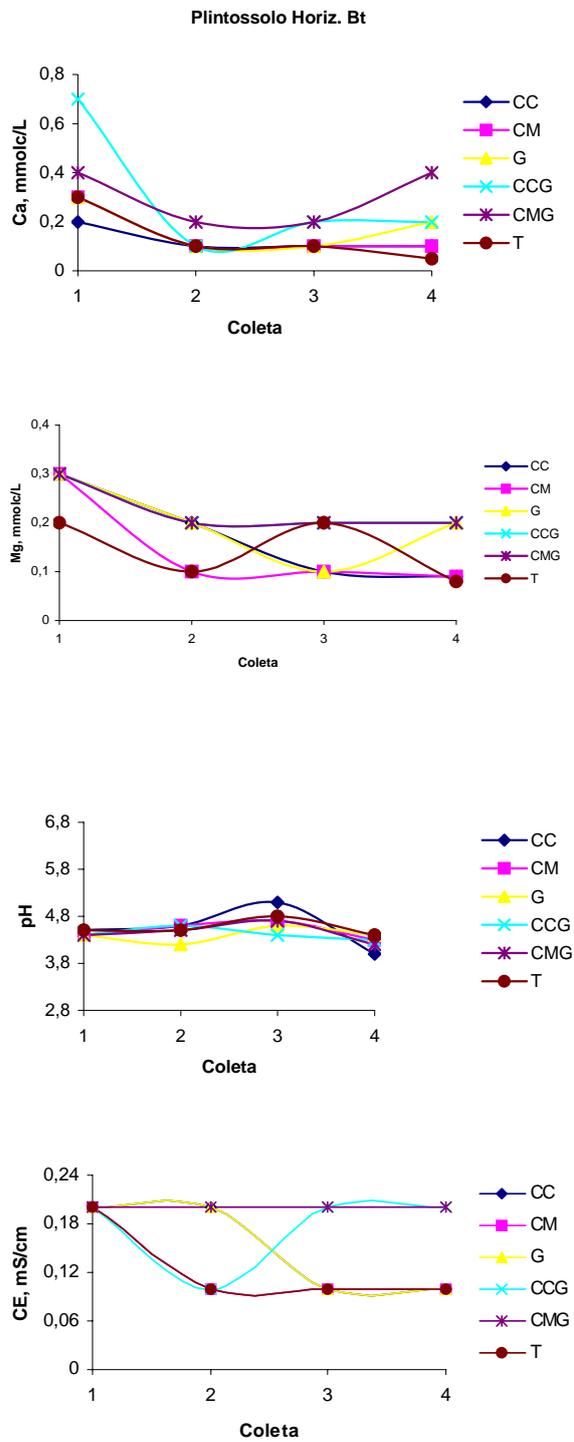


Figura 4. Teores de cálcio, magnésio e valores de pH e condutividade elétrica do lixiviado das amostras do Plintossolo Horizonte Bt, nas quatro coletas.

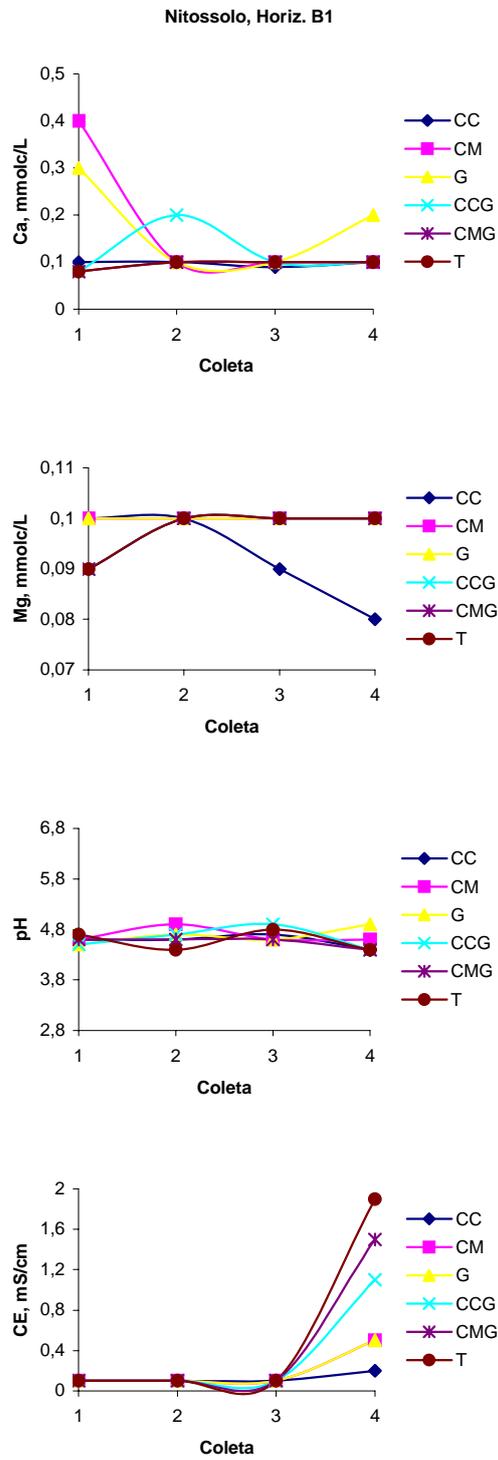


Figura 5. Teores de cálcio, magnésio e valores de pH e condutividade elétrica do lixiviado das amostras do Nitossolo Horizonte B1, nas quatro coletas.

Ao se observar o material lixiviado nas coletas dos três solos (Figuras 3, 4 e 5), percebe-se que, para o Plintossolo horizonte Ap, na primeira coleta os teores de cálcio e magnésio foram superiores, caindo a partir da segunda até o final. Este comportamento vem confirmar a suposição de retirada da maior parte destes cátions logo no início do experimento, o que dificultou a neutralização da acidez dos solos com os tratamentos de correção aplicados, isto justifica a necessidade de um período de incubação para permitir a reação dos corretivos de acidez com os solos. Neste caso, no início da incubação, houve a aplicação de uma lâmina de água correspondente a 0,5 vezes o volume de poros de cada solo, que pode ter carregado grande parte dos íons assim que foram solubilizados.

A condutividade elétrica, pH e os teores de cálcio e magnésio apresentaram comportamento semelhante para o Plintossolo Horiz. Ap em todas as coletas, com decréscimo dos valores na semana inicial, seguido de uma ascensão nas semanas seguintes, corroborando com Jucksch (1987) (Figura 3). Nos outros dois solos isto não foi observado, podendo ter ocorrido neste solo devido a um histórico de aplicação recente de vinhaça no mesmo, já que este material é fonte de elementos ao solo e, conseqüentemente, ao lixiviado.

Ainda para o Plintossolo Horiz.Ap, a contribuição do cálcio e do magnésio na condutividade elétrica do lixiviado ocorreu a partir da primeira coleta, onde houve um acréscimo nas suas concentrações no material lixiviado. A partir da segunda coleta, os níveis de pH apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, houve um acréscimo nos valores dos mesmos. Este fato também evidencia a contribuição dos teores de cálcio e magnésio na condutividade do material lixiviado. Ao final da quarta coleta, os valores de pH para todos os tratamentos ficaram bastante próximos do pH 5,0, o que significa que a condutividade elétrica teve pequena contribuição de íons H^+ , uma vez que sua concentração nessa faixa de pH começa diminuir.

Quanto ao efeito dos tratamentos, fica mais uma vez comprovada a contribuição do sulfato de cálcio para a movimentação descendente de cálcio e magnésio, uma vez que os maiores teores desses elementos estão relacionados com o material dos solos submetidos aos tratamentos contendo esse reagente de forma isolada e sua combinação com o carbonato. Menores índices de pH estão relacionados aos tratamentos com sulfato de cálcio demonstrando sua tendência inicial de abaixamento do pH, em contraposição ao carbonato de reação alcalina, liberando OH^- ao reagir com a solução do solo (Quadro 15).

Quadro 15. Resultados das análises químicas do lixiviado em função dos tratamentos aplicados.

Variável	Tratamento					
	CC	CM	G	CCG	CMG	T
Na	0,52 b	0,56 ab	0,62 a	0,60 ab	0,63 a	0,53 b
K	0,17 a	0,18 a	0,19 a	0,22 a	0,21 a	0,17 a
Ca	0,45 b	0,52 ab	0,85 ab	0,71 a	0,70 ab	0,57 ab
Mg	0,37 a	0,40 a	0,44 a	0,51 a	0,52 a	0,45 a
PH	4,70 ab	4,62 bc	4,46 c	4,56 bc	4,47 c	4,84 a
CE ¹	0,27 b	0,29 b	0,36 ab	0,43 ab	0,54 a	0,44 ab
RAS ²	1,00 a	1,04 a	1,09 a	1,09 a	1,02 a	0,99 a

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Condutividade elétrica; 2 – Relação de adsorção de sódio.

Resultados semelhantes foram apresentados por Ernani et al. (2001), onde o gesso diminuiu o pH da solução percolada, não afetou os teores de Al trocável, mas proporcionou maior percolação de Ca, Mg e Al que os corretivos a base de calcário, principalmente quando foi incorporado ao solo, pois a mobilidade dos cátions integrantes dos corretivos foi muito pequena, não afetando a composição química da solução coletada. Salvada & Oliveira (1999), demonstraram que a aplicação de sulfato de cálcio foi efetiva em promover aumentos no teor de cálcio em profundidade, no entanto, deve ser utilizado junto com carbonato de cálcio para que não provoque movimentações descendentes excessivas de outros cátions. Já a lixiviação de K e Mg nos tratamentos com aplicação isolada de sulfato de cálcio foram intensas.

Considerando a composição média dos lixiviados do Plintossolo Horizonte Ap em função dos tratamentos aplicados, observaram-se maiores lixiviações de cálcio e magnésio nos tratamentos que continham sulfato de cálcio (isolado ou em associação), entretanto, estes foram semelhantes à testemunha (Quadro 16). Mais uma vez o elevado volume de água aplicado de uma única vez pode ter carregado os cátions, principalmente onde o material mais solúvel estava presente.

Para o Plintossolo horizonte Bt e o Nitossolo horizonte B1, em geral, não foram observadas diferenças na composição dos lixiviados dos tratamentos. Estes correspondem a amostras subsuperficiais de solo, com pouca contribuição da matéria orgânica e elevados teores de minerais altamente intemperizados, como óxidos de ferro e alumínio e caulinita, constituindo-se solos bastante pobres, o que

pode ser confirmado pelos reduzidos teores de elementos nos lixiviados e mais baixo pH que o Plintossolo horizonte Ap.

Quadro 16. Resultados das análises químicas das amostras de solos estudados em função dos tratamentos aplicados.

Variável	Tratamento					
	CC	CM	G	CCG	CMG	T
Plintosolo Horiz. Ap						
Na	0,75 c	0,87 abc	0,95 ab	0,93 ab	0,99 a	0,83 bc
K	0,45 c	0,50 abc	0,53 abc	0,57 ab	0,58 a	0,48 bc
Ca	1,10 b	1,20 b	1,38 ab	1,69 a	1,68 a	1,43 ab
Mg	0,85 c	0,93 bc	1,03 abc	1,23 ab	1,24 a	1,09 abc
pH	5,00 ab	4,70 bc	4,30 c	4,60 bc	4,40 c	5,40 a
CE ¹	0,53 a	0,50 a	0,70 a	0,74 a	0,79 a	0,64 a
RAS ²	0,78 a	0,86 a	0,88 a	0,76 a	0,81 a	0,77 a
Plintossolo Horiz. Bt						
Na	0,44 a	0,44 a	0,52 a	0,52 a	0,54 a	0,40 a
K	0,04 a	0,04 a	0,04 a	0,08 a	0,05 a	0,04 a
Ca	0,15 a	0,17 a	0,20 a	0,31 a	0,29 a	0,15 a
Mg	0,16 a	0,16 a	0,19 a	0,20 a	0,22 a	0,14 a
pH	4,50 a	4,50 a	4,40 a	4,40 a	4,40 a	4,50 a
CE ¹	0,16 a	0,16 a	0,18 a	0,18 a	0,21 a	0,15 a
RAS ²	1,07 a	1,09 a	1,22 a	1,13 a	1,12 a	1,08 a
Nitossolo Horiz. B1						
Na	0,38 a	0,38 a	0,38 a	0,36 a	0,36 a	0,37 a
K	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a
Ca	0,12 a	0,19 a	0,17 a	0,12 a	0,11 a	0,11 a
Mg	0,10 a	0,10 a	0,09 a	0,10 a	0,09 a	0,11 a
pH	4,60 a	4,60 a	4,70 a	4,60 a	4,60 a	4,60 a
CE ¹	0,13 c	0,21 bc	0,21 bc	0,37 abc	0,61 a	0,55 ab
RAS ²	1,16 a	1,17 a	1,17 a	1,37 a	1,12 a	1,13 a

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Condutividade elétrica; 2 – Relação de adsorção de sódio.

4.3. Propriedades físicas dos solos após aplicação e incubação dos corretivos

Ao se realizar a análise da variância para as propriedades físicas (Apêndice), só foram encontrados efeitos significativos do fator solo e da interação solo e tratamento de correção para todas as variáveis avaliadas. O efeito isolado do tratamento foi significativo apenas para a argila dispersa em água, grau de floculação e condutividade hidráulica em meio saturado.

Os tratamentos de correção aplicados não proporcionaram diferenças nas propriedades físicas entre o cilindro superior, onde foram incorporados os corretivos, e o inferior. O uso de amostras deformadas para a montagem das colunas pode ter dificultado a expressão das respostas em termos das propriedades físicas em função dos tratamentos aplicados. Adicionalmente, o curto período de tempo de desenvolvimento e avaliação do experimento não possibilitou a visualização de alterações nas propriedades físicas, que, em geral, só ocorrem com ciclos mais longos, apesar da interferência da composição química.

Os valores da argila dispersa em água e do grau de floculação após a aplicação dos tratamentos assemelham-se aos determinados nas amostras dos solos em condições naturais, ou seja, antes da aplicação dos corretivos, percebe-se um efeito pouco expressivo, principalmente para as amostras do Plintossolo Horizonte Bt e o Nitossolo Horizonte Bt, cujas diferenças não foram significativas (Quadro 17).

A amostra do Plintossolo Horizonte Ap, sob o efeito dos tratamentos contendo sulfato de cálcio isolado e em combinação com o carbonato de cálcio e o carbonato de cálcio e magnésio, como também carbonato de cálcio e magnésio de forma isolada, apresentaram maior dispersão da fração argila quando comparados com o carbonato de cálcio de forma isolada e o tratamento sem corretivo (testemunha) (Quadro 17).

Segundo Ghani et al (1955) apud Mesquita (1992), ao se aplicar calcário ao solo, ocorre inicialmente dispersão, com o aumento do tempo de reação passa a prevalecer a agregação dos colóides do solo. De modo geral, trabalhos realizados visando estudar os efeitos da calagem sobre a dispersão da fração argila dos solos detectaram aumentos no conteúdo de argila dispersa em água e deterioração da estrutura do solo (Morelli & Ferreira, 1987; Roth e Pavan, 1991). Jucksch (1987), em experimentação na ausência de plantas, também observou deterioração da estrutura do solo com a prática da calagem. Já Mesquita (1992), demonstra o pequeno efeito

dispersante dos calcários em ensaio com plantas durante um período de trinta e oito semanas.

Quadro 17. Propriedades físicas das amostras dos três solos estudadas em função dos tratamentos aplicados.

Variável	Tratamento					
	CC	CD	G	CCG	CDG	T
Plintossolo Horizonte Ap						
P _T ¹ , %	48,68 a	48,34 a	48,39 a	48,39 a	49,54 a	47,85 a
ADA ² , %	15,43 bc	18,77 a	18,60 a	18,10 ab	18,60 a	13,77 c
GF ³ , %	26,20 ab	12,90 b	16,16 b	16,67 b	14,45 b	37,90 a
AD ⁴ , %	8,52 a	8,26 a	7,44 ab	7,41 ab	5,93 bc	5,66 c
K ₀ ⁵ , cm/h	2,81 b	3,69 b	2,81 b	2,67 b	4,31 ab	6,02 a
Plintossolo Horizonte Bt						
P _T ¹ , %	57,77 a	55,60 ab	54,77 ab	53,68 b	53,26 b	54,44 b
ADA ² , %	0,00 a	0,00a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
GF ³ , %	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
AD ⁴ , %	10,06 c	14,33 ab	14,49 bc	15,38 a	15,31 a	14,49 ab
K ₀ ⁵ , cm/h	0,93 a	0,57 a	0,35 a	0,46 a	0,50 a	0,44 a
Nitossolo Horizonte B1						
P _T ¹ , %	59,61 a	61,82 a	61,74 a	59,63 a	61,84 a	60,74 a
ADA ² , %	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
GF ³ , %	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
AD ⁴ , %	11,38 a	11,50 a	12,20 a	12,12 a	12,52 a	12,37 a
K ₀ ⁵ , cm/h	0,83 b	3,48 a	1,59 ab	0,54 b	1,46 ab	0,75 b

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 – Porosidade total; 2 – Argila dispersa em água; 3 – Grau de floculação; 4 - Água disponível; 5 – Condutividade hidráulica em meio saturado.

A diferença entre a percentagem de água retida a $-0,10$ atm e -15 atm, expressa como água disponível, foi menor para o Plintossolo horizonte Ap submetido aos tratamentos sem corretivo e a combinação de carbonato de cálcio e magnésio mais sulfato de cálcio. Esses mesmos tratamentos apresentaram também maior

condutividade hidráulica em meio saturado. O que vem a reforçar a tendência do efeito dispersante dos corretivos utilizados neste tipo de estudo.

Dessa forma fica evidente que a aplicação dos corretivos no solo promoveu a dispersão da fração argila e, conseqüentemente, ocorreu movimento da argila dispersa para os poros, obstruindo-os, e favorecendo a retenção de umidade pelo solo, como propõe Jucksch (1987).

Entretanto, para os Plintossolo horizonte Bt e o Nitossolo horizonte B1, a argila dispersa em água e o grau de floculação não diferiram entre os tratamentos aplicados. Uma das características destes solos é o alto teor de Al^{+3} (Quadro 2), além da sua composição mineralógica predominantemente caulinítica e oxídica. A calagem e a gessagem poderiam estar promovendo a retirada do Al^{+3} do complexo de troca o que favoreceria a dispersão da fração argila. Por outro lado, os calcários e o gesso adicionados aos solos não estariam provocando um aumento significativo nas cargas negativas dos colóides, os quais possuem, predominantemente, cargas dependentes do pH, inferidas pela mineralogia da fração argila destes solos. Nos Quadros 12 e 13, verificou-se pequena variação nos valores de pH em água dos solos, não promovendo assim, a redução nas ligações entre colóides e a conseqüente dispersão, que normalmente ocorre em pH superior a 6,5. Observou-se neste estudo, que o pH dos solos, em todos os tratamentos não ultrapassou o valor 4,8.

4.4. Análise de Imagem

Por razões que não ficaram muito claras, muitas amostras dos blocos experimentais não foram impregnadas de forma uniforme. Muitos vazios na resina, ou mesmo fragmentações atingindo a parte mais interna dos blocos, não permitiram o corte e polimento para processar a análise das imagens. Outro problema verificado foi o inesperado efeito da mistura resina-dilúente (estireno) sobre os tubos de PVC que entortaram externamente. Este efeito, no entanto, não afetou a parte interna das amostras devido a providências iniciais para sustentação do volume evitando maiores distorções no volume dos tubos com as amostras. É provável que tenha havido algum tipo de problema com a resina ou mesmo a ineficácia do processo de secagem, para algumas amostras. Umidade comumente é a causa mais freqüente deste tipo de falha na impregnação de amostras de solo, mas é difícil imaginar que para algumas amostras a impregnação foi perfeita e em outras, em maioria, não.

Oito amostras com impregnação perfeita foram então analisadas. Verifica-se na Figura 6 que, também, houve problemas na hora de preenchimento dos tubos de PVC com o solo destorroado e uniformizado. Faixas de espaços vazios, aproximadamente paralelos à superfície dos tubos, confirmam a não uniformidade do preenchimento e devem ter causado diferenças na percolação da água durante o experimento. As manchas de óleo de corte também limitam a possibilidade de cálculo da área porosa total nos blocos.

Diante destes problemas, em cada uma das oito amostras, foram separadas quatro áreas quadradas com 4cm de lado evitando-se as faixas de falhas de preenchimento e as áreas escurecidas pelo óleo de corte. Cada uma destas áreas foi analisada utilizando-se o programa Image, sendo executado limiar automático para segmentação da amostras e, conseqüente, separação da porosidade dos componentes matriciais do solo. As figuras 7, 8, 9 e 10 mostram imagens destas áreas após segmentação aparecendo a porosidade em azul e os componentes matriciais do solo em vermelho e os totais de porosidade calculados para cada uma. Verifica-se que as amostras correspondentes aos tratamentos carbonato de cálcio e magnésio (CM) e sulfato de cálcio de forma isolada (G) são mais adensadas, com menor porosidade.

Não foi possível especular que a parte de baixo dos experimentos foi mais adensada pelo peso do solo acima junto com a percolação de água, uma vez que, não ocorre esta tendência nos demais tratamentos. O mais provável é que esta

tendência, também, indique a não uniformidade na hora de preenchimento dos tubos. O que as imagens das figuras 7, 8, 9 e 10 mostram claramente é um tipo de porosidade bastante interconectada o que facilita a rápida penetração de água. A resolução possível durante a digitalização das imagens iluminadas dos blocos permitiu apenas detectar poros maiores que 352 μm e, desta forma, a conexidade e disposição da porosidade na imagem são indicativas da excelente condição para que houvesse bastante penetração de ar e extrema facilidade de percolação de água no experimento. Esta condição explica a intensa lixiviação dos corretivos aplicados como indicado pelas análises químicas.

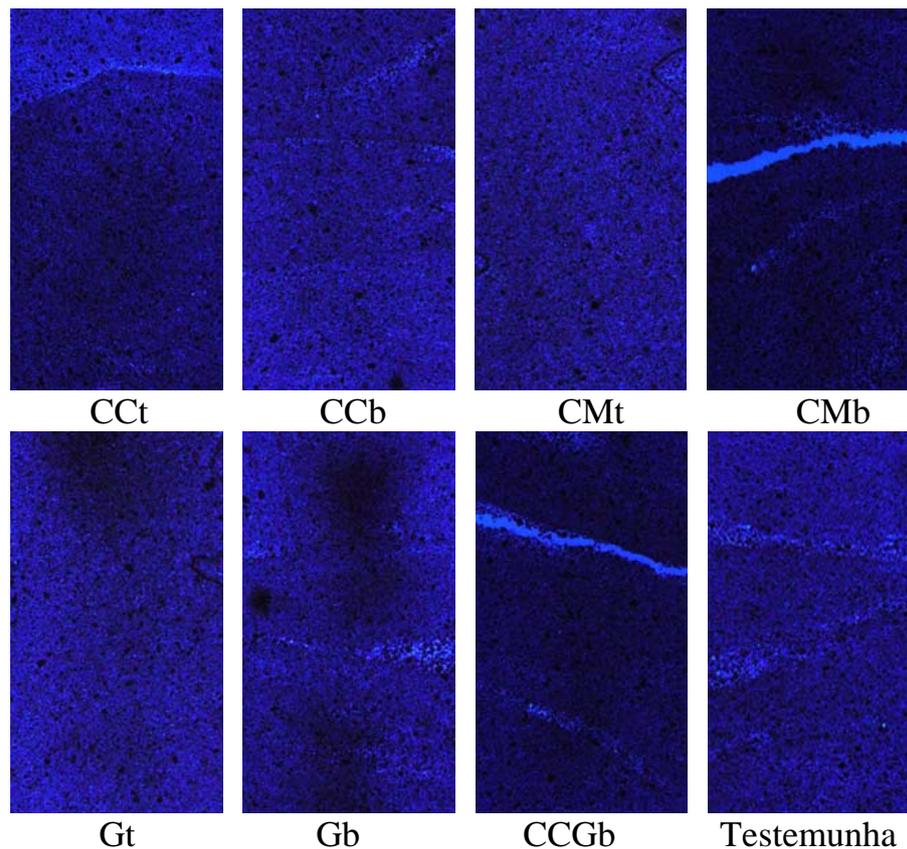


Figura 6 - Imagem de parte dos blocos impregnados com resina de poliéster e corante ultravioleta, iluminados com luz negra. Verifica-se que, mesmo nestas amostras onde a impregnação foi aparentemente eficiente e bem distribuída, a distribuição dos solos para enchimento dos anéis usados no experimento não foi efetiva causando heterogeneidade no arranjo dos solos. As faixas de deposição não uniformes podem ser claramente observadas nos blocos correspondentes aos tratamentos CCt, CCb, CMt, CMb, Gb, CCGb e Testemunha. As manchas escuras nas amostras CCt, CMb, Gt, e Gb correspondem a impregnação do óleo de corte nos blocos o que indica algum problema na impregnação com a resina de poliéster. O tamanho real das imagens acima é de 9,98 x 5,49cm. * t – topo; b – base

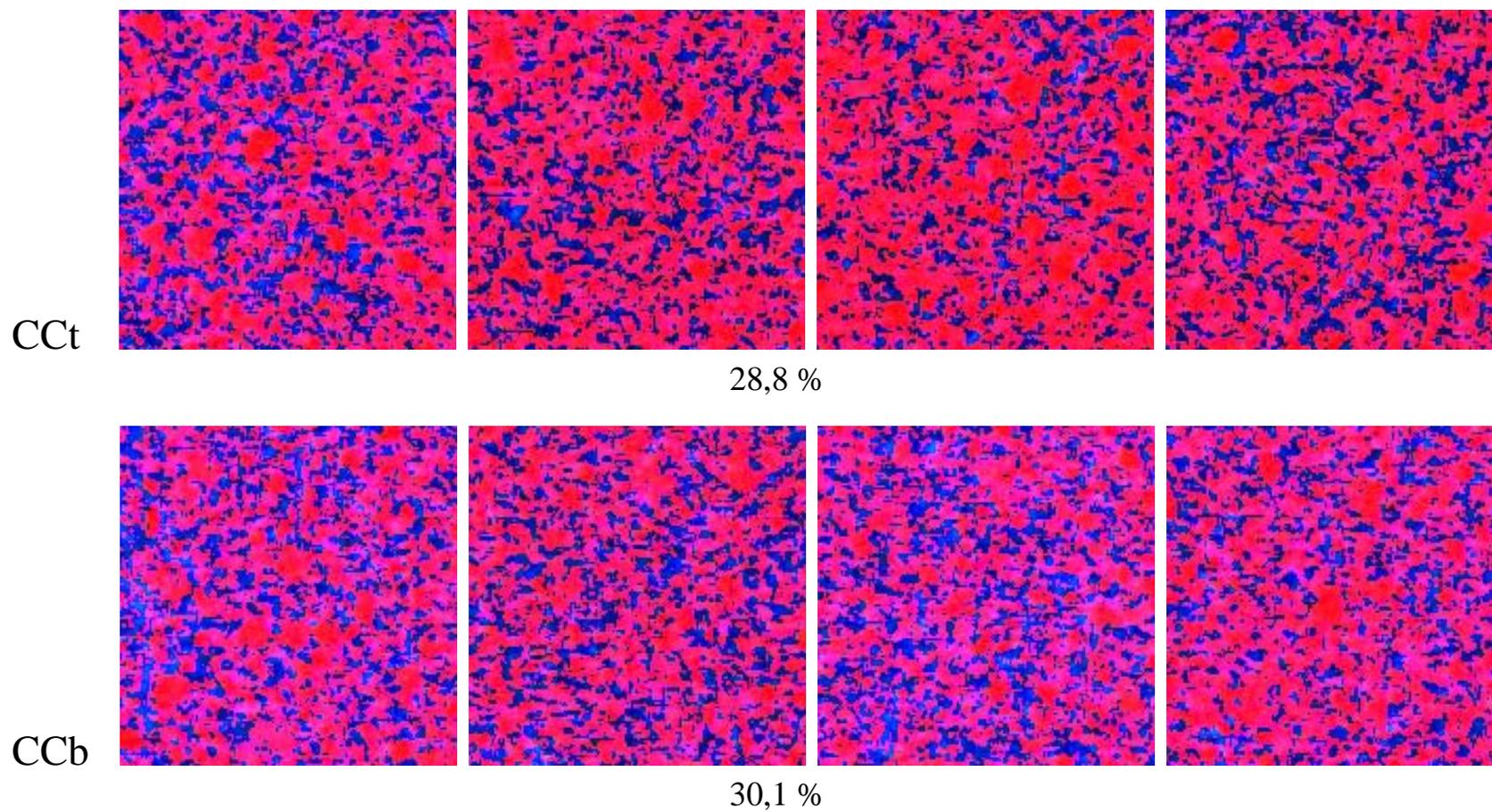
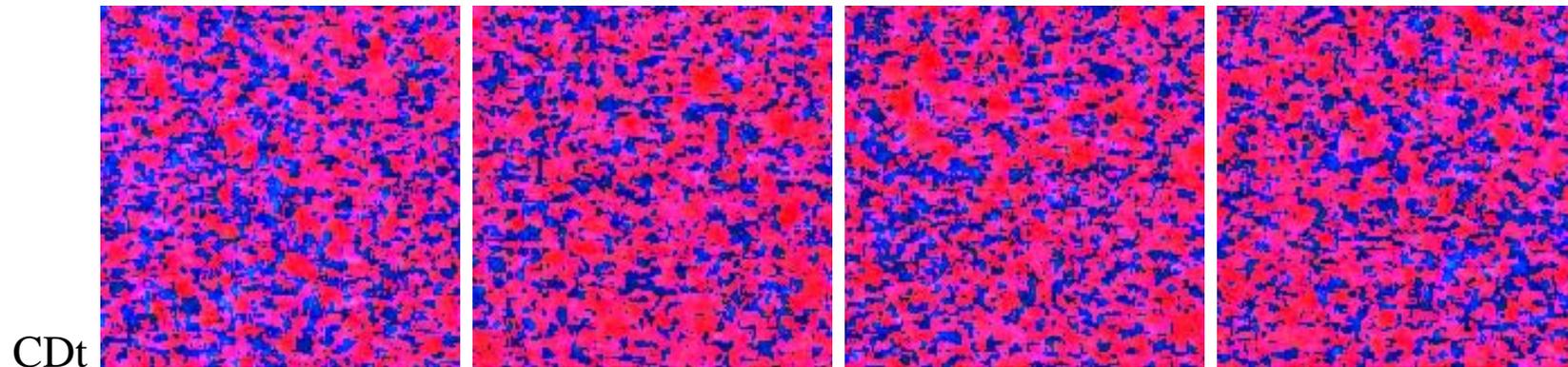
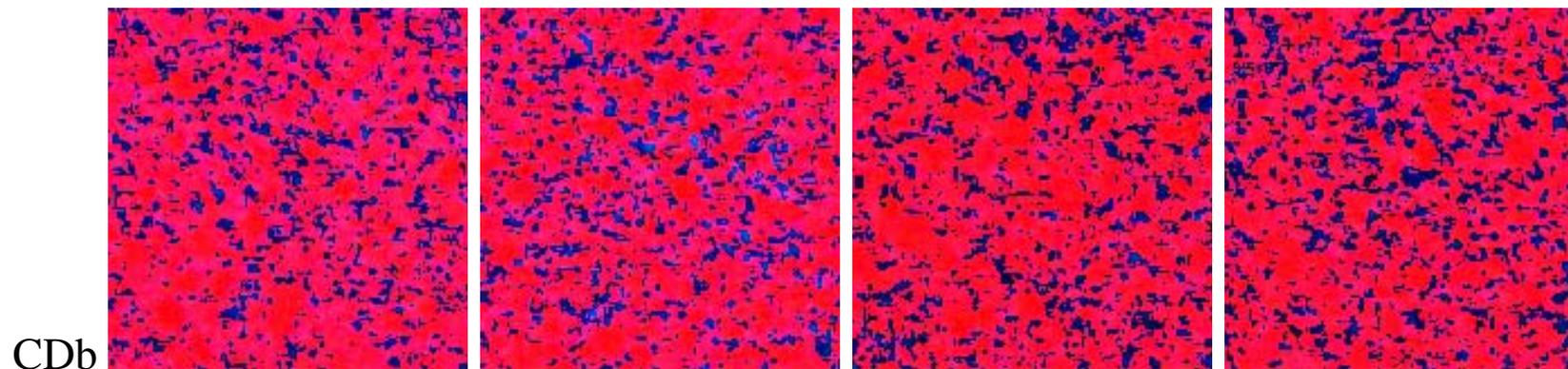


Figura 7 - Imagens com dimensões de 5,64 x 5,74 cm tomadas das partes mais uniformes dos blocos impregnados e iluminados com luz ultravioleta. As partes azuis correspondem à porosidade e as vermelhas a matriz do solo. Devido a baixa resolução das imagens a porosidade mínima detectada foi de apenas 352 μ m.. Os números abaixo de cada imagem correspondem ao percentual de espaço poroso calculado. * t – topo; b – base.



32,8 %



20,3 %

Figura 8 - Imagens com dimensões de 5,64 x 5,74 cm tomadas das partes mais uniformes dos blocos impregnados e iluminados com luz ultravioleta. As partes azuis correspondem à porosidade e as vermelhas a matriz do solo. Devido a baixa resolução das imagens a porosidade mínima detectada foi de apenas 352 m.. Os números abaixo de cada imagem correspondem ao percentual de espaço poroso calculado. * t – topo; b - base

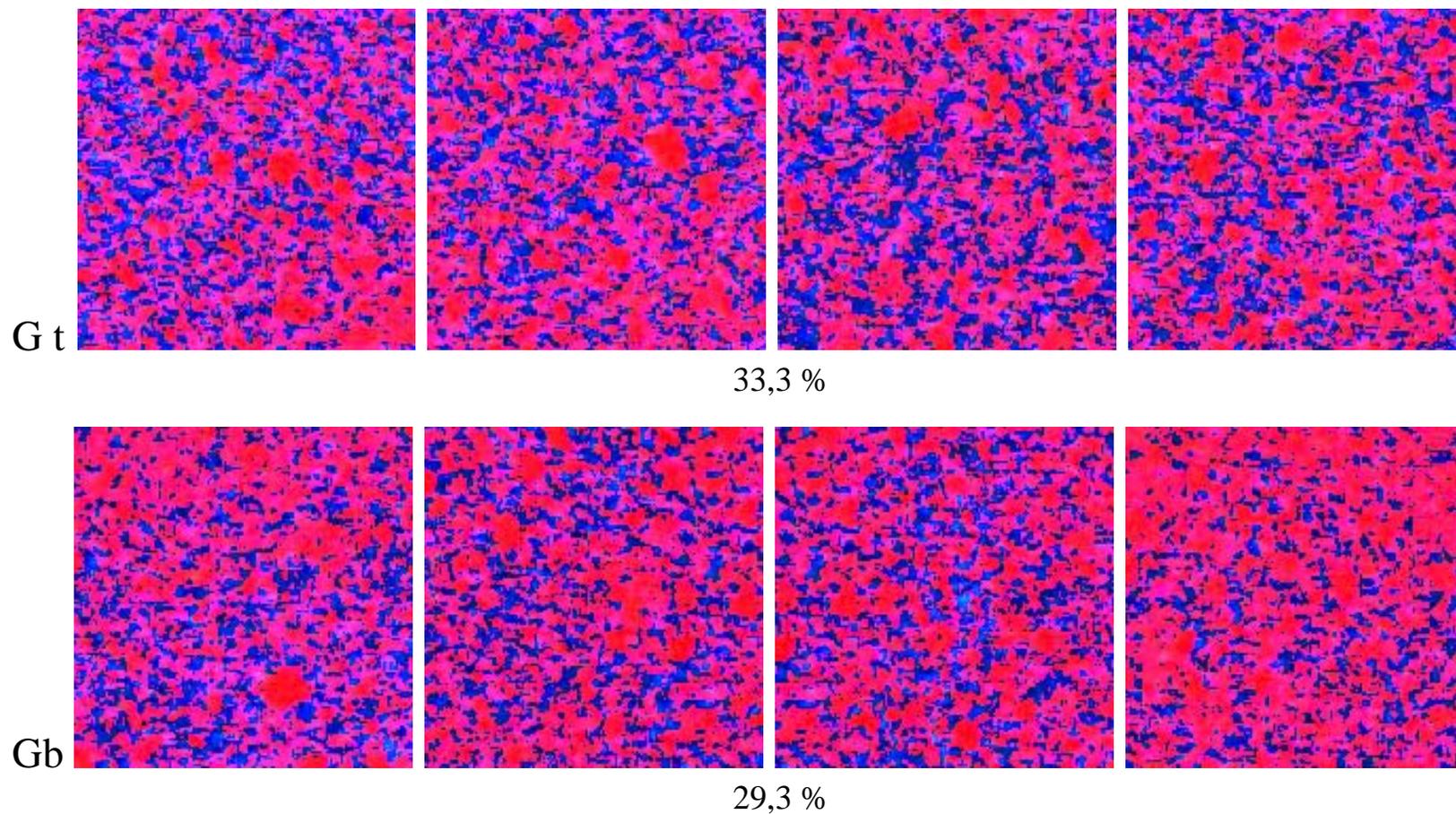


Figura 9 - Imagens com dimensões de 5,64 x 5,74 cm tomadas das partes mais uniformes dos blocos impregnados e iluminados com luz ultravioleta. As partes azuis correspondem à porosidade e as vermelhas a matriz do solo. Devido a baixa resolução das imagens a porosidade mínima detectada foi de apenas 352 μ m. Os números abaixo de cada imagem correspondem ao percentual de espaço poroso calculado. * t – topo; b – base.

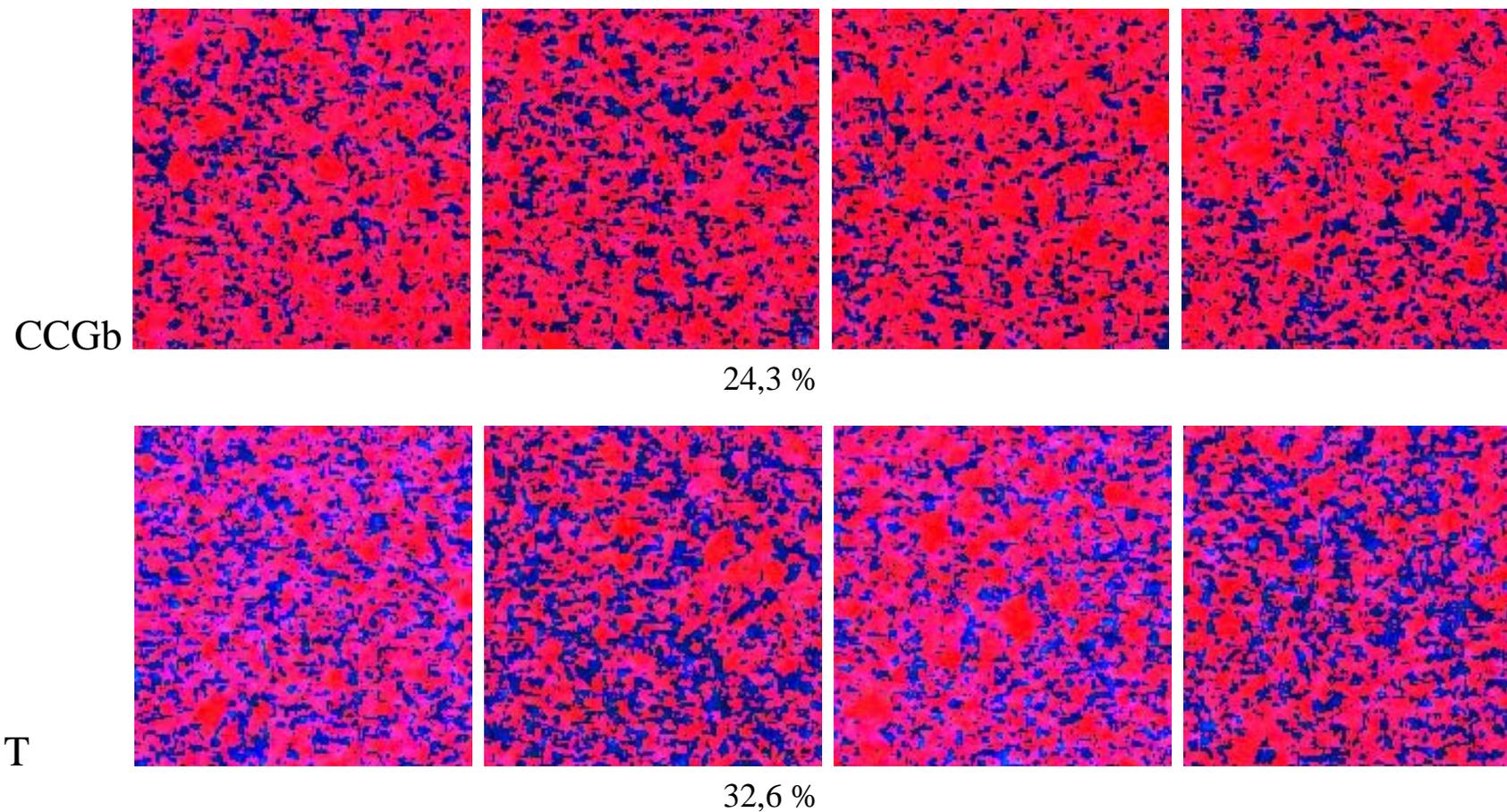


Figura 10 - Imagens com dimensões de 5,64 x 5,74 cm tomadas das partes mais uniformes dos blocos impregnados e iluminados com luz ultravioleta. As partes azuis correspondem à porosidade e as vermelhas a matriz do solo. Devido a baixa resolução das imagens a porosidade mínima detectada foi de apenas 352 μ m. Os números abaixo de cada imagem correspondem ao percentual de espaço poroso calculado. * t – topo; b – base.

5 CONCLUSÃO

Nas condições em que foi realizado o experimento, os resultados obtidos permitem concluir que:

A aplicação dos corretivos aos solos não promoveu correção de forma efetiva quanto as propriedades químicas após o período de incubação;

Houve pequena influência das doses aplicadas quanto a movimentação de cátions em profundidade, evidenciado pela pequena concentração de cátions no cilindro inferior.

Houve contribuição do carbonato de cálcio e carbonato de cálcio e magnésio no fornecimento de Ca e Mg e o efeito do sulfato de cálcio em profundidade.

Os tratamentos de correção aplicados não proporcionaram diferenças nas propriedades físicas entre os cilindros.

Após a aplicação dos tratamentos percebe-se um efeito pouco expressivo de argila dispersa em água e do grau de flocculação, principalmente para as amostras do Plintossolo Horizonte Bt e o Nitossolo Horizonte Bt, cujas diferenças não foram significativas.

REFERÊNCIAS

ALFAIA,S.S.; MURAOKA, T. Efeito de calagem e micronutrientes em latossolo amarelo sob rotação de culturas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 27, n. 3, p. 153-162,1997.

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

ALVAREZ, V. H; RIBEIRO, A.C. Calagem. In; RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G; ALVAREZ, V.H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo, 1999. p. 43 – 60.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER H.R. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 29,n. 1, p. 71-82, 1972.

BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A.; LANTMAN, A.P. **Considerações sobre o uso do gesso na agricultura**. Piracicaba: Potafos, 1987. (Informações Agronômicas, nº 40).

BOUABID, R.; NATER E.A.; BARAK, P. Measurement of pore size distribution in a lamellar Bt horizon using epifluorescence microscopy and image analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 53, p. 309-328, 1992.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

BRAGA, F.A.; VALES, F.R.; MUNIZ, J.A. Movimentação de nutrientes no solo, crescimento e nutrição mineral do eucalipto, em função de doses de gesso e níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 19, p: 69-77, 1995.

CAIRES, E.F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E.F. et al.. Alterações químicas do solo e resposta da soja à calagem ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema direto. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 27, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E.F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações nas características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 23, p. 315-327, 1999.

CARVALHO, V.S. **Avaliação de métodos de recomendação de calcário em solos da zona da mata de Pernambuco**. 1995. 76f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CAVALCANTE, J.A. **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 1998. 198p.

CERRI, C.C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cahiers Orstom**, v. 26, n. 1, p. 37-50, 1991.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (Viçosa, MG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, 1999. 359 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/CS. **Recomendação de adubação e calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo: SBCS, 1995. 224 p.

DAL BÓ, M.A. et al. Efeito da adição fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar. II Respostas da PLANTA. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 19, p. 234-244, 1986.

DEMATTE, J.L. Characteretcs of Brazillian soils related to root growth. In: RUSSEL, RS; IGUE, K. METHA, Y.R. (Ed). **The soil root system in relation to brazil lian agriculture**. Londrina: [s.n.], 1981. p.21-41.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Critérios para recomendação de calagem e adubação**. Planaltina, 1987. 55p. (Circular técnica n° 25).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212p (Embrapa-CNPS, 1)

ERNANI, P.R. NASCIMENTO, J. A. L. OLIVEIRA, L. C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 275-280, 1998.

FAQUIM, V.; VALE, F.R. Toxidez de alumínio e de manganês. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 15, n. 170, p.28-30, 1991.

FASSBENDER, H.W. **Química de suelos com enfais em suelos de Amerca Latina**. San José: Instituto Interamericano de Cooperacion ara la Agricultura, 1984. 398p.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de Suelos** (com énfasis em suelos de América Latina). Costa Rica: IICA, 1987. 420 p.

FERREIRA, P.A. Aspectos físico-químico do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB, 1997. p. 37-67.

GHANI, M.O.; HASAN, K.A.; KHAN, M.F.A. Effect of lime on ogregation noncapillary pore space and permeability of a Lateritic soil. **Soil Science**, Maryland, v. 80, p. 469-78, 1955.

GREVERS, M.C.J.; JONG. E. Soil struture changes in subsoiled Solonetzic and Chernozemic soils measured by image analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 53, p. 289-307, 1992.

GUIMARÃES, P.T.G; ALVAREZ, V.H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho Escuro**. 1987, 37 f., Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia**. Agronômica Ceres, São Paulo: 1979. 262p.

KINJO, T. Conceito de acidez dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15, 1989, Campinas. **Anais...** Campinas: SBCS, 1989. p. 23-31.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB, 1997. p. 113-133.

LIMA JUNIOR, M.A.; LIMA, J.F.W.F. Solos ácidos e calagem, In: _____. **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco** Recife: [s.n.], 1998.

LOPES, A. S. **Calagem e gesso agrícola com fatores de produtividade dos solos sob cerrado**. In: SEMINÁRIO DE FERTILIDADE DO SOLO, 2., 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Cooperativa Agrícola de Cotia, 1989.

MASCARENHAS, H.A.A. Calagem para solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. 15., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: SBCS. 1983. p. 145-163.

MELLO, F.A. F. et al. **Fertilidade do solo**. 3.ed. São Paulo: Nobel, 1989. 400p.

MERMUT, A.R.; GREVERS, M.C.J.; JONG, E. Evaluation of pores under different management systems by image analysis of clay soils in Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, Amsterdam, v. 53, p. 357-372, 1992.

MERMUT, A.R.; NORTON, L.D. Preface. **Geoderma**, Amsterdam, v. 53, 1992.

MESQUITA, M.G.B.F. et al. Dispersão da fração argila e estabilidade de agregados em função da aplicação de gesso e calcário agrícola em latossolo cultivado com andropogon e estilosantes. **Ciência e Prática**. Lavras, v. 17, n. 4, p. 329-336, out./dez., 1993.

MORAN, C.J. Image processing and soil micromorphology. In : RGROSE-VOASE, A.J.; HUMPHREYS, G.S. **Soil micromorphology: studies in management and genesis**. **Proc. Int. Working Meeting on Soil Micromorphology**, Townsvili, p 459-4832, 1992.

MORELLI, M.; FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfatodiamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 11, p. 1-6, 1987.

MORELLI, J.L. et al. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média álico. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 16, p. 187-194, 1992.

MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Berkhamsted: Academic Puplis, 1986. 145 p.

OLMOS, J.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **CL OUT**, São Paulo, v. 28, p. 171-180, 1976.

PAVAN, M.A Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infilyration in samples of Brazilian Oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 48, p. 351-361, 1991.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Rdistribution of Exchangeable Calcium, Magnesium, and Aluminum Following Lime or Gypson Applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, p. 33-38, 1984.

PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. **Lições de fertilidade do solo: pH**. Londrina: IAPAR, 1997. 47p.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Agrícola Espanõla, 1978. 520p.

QUAGGIO, J.A. **Critérios para calagem em solos do Estado de São Paulo**, 1983, 76f. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

QUAGGIO, J.A. Resposta das culturas à calagem em outros Estados. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 1989, Santa Maria, **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1989. p. 177-199.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, V.B. Efeito da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e a lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 6, n. 3, p. 189-194, 1982.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Inst. da Potassa e Fosfato, 1981, 142p.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, V.B. et al. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 22 p. 101-108, 1998.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of sulfate applied ameendmanta. **Agrochemophysica**, Pretoria, v. 4, n. 1, p. 1-6, 1972.

RITCHEY, K.D. et al. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 1, p. 40-44, 1980.

RITCHEY, K.D.; SILVA, L.E.; COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah oxisol. **Soil Science**, Baltimore, v. 133, p. 378-382, 1982.

RITCHEY, K.D. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistema**. 2 ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 505p.

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R. Efeitos de calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 103-109, 1984.

ROTH, C.H. CASTRO, C.; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 15, p. 241-248, 1991.

SAIGUSSA, M.; TOMA, M. Mechanism of reduction of exchangeable aluminium by gypsum application in acid andosols. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokio, v. 43, p. 343-349, 1997.

SALATA, J.C.; SANTOS, E.; DEMATTÊ, J.W. Ação do calcário e gesso em solos de baixa fertilidade e na recuperação de soqueiras de cana-de-açúcar. **STAP**, v.14, n. 1, set/out. 1995.

SENGIK, E. et al. Efeitos de diferentes valores de saturação por bases da terra na produção de matéria seca do capim-tanzânia. Maringá, v. 18, n. 3, p. 505-515, 1996.

SIQUEIRA, O. J. F. Resposta das culturas e a fósforo em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina e seus reflexos técnico-econômicos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 1983, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1989. p. 151-176.

SOUSSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. **Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1995. 20p. (Circular técnico, 32)

SOUZA, D.M.G.; RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1985, Brasília, **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p.119-144.

SUMNER, M. E. Sodic soils: new perspectives. In: NAIDU, R.; SUMNER, M.E.; RENGASAMY, P. (Ed). **Melbourne**, CSIRO, 1995. p. 1-34.

SWEENEY, S.J.;PROTZ, R.; FOX, C.A. An application of spectral image analysis to soil micromorphology, 2. Comparison of two soil profiles. **Geoderma**, Amsterdam, v. 53 p. 341-355, 1992.

TISDALE, S.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754p.

VAN OLPHEN, H. **An introduction to clay colloid chemistry**. 2. ed. New York: Welly-Interscience Publication, 1977. 318p.

VITTI, G. C. Acidez do solo, calagem e gesagem. In: VITTI, G. C. **Curso de atualização em fertilidade do solo**. São Paulo: Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 303-348.

WADT, P.G.S. Alterações eletroquímicas de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.519-524, jul/set. 2000.

WADT, P.G.S.; WADT, L.H.O. Movimentação de cátions em amostras de um latossolo vermelho-amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, n.4, p.1157-1164, out/dez. 1999.

WUTKE, A.C.P. Acidez. In; MONIZ, A. C. (ED.). **Elementos de pedologia**. São Paulo, Polígono, 1972. p. 149 – 168.

APÊNDICE

Quadro 1A. Resumo das análises de variâncias das determinações químicas das amostras de solos estudados

CV	GL	Quadrados Médios							
		pH água	Ca	Mg	Al	H + Al	CO ¹	m ²	V ³
Solo	2	88,53**	5,4478**	0,2260**	726,5378**	335,9235**	508,6604**	4831,031**	693,9864**
Anel	1	107,62**	2,8291**	0,4615**	241,9512**	222,9778**	0,3396 ^{ns}	7758,203**	2039,670**
Tratamento	5	113,85**	0,8312**	0,1631**	13,2476**	9,3970**	1,5378 ^{ns}	631,5406**	174,1859**
Solo*anel	2	79,48**	0,1361**	0,0357**	141,5965**	136,6978**	0,08727 ^{ns}	148,0732**	238,7454**
Solo*tratamento	10	86,42**	0,1149**	0,0434**	8,9301**	8,5067**	1,0882 ^{ns}	64,4294**	41,8002**
Anel*tratamento	5	87,23**	0,1969**	0,0432**	16,1225**	13,9193**	1,4556 ^{ns}	383,9085**	80,2628**
Solo*anel*tratamento	10	85,56**	0,0531**	0,0262**	11,8085**	6,8064**	0,3262 ^{ns}	72,6676**	10,0516**
Resíduo	72	89,93**	0,0035**	0,0010**	1,5493**	1,9703**	0,9189 ^{ns}	15,0364**	5,9216**

1 – Carbono na forma orgânica; 2 – Percentagem de saturação por alumínio; 3 – Percentagem de saturação por bases.

*, **, ^{ns} Significativo a 5%, a 1%, não significativo, respectivamente.

Quadro 2A. Resumo das análises de variâncias das determinações químicas do lixiviado das amostras de solos estudados

CV	GL	Quadrados Médios						
		Na	K	Ca	Mg	pH	¹ RAS	² CE
		mmol/L					mS/cm	
Solo	2	5,3711**	5,7748**	36,9292**	20,4857**	0,9822**	2,9629**	4,1881**
Coleta	3	2,8157**	0,5055**	6,2284**	3,2162**	7,2896**	0,6533**	1,0546**
Tratamento	5	0,0746**	0,0157*	0,3603*	0,1311*	0,7662**	0,0644*	0,3694*
Solo*coleta	6	1,5338**	0,3998**	4,0301**	2,5580**	10,0141**	0,4637**	1,6966**
Solo*trat	10	0,0287 ^{ns}	0,0096 ^{ns}	0,2123 ^{ns}	0,0920 ^{ns}	0,6228**	0,0518 ^{ns}	0,1397 ^{ns}
Coleta*trat	15	0,0060 ^{ns}	0,0040 ^{ns}	0,1223 ^{ns}	0,0375 ^{ns}	0,3718**	0,0638 ^{ns}	0,1384 ^{ns}
Solo*coleta*trat	30	0,0142 ^{ns}	0,0022 ^{ns}	0,9671 ^{ns}	0,0423 ^{ns}	0,2585**	0,0776 ^{ns}	0,1279 ^{ns}
Resíduo	144	0,0154 ^{ns}	0,0062 ^{ns}	0,1344 ^{ns}	0,0697 ^{ns}	0,1057**	0,0698 ^{ns}	0,1009 ^{ns}

1 – Relação de adsorção de sódio ; 2 – Condutividade elétrica.

*, **, ^{ns} Significativo a 5%, a 1%, não significativo, respectivamente.

Quadro 3A. Resumo das análises de variâncias das determinações físicas das amostras de solos estudados

CV	GL	Quadrado médio				
		P _T ¹	ADA ²	GF ³	AD ⁴	K ₀ ⁵
Solo	2	1363,7**	3554,7 **	75431**	458,4550**	96,5365**
Anel	1	1,1911 ^{ns}	0,0370 ^{ns}	12,3386 ^{ns}	0,3972 ^{ns}	0,0003 ^{ns}
Tratamento	5	5,5217 ^{ns}	8,8370*	185,2462*	2,3242 ^{ns}	5,2496*
Solo*anel	2	1,4315 ^{ns}	0,0391 ^{ns}	12,3307 ^{ns}	0,0847 ^{ns}	1,1290 ^{ns}
Solo*tratamento	10	9,2139*	8,8370**	185,2472**	8,3629**	6,0647**
Anel*tratamento	5	1,5074 ^{ns}	2,5259 ^{ns}	63,7828 ^{ns}	1,3740 ^{ns}	0,9942 ^{ns}
Solo*anel*tratamento	10	3,2432 ^{ns}	2,5256 ^{ns}	63,7820 ^{ns}	0,4218 ^{ns}	0,4407 ^{ns}

1 - Porosidade total (%); 2 - Argila dispersa em água (%); 3 - Grau de floculação; 4 - Água disponível; 5 - Condutividade hidráulica em meio saturado.

*, **, ^{ns} Significativo a 5%, a 1%, não significativo, respectivamente.

