



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

MARCOS MIGUEL RETAMOZO RAMOS

MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIOS NO PERFIL DE UM ARGISSOLO AMARELO
SOB CONDICIONANTES

FORTALEZA

2020

MARCOS MIGUEL RETAMOZO RAMOS

MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIOS NO PERFIL DE UM ARGISSOLO AMARELO SOB
CONDICIONANTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez

Coorientador: Prof. Dr. David Correia dos Anjos

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R144m Ramos, Marcos Miguel Retamozo.
Movimentação de cátions no perfil de um Argissolo Amarelo sob condicionantes / Marcos Miguel Retamozo Ramos. – 2020.
75 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez.

Coorientação: Prof. Dr. David Correia dos Anjos.

1. Calagem. 2. Gesso agrícola. 3. Polímeros Hidrofílicos. 4. Lixiviação de cátions. I. Título.

CDD 664

MARCOS MIGUEL RETAMOZO RAMOS

MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIOS NO PERFIL DE UM ARGISSOLO AMARELO SOB
CONDICIONANTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Aprovado em: 28 / 02 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. David Correia dos Anjos (Coorientador)
Universidade Estácio de Sá

Prof^a. Dr. Maria Eugenia Ortiz Escobar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me proporcionado saúde, proteção, companhia e permitido que tudo isso acontecesse.

Aos meus pais Oscar Marcial e Lídia Esther (*in memoriam*), sem eles com certeza não estivesse onde me encontro agora.

Aos meus irmãos Oscar, Iván e Bruno, pela sua motivação e força que me deram para aceitar este passo na minha vida.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Ciências do Solo, pela oportunidade de realização deste curso de Pós-Graduação.

Ao Programa de Alianças para a Educação e a Capacitação (PAEC), Organização dos Estados Americanos (OEA), Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Prof. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, pela amizade, pela paciência e pela dedicação durante os momentos mais decisivos da realização deste trabalho, foi, nos dois últimos anos de convívio, mais do que um orientador: um modelo de vida profissional.

À Profa. Maria Eugenia, pela atenção que teve como os seus orientados e para comigo, não só em relação a dissertação, mas para realmente nós sermos profissionais competentes.

Ao meu coorientador Prof. David Correia dos Anjos, pelas valiosas sugestões, que contribuíram para enriquecer este trabalho e sua ajuda na logística ao longo do tempo de duração do experimento.

À fazenda São Tomé e principalmente o Jean Giordane pelo apoio logístico no desenvolvimento do trabalho

À Sra. Fatima Rego e o Sr. Crisanto Dias, do Laboratório de Química do Solo, e aos funcionários da FUNCEME pelo apoio técnico durante os trabalhos de laboratório.

Aos meus amigos Moises, Juliette e a Natássia, pelo amor, pela amizade e companheirismo, pelo apoio durante minha permanência em Fortaleza e a valiosa ajuda na execução deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos Carlos, Sergio, Rafael, Bertonio, Fabiano, Rebeca, Milena, Endryo e Sarah, cujas amizades contribuíram sobremaneira para minha vida profissional.

Aos laboratoristas do Departamento de Ciências do Solo, pela ajuda com os equipamentos, os reagentes e as instalações, em especial ao Sr. Franze, do laboratório de Física do Solo, pela sua amizade.

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

RESUMO

O presente estudo objetivou avaliar a movimentação dos cátions (Ca, Mg, K e Na) no perfil de um Argissolo Amarelo após aplicação por incorporação dos condicionadores do solo: calcário dolomítico, gesso e hidrogel, individualmente ou combinados, sob irrigação com água salina. Utilizou-se colunas de solo de 80 cm, simulando o perfil de um Argissolo Amarelo do Município de Palhano-CE. O calcário e o gesso, foram incorporados nos primeiros 15 cm do perfil, aplicados em doses única para atingir 100 % da saturação por bases nos primeiros 30 cm e duas doses de hidrogel (0 e 1g/kg do solo) incorporado nos primeiros 5 cm do perfil. Todas as colunas receberam uma lâmina de 630 mm de água salina (CE = 2,96 dS/m e RAS = 12), aplicadas em 8 frações de 78,75 mm por semana (ao longo de 56 dias), medindo o volume de água percolada e cátions lixiviados, pH e a Condutividade Elétrica (CE). Após as colunas desmontadas, separando-se o solo em camadas de 5 cm, nos primeiros 30 cm do perfil e 10 cm, nos 30 a 80 cm do perfil, determinou-se os cátions trocáveis, pH e a CE. O gesso aplicado individualmente ou combinado com calcário e hidrogel ocasionou maiores perdas de Ca, Mg e K nos lixiviados. O hidrogel aumentou a retenção de Ca e Mg nas colunas em todos os tratamentos, apresentando maiores valores nas camadas nos tratamentos com calcário. Uma lâmina de irrigação de 630 mm com água salina (CE= 2,96 dS/m e RAS =12) eleva o pH do solo, principalmente das camadas superficiais, sendo maiores os aumentos nos tratamentos com calcário. A alta concentrações de sais da água de irrigação (CE= 2,96 dS/m e RAS =12) aumenta os teores de Na trocável no perfil do solo, principalmente quando não recebem aplicação de fontes de Ca. A aplicação somente de gesso pode retardar os efeitos deletérios da irrigação com água salina em um Argissolo Amarelo.

Palavras-chave: Calagem. Gesso agrícola. Polímeros Hidrofílicos. Lixiviação de cátions.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the movement of cations (Ca, Mg, K and Na) in the profile of an Argissolo Amarelo after application by incorporating soil conditioners: dolomitic limestone, gypsum and hydrogel, individually or in combination, under irrigation with saline water. 80 cm soil columns were used, reconstructing the profile of an Argissolo Amarelo from the municipality of Palhano-CE. Limestone and gypsum were incorporated in the first 15 cm of the profile, applied in single doses to reach 100% of base saturation in the first 30 cm and two hydrogel doses (0 and 1g / kg of soil) incorporated in the first 5 cm from the profile. All columns received a layer of 630 mm of saline water (EC = 2.96 dS/m and RAS = 12), applied in 8 fractions of 78.75 mm per week, measuring the volume of percolated water and leached cations. After the columns were disassembled, the soil was separated into 5 cm layers, in the first 30 cm of the profile and 10 cm, in the 30 to 80 cm of the profile, the exchangeable cations were determined. Gypsum applied individually or combined with limestone and hydrogel caused greater losses of Ca, Mg and K in the leachate. The hydrogel increased the retention of Ca and Mg in the columns in all treatments, presenting higher values in the layers where limestone was applied. An irrigation blade of 630 mm with saline water (EC = 2.96 dS / m and RAS = 12) raises the pH of the soil, mainly of the superficial layers, with greater increases in treatments with limestone. The high concentrations of salts in the irrigation water (EC = 2.96 dS / m and RAS = 12) increases the levels of exchangeable Na in the soil profile, especially when they do not receive application of Ca sources. The application of gypsum may delay the deleterious effects of irrigation with saline water in an Argissolo Amarelo.

Keywords: Liming. Gypsum. Hydrophilic Polymers. Leaching of cations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização da área de estudo no município de Palhano do Estado do Ceará.....	25
Figura 2	– Sistema coluna de solo utilizado no experimento	28
Figura 3	– Valores médios de pH e da Condutividade Elétrica (CE) da água percolada nas colunas dos tratamentos em função do tempo, durante a aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina	32
Figura 4	– Valores médios de bases solúveis da água percolada nas colunas dos tratamentos em função do tempo, durante a aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina	35
Figura 5	– Valores médios de pH e da CE nas diferentes profundidades do perfil do solo nas colunas dos tratamentos, após aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina	39
Figura 6	– Valores médios da CTC _e nas diferentes profundidades do perfil do solo nas colunas dos tratamentos, após aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina	42
Figura 7	– Teores de cátions trocáveis nas diferentes profundidades do perfil do solo nas colunas dos tratamentos sem hidrogel, após aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina	44
Figura 8	– Teores de cátions trocáveis nas diferentes profundidades do perfil do solo nas colunas dos tratamentos com hidrogel, após aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades químicas do Argissolo Amarelo usado no experimento	25
Tabela 2 – Densidade e características granulométricas do Argissolo Amarelo usado no experimento	25
Tabela 3 – Tratamentos e doses dos condicionadores usados no experimento	26
Tabela 4 – Composição química e granulométrica do calcário dolomítico e gesso agrícola usados no experimento	26
Tabela 5 – Qualidade da água de irrigação utilizada no experimento	27
Tabela 6 – Balanço de cátions no sistema coluna, levando em conta a água de irrigação, condicionadores aplicados e percolados.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Acidez do solo	15
2.2	Calagem	16
2.3	Gessagem	18
2.4	Qualidade da água de Irrigação	20
2.5	Aplicação de polímeros hidrofílicos superabsorventes	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Localização do experimento	23
3.2	Informação da área de estudo e do solo	23
3.3	Tratamentos	25
3.4	Instalação e condução do experimento	27
3.5	Varáveis analisadas	28
3.6	Balanco de nutrientes	29
3.7	Delineamento experimental	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Água percolada e características	30
4.2	Perdas de cátions por lixiviação	33
4.3	Efeitos e alteração no pH, Condutividade Elétrica (CE) e na Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (CTCe) do solo	37
4.4	Movimentos dos cátions no perfil do solo	41
4.5	Balanco dos condicionadores aplicados	46
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE A – MEDIAS DO VOLUME DA ÁGUA PERCOLADA NAS COLUNAS NOS TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA	57
	APÊNDICE B – MEDIAS DOS VALORES DE pH NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA	58

APÊNDICE C – MEDIAS DOS VALORES DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA	59
APÊNDICE D – MEDIAS DOS TEORES DE CÁLCIO NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DO TEMPO DE COLETA	60
APÊNDICE E – MEDIAS DOS TEORES DE MAGNÉSIO NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA	61
APÊNDICE F – MEDIAS DOS TEORES DE POTÁSSIO NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA	62
APÊNDICE G – MEDIAS DOS TEORES DE SÓDIO NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA	63
APÊNDICE H – MEDIAS DOS VALORES DE pH DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA	64
APÊNDICE I – MEDIAS DOS VALORES DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA	65
APÊNDICE J – MEDIAS DOS TEORES DO CÁLCIO TROCÁVEL DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA	66
APÊNDICE K – MEDIAS DOS TEORES DE MAGNÉSIO TROCÁVEL DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA	67
APÊNDICE L – MEDIAS DOS TEORES DO POTÁSSIO TROCÁVEL DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA	68

APÊNDICE M – MEDIAS DOS TEORES DE SÓDIO TROCÁVEL DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA	69
APÊNDICE N – MEDIAS DOS VALORES DA CTC EFETIVA DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA	70
ANEXO A - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VOLUME DE ÁGUA PERCOLADA APÓS APLICAÇÃO DAS LÂMINAS DE 78.75 mm NAS COLUNAS DE SOLO	71
ANEXO B - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO pH E CE NO LIXIVIADO APÓS APLICAÇÃO DAS LÂMINAS DE 78.75 mm NAS COLUNAS DE SOLO	72
ANEXO C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, SÓDIO E CTC EFETIVA APÓS APLICAÇÃO DAS LÂMINAS DE 78.75 mm NAS COLUNAS DE SOLO	73
ANEXO D - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO pH, CE E CTC EFETIVA DO SOLO APÓS INCUBAÇÃO	74
ANEXO E - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO E SÓDIO TROCÁVEIS DO SOLO APÓS INCUBAÇÃO	75
ANEXO F - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TOTAL DE LIXIVIADOS DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO E SÓDIO SOLÚVEIS APÓS INCUBAÇÃO	76

1 INTRODUÇÃO

A acidez do solo e a escassez da água estão dentre os principais fatores que limitam a produção agrícola no mundo. A acidez do solo influencia nas reações químicas e biológicas que controlam a disponibilidade de nutrientes e a toxicidade de alguns elementos no solo. Nas regiões tropicais predominam os solos ácidos, onde as limitações da produção agrícola estão relacionadas à baixa saturação de bases e à toxicidade de Al. Para o manejo da acidez do solo, os materiais mais utilizados são basicamente óxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos de cálcio e magnésio, nomeados também como condicionadores do solo, sendo as práticas mais comuns a calagem e gessagem. A calagem, tem a finalidade de neutralizar o alumínio, corrigir o pH e aumentar a disponibilidade de nutrientes. Entretanto, sua ação ocorre mais na superfície do solo, devido à sua baixa mobilidade. Por sua vez, o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) cerca de 200 vezes mais solúvel que o calcário, apresenta maior mobilidade no perfil do solo, diminuindo a atividade do alumínio em solução, além de fornecer cálcio e enxofre nas camadas mais profundas do solo.

Além dos problemas de acidez, a escassez de água de boa qualidade para a agricultura, também é um desafio, sendo mais relevante em zonas áridas e semiáridas onde a precipitação é menor que a evaporação, não permitindo manter a umidade do solo adequado para o desenvolvimento das plantas e levando a utilizar água de baixa qualidade que podem originar problemas de salinidade no solo. Entretanto para o melhor aproveitamento da água têm sido desenvolvidas tecnologias de economia de água que aumentam o estabelecimento e o crescimento da planta em solos de diferentes propriedades ante a escassez de água de boa qualidade. Uma delas é o uso de polímeros hidrofílicos superabsorventes ou hidrogel, que são substâncias que podem reter grandes quantidades de água e nutrientes quando incorporados no solo, tornando-os disponíveis para o crescimento das plantas sempre que seja necessário (ORIKIRIZA *et al.*, 2013).

Pelo exposto, o conhecimento da dinâmica dos movimentos de íons e a composição química do solo no perfil contribuirá para o melhor entendimento do efeito benéfico no desenvolvimento das plantas pela aplicação dos condicionadores do solo. O presente trabalho, com a utilização de colunas de solo, teve como objetivo avaliar alterações da composição química no perfil do solo e a movimentação dos cátions, após aplicação dos condicionadores do solo: calcário dolomítico, gesso agrícola e hidrogel, sob irrigação com água salina.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Acidez do solo

Existem diferentes tipos de acidez no solo, se tem a acidez ativa, geralmente expressa como pH do solo ($-\log [H^+]$ em solução), e a acidez potencial, cuja terminologia mais atual, é nomeada como a acidez total (em pH 7) (RAIJ *et al.*, 2001). A acidez total, por sua vez, é a soma da acidez trocável e da acidez não trocável. A acidez trocável é dada pelo íon Al e H eletrostaticamente retido por superfícies coloidais com cargas negativas dependentes do pH. A não trocável está relacionada ao conteúdo de H ligado covalentemente a coloides, monômeros e polímeros de alumínio no solo (ABREU *et al.*, 2003). Os solos ácidos, por definição, são solos com um pH (acidez ativa) abaixo de 7 numa escala de 0 a 14 (NATALE *et al.*, 2012).

Os solos podem ser naturalmente ácidos devido à relativa escassez de cátions básicos no material de origem. Alguns solos, originalmente não ácidos, tornam-se assim devido à remoção de bases trocáveis da superfície dos coloides, causados principalmente por: a) água da chuva; b) alteração de minerais de argila; c) troca iônica de raízes (liberação de CO_2); d) decomposição de matéria orgânica; e e) adição de fertilizantes nitrogenados (NATALE *et al.*, 2012).

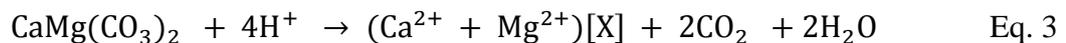
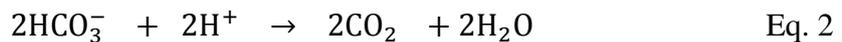
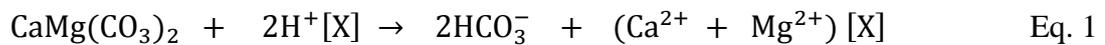
A acidez influencia em diferentes reações e processos químicos no solo, por exemplo, na disponibilidade dos macronutrientes e micronutrientes, na atividade biológica de microrganismos benéficos e na decomposição da matéria orgânica (VIEIRA *et al.*, 2019). Nos solos ácidos os baixos teores de saturação por bases pode causar limitações no desenvolvimento das culturas devido a deficiência de Ca, Mg e K e os altos teores de Al e Mn podem ser tóxicos, além de contribuir à deficiência de P e Mo (FENN *et al.*, 2006; CAIRES *et al.*, 2006; CLARK *et al.*, 2007). Em pH baixo ($<5,5$), o Al, Fe e Mn se tornam mais solúveis e podem ser tóxicos para as plantas, reduzindo seu desenvolvimento, atribuído em parte à redução do crescimento das raízes (FAGERIA, 2008). À medida que o pH aumenta ($>5,5$), a solubilidade desses elementos tóxicos diminui pela precipitação dos mesmos (DE VRIES; MCLAUGHLIN, 2013).

A baixa saturação de Ca associada a alta concentração de alumínio no subsolo é o principal impedimento do crescimento radicular (VIEIRA *et al.*, 2019), além disso, os solos ácidos podem apresentar baixa capacidade de retenção de água e estão sujeitos a compactação e a erosão hídrica (SHI *et al.*, 2019), aumentando a vulnerabilidade das culturas ao estresse hídrico e à deficiência de nutrientes (MUHAMMAD *et al.*, 2019).

2.2 Calagem

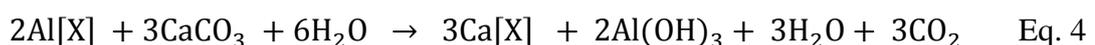
A correção da acidez do solo, para melhorar a produtividade agrícola e as propriedades do solo, pode ser feita através da calagem. A calagem ou aplicação de calcário é uma prática bem documentada, comum e eficaz na redução de problemas relacionados à acidez do solo (SHI *et al.*, 2019). Entre os efeitos da sua aplicação estão: (1) Aumento do conteúdo de Ca e, se for usado calcário dolomítico, resulta no aumento do teor de Mg no solo, (2) aumento do pH, que produz várias mudanças no solo que podem ser consideradas como efeitos indiretos, por exemplo, o Mo e P tornam-se mais disponíveis para as plantas e melhora-se a fixação simbiótica de N pelas leguminosas (HOLLAND *et al.*, 2018).

Geralmente na correção de acidez do solo usa-se calcário dolomítico, devido que fornece Ca e Mg e pode manter os equilíbrios entre esses dois elementos. As equações abaixo ilustram o tipo de reações que se seguem com a adição de calcário dolomítico a um solo ácido, a letra X representa o complexo de troca do solo (HOLLAND *et al.*, 2018).



As equações acima mostram as reações de neutralização da acidez do calcário em duas etapas. Na primeira etapa (Eq. 1), o Ca e Mg substituem os íons H nos sítios de troca (partículas de argila ou matéria orgânica carregadas negativamente), formando HCO_3^- . Na segunda etapa (Eq. 2), o HCO_3^- reage com H^+ formando CO_2 e H_2O e aumentam o pH.

Com a dissolução do calcário na solução do solo, o cálcio pode substituir o alumínio nos locais de troca e formar HCO_3^- . O íon Al se liga a hidroxilas, tornando-o insolúvel na água ($\text{Al}(\text{OH})_3$). A equação abaixo ilustra os tipos de reações que ocorrem devido à adição de calcário no solo ácido (FAGERIA; KNUPP, 2014).



A resposta à calagem, verificada pela elevação do pH, dos teores de Ca e Mg e pela troca e precipitação do Al, normalmente limita-se à camada de aplicação do corretivo ou àquela subjacente. Esse comportamento se deve à baixa solubilidade do calcário e à alta reatividade de seus ânions com os ácidos presentes na camada de solo. Sendo assim, a quase totalidade do Ca e do Mg adicionada vai para as cargas negativas criadas pelo aumento do pH, e para as cargas anteriormente ocupadas pelo Al, e só uma pequena parte fica na solução do solo (COUTINHO, 2006; ERNANI *et al.*, 2001).

A mobilidade vertical do Ca adicionado ao solo, via calcário, depende da presença de outros ânions na solução do solo, com destaque para NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} (COUTINHO, 2006). A incorporação de sais de Ca que incluem esses ânions, geralmente pouco retidos no solo, permite expressiva movimentação do cátion às camadas subsuperficiais. Os autores discorrem ainda o tempo de presenciar os efeitos benéficos da aplicação do calcário, alguns deles concordaram que os efeitos benéficos do calcário aplicado superficialmente são observados após um ano (DE SOUZA *et al.*, 2012). Por enquanto, um meio de provocar a movimentação de Ca a maiores profundidades consiste na utilização de doses de calcário maiores que as estimadas pelos métodos de determinação da necessidade de calagem (NC). Embora essa técnica pode promover na camada de incorporação sérios desequilíbrios entre bases trocáveis (Ca, Mg e K). Também a elevação do pH pode ocasionar deficiência de micronutrientes, como Mn, Fe, Zn e Cu, além de deficiência de P (NATALE *et al.*, 2012).

O Poder de Neutralização (PN) e a Reatividade (RE) do calcário são duas características para determinar a qualidade do produto. O PN também chamado de valor neutralizante total, é a porcentagem do material de calagem capaz de neutralizar a acidez devido a impurezas que apresentam os materiais de calcário. A RE determina a rapidez com que o material reagirá com o ácido e é dada pela porcentagem do material que passa ou é retido pelas peneiras de teste padrão, e depende da legislação de cada país (KAMPRATH; SMYTH, 2005). A qualidade do calcário é medida através de um índice que leva em conta essas duas características nomeado Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT).

O principal indicador para determinar a Necessidade de Calagem (NC) é o pH do solo, enquanto a textura do solo e o conteúdo de matéria orgânica são outras duas propriedades do solo que influenciam diretamente na NC, por exemplo para solos minerais, com alto porcentagem de areia se reduz a NC e solos minerais com maiores teores de argila apresentam maior NC. Também níveis mais altos de matéria orgânica reduzem a NC e solos mais úmidos

requerem menos NC (HOLLAND *et al.*, 2018). Além do pH, outras propriedades do solo, como a capacidade de troca catiônica, o teor de Fe e Al também demonstraram influenciar na NC (CURTIN; TROLOVE, 2013), enquanto algumas propriedades do solo, como umidade e temperatura do solo, influenciam na taxa de reação do calcário (LEMIRE *et al.*, 2006).

2.3 Gessagem

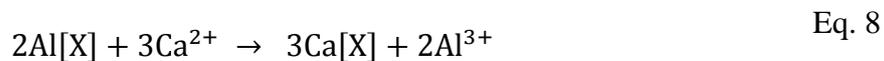
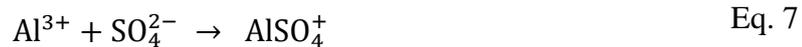
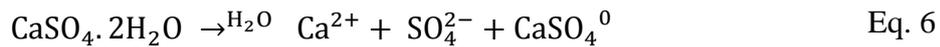
Os produtos à base de gesso são produzidos durante a fabricação de ácido fosfórico, fluorídrico e ácido cítrico. No entanto, uma parte importante do gesso é produzida como um subproduto do ácido fosfórico a partir de fosfato de rocha. O gesso produzido com este processo é conhecido como gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (FAGERIA; KNUPP, 2014). O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um sal levemente solúvel em solução aquosa (constante do produto de solubilidade, $K_{sp} = 3.14 \times 10^{-5}$). Normalmente, o gesso se dissolve na água a aproximadamente $2,5 \text{ g L}^{-1}$ ou 15 mM. A solubilidade do gesso é significativamente aprimorada pela formação de complexos, sendo o par de íons CaSO_4^0 que contribui para a solubilidade em solução aquosa. Nas soluções salinas com presença de Na, a solubilidade do gesso aumenta, sendo maior que na água pura, devido aos efeitos da força iônica e ao emparelhamento de íons (CRUSCIOL *et al.*, 2016). Em solos salinos, a solubilidade é aumentada pela presença de sais de Ca não solúveis na solução do solo e também é promovida pela troca de Ca por outros íons trocáveis (ZOCA; PENN, 2017).

O gesso é uns dos condicionadores mais utilizados como fonte de Ca para substituir o Na trocável, em razão do baixo preço, disponibilidade no mercado e fácil manuseio; adicionalmente, o gesso funciona como fonte de S e Ca para as plantas. Na Eq. 5 se mostra a reação reversível do gesso no solo, onde o produto final é o sulfato de sódio. Entretanto, para que a recuperação do solo seja eficiente temos que levar o sulfato de sódio para as camadas mais profundas pelo qual uma lâmina de água de irrigação deve ser aplicada (PAULETTI *et al.*, 2014).



A aplicação de gesso libera Ca e SO_4^{2-} (Eq. 6) no subsolo e diminui a toxicidade do Al, este efeito é atribuído aos íons SO_4^{2-} , que reagem com o Al livre na solução, formando complexos de alumínio-sulfato (AlSO_4^+), que são menos tóxicos (Eq. 7). Além disso, pode

ocorrer uma troca de OH^- por SO_4^{2-} nas superfícies minerais sesquioxídicas o que resulta em um aumento no pH, levando à polimerização ou precipitação de Al (TIECHER *et al.*, 2018). A aplicação de gesso em quantidades adequadas aumenta os íons Ca nas soluções do solo e resulta no deslocamento de Al (Eq. 8), mas também pode deslocar cátions como o Mg e K do complexo de troca de solo (PIOVESAN *et al.*, 2009)



A mobilidade do Ca no solo se deve, principalmente, à formação do par iônico CaSO_4^0 . A dissolução do gesso libera íons Ca e SO_4^{2-} (participam das reações de troca catiônica e aniônica) e formas não iônicas CaSO_4^0 (Eq. 6). Do total do gesso solubilizado, aproximadamente 40 % encontra-se na forma não-dissociada, solúvel e neutra, sendo potencialmente móvel no solo. À medida que a forma CaSO_4^0 migra da camada incorporada, pode ocorrer a dissociação para as formas Ca e SO_4^{2-} (COUTINHO, 2006).

Devido à alta mobilidade dos produtos de dissolução de gesso, o gesso geralmente é superior aos materiais à base de calcário em relação a aliviar os problemas de acidez do subsolo. Isso seria especialmente importante em sistemas de plantio direto onde o material de calagem não pode ser incorporado. Além disso, como a solubilidade do calcário é reduzida em solos de pH neutro, é improvável que um solo neutro na superfície sobre um subsolo ácido seja aliviado com a aplicação de calcário (NATALE *et al.*, 2012). Em contraste, a solubilidade do gesso é menos influenciada pelo pH. Embora os produtos de dissolução de gesso não possam neutralizar diretamente a acidez como o carbonato, eles podem aliviar a toxicidade do Al, deslocando o Al solúvel para formas menos tóxicas e diminuindo assim a sua (TIECHER *et al.*, 2018). A granulometria de gesso também pode influenciar na sua eficiência, sendo que geralmente não é recomendável gesso com partículas maiores de 2,0 mm. O gesso pode ser aplicado no solo a lanço superficial ou incorporado no solo a ser recuperado, e também fornecido via água de irrigação (FREIRE *et al.*, 2016).

2.4 Qualidade da água de Irrigação

A qualidade da água influencia na sua adequação a um uso específico, isto é, quanto bem a qualidade atende a necessidade do usuário. As características químicas, biológicas e físicas da qualidade da água tornaram-se importantes no planejamento e desenvolvimento de recursos hídricos para fins industriais e de irrigação (SHAKOOR, 2015). As principais preocupações em termos de qualidade e quantidade da água para irrigação devem-se à sua distribuição inadequada na superfície da terra e ao rápido declínio da água útil utilizável (SINGH, 2019). A possível contaminação na água inclui a matéria orgânica, nutrientes, sólidos em suspensão, metais pesados, pesticidas e produtos químicos industriais. As atividades antropogênicas nas bacias hidrográficas, a erosão e os depósitos atmosféricos também foram os principais impactos negativos na qualidade da água da maioria dos reservatórios (SINGH, 2019).

Um grande problema na sustentação e aumento da produção agrícola em áreas áridas e semiáridas do mundo é a água subterrânea de baixa qualidade (salina, sódica e salina-sódica) e o suprimento inadequado de água de boa qualidade para irrigação (SEKHON *et al.*, 2020). A suplementação de irrigação com água subterrânea é crítica em clima árido e semi-árido, onde as chuvas são sazonais e o abastecimento é irregular e algumas vezes inadequado (PATHAK *et al.*, 2013); entre tanto, a qualidade e quantidade da água utilizada, particularmente em relação à concentração de sais solúveis, são fatores importantes no sistema de irrigação adotada. Embora, para superar a escassez de água doce, a água de baixa qualidade (como água salobra ou salina) é cada vez mais usada para irrigação (YUAN *et al.*, 2019). Cerca de 20% da área cultivada do mundo e quase metade das terras irrigadas do mundo são afetadas pela salinidade. A baixa qualidade da água de irrigação e a alta salinidade do solo reduzem a produtividade agrícola em muitas regiões do mundo (SEKHON *et al.*, 2020).

A qualidade da água de irrigação é avaliada com base no potencial da água em causar riscos de salinidade, sodicidade, alcalinidade e toxicidade. Os índices comumente utilizados para determinar a salinidade na água de irrigação são: Totais de Sais Dissolvidos (TDS) e a Condutividade Elétrica (CE). Os principais índices para determinar o potencial de sodicidade e alcalinidade das águas de irrigação são: O pH, Porcentagem de Sódio Trocável (PST), Relação de Adsorção de Sódio (RAS), RAS ajustada (RASaj) e Carbonato de Sódio Residual (CSR) (MINHAS *et al.*, 2019). A salinidade do solo também podem ser influenciadas por outros fatores que determinam o grau e/ou a velocidade do processo de salinização na

superfície do solo, entre elas temos o efeito de evapotranspiração, precipitação e as taxas de infiltração do solo (YANG *et al.*, 2020).

A salinidade do solo é desenvolvida quando aumenta o conteúdo de sais como resultado do movimento da água no solo, especialmente devido à irrigação com água de qualidade inferior. Nos solos afetados por sais, o rendimento das culturas pode ser afetado de várias maneiras: a) salinidade: o acúmulo de sais na zona radicular limita a disponibilidade de água para as plantas, o que resulta em estresse das plantas, b) sodicidade: altos teores de Na trocável reduz a infiltração da água, c) Toxicidade de íons específicos, como B, Cl e Na onde o solo da agricultura é afetada e danifica o rendimento das culturas de várias maneiras (BEZBORODOV *et al.*, 2010; DÍAZ *et al.*, 2018).

O semiárido nordestino brasileiro é conhecidamente deficitário em fontes de água de boa qualidade, razão pela qual os agricultores da região irrigam suas culturas com água de rios intermitentes e poços rasos e/ou profundos. As condições climáticas locais de intensa insolação e evapotranspiração comprometem a qualidade física e química dessas águas, enriquecendo-as com sais que são transportados para o sistema solo-planta via irrigação (DE ASSIS JÚNIOR; DA SILVA, 2012). A utilização de fontes de água para irrigação com condutividades superiores a 2,0 dS/m é comum em áreas irrigadas no semiárido brasileiro, principalmente em períodos de seca. No entanto, o uso de tais fontes de água, bem como a reutilização da água de drenagem para irrigação, depende de estratégias de longo prazo para garantir a sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos sistemas agrícolas (SHARMA; RAO, 1998).

2.5 Aplicação de polímeros hidrofílicos superabsorventes

A escassez de água exige novas estratégias para projetar sistemas eficientes de aproveitamento e manejo desse recurso. O manejo ou gestão da água pode ser melhorado através de medidas para aumentar a capacidade de retenção de umidade do solo e a eficiência da água (IGLESIAS; GARROTE, 2015; GALEŞ *et al.*, 2016). Uns dos mecanismos para aumentar o armazenamento de água no solo pode ser através da utilização de polímeros hidrofílicos superabsorventes ou hidrogel, devido à existência dos grupos hidrofílicos como -OH, -COOH, -NH₂, -CONH₂ e -SO₃H na sua rede tridimensional, lhes permitindo absorver grandes quantidades de água e nutrientes e posteriormente, libera-os lentamente (SHARMA *et*

al., 2015). Devido esse comportamento, os polímeros hidrofílicos superabsorventes estão sendo aplicados em vários setores, como na medicina, agricultura e horticultura (OLAD *et al.*, 2018).

Em áreas áridas durante as estações secas, a função de reter água do hidrogel no solo é extremamente importante, pois mantém a umidade do solo e a água pode ser disponibilizada quando requerido pelo sistema radicular da planta (SATRIANI *et al.*, 2018; AHMAD; KHAN, 2017). Tais hidrogéis não reagem com os constituintes do solo, sendo que a maior parte da água armazenada nesses polímeros fica disponível em tensões relativamente baixas, este aumento na retenção de água também pode exercer uma melhora na qualidade física dos solos como nas taxas de infiltração, densidade, estrutura do solo, compactação, estabilidade dos agregados e taxas de evaporação. Por esses benefícios dos hidrogéis quando aplicados no solo podem se considerar como condicionadores (EKEBAFE *et al.*, 2011).

Os hidrogéis podem ser classificados em sintéticos e naturais, sendo os sintéticos aqueles produzidos de fontes não renováveis, principalmente do petróleo, como a poliacrilamida (PAM) (EKEBAFE *et al.*, 2011). As PAM são macromoléculas compostas pela repetição de muitos monômeros de acrilamida unidas por ligações covalente. As PAM são substâncias insolúveis em água que possuem capacidade de absorver até mais de cem vezes a sua própria massa em água (BAJPAI *et al.*, 2008). De acordo com Wang *et al.* (2011) a PAM é um hidrogel eficiente na retenção e disponibilização de água no solo para as plantas e reduz as perdas por lixiviação de nutrientes. Segundo Jiang *et al.* (2010), a PAM interaciona através de pontes catiônicas, gerada pelos grupos aniônicos do polímero e os cátions multivalentes (como Ca e Mg) na solução do solo.

Existem diversos estudos que demonstraram o uso de polímeros hidrofílicos como condicionadores do solo. Satriani *et al.* (2018) mostraram o incremento da eficiência da água na produtividade de grãos de feijão com a incorporação de polímeros superabsorventes através do sistema de irrigação. Montesano *et al.* (2015) trabalharam com hidrogéis superabsorventes à base de celulose em solos arenosos, onde a aplicação de hidrogel (0,4% em peso) modificou as propriedades de retenção de água no solo, levando a umidade do solo à capacidade de campo até 100% maior em comparação com o solo sem hidrogel. Abrisham *et al.* (2018) mostraram aumentos na Capacidade de Troca Catiônica (CTC), pela aplicação de polímeros superabsorventes à base de acrilamida (0,1% e 0,3% em peso) sobre um solo franco arenoso, o aumento máximo da CTC foi de 31% quando comparado com a testemunha.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para conseguir os objetivos propostos foi conduzido um experimento em colunas reconstruindo o perfil do solo em estudo.

3.1 Localização do Experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici, localizado no município de Fortaleza – CE, Brasil.

3.2 Informação da área de estudo e do solo

Foi utilizado um solo classificado como Argissolo Amarelo coletado em propriedades da fazenda São Tomé que fica localizado no município de Palhano-CE. A trincheira para a amostragem do perfil do solo foi aberta em uma área que possuía apenas vegetação nativa com coordenadas UTM 9475137 S, 625718 E, localizada perto da área de irrigação do Pivô 4 (Figura 1). As amostras foram retiradas separadamente por horizontes até os 80 cm de profundidade, para posterior reconstrução do perfil nas colunas de solo. Os atributos químicos do solo por horizontes são apresentados na Tabela 1 e as densidades e características granulométricas de cada horizonte se apresentam na Tabela 2.

O Município Palhano apresenta uma precipitação média de 630 mm e o clima da região está inserido em dois tipos climáticos, Tropical Quente Semi Árido e Tropical Quente Semi Árido Brando (IPECE, 2007); os dois tipos de clima encontram-se dentro do nível de classificação climática As, segundo a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013).

Figura 1- Localização da área de estudo no município de Palhano do Estado do Ceará

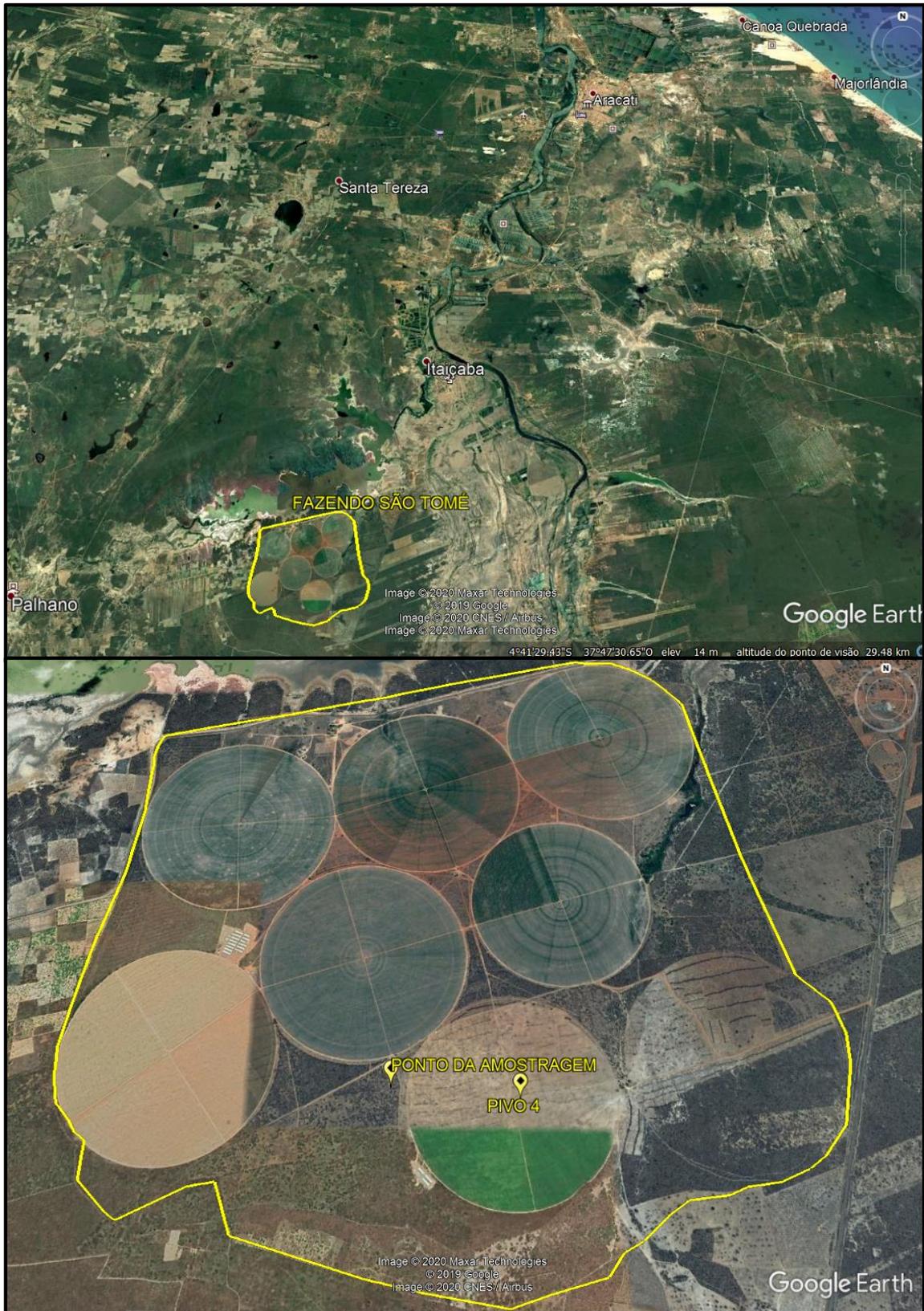


Tabela 1- Propriedades químicas do Argissolo Amarelo usado no experimento

Horizonte	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	H + Al	T ⁽¹⁾	t ⁽²⁾	V ⁽³⁾
cm		dS/m	.....cmol _c /kg.....							%
0-5	6,50	0,82	1,90	0,64	0,44	0,18	0,40	3,56	3,16	88,75
5-15	5,85	0,63	1,08	0,27	0,15	0,16	0,85	2,42	1,82	69,00
15-30	5,36	0,39	0,67	0,17	0,12	0,15	0,80	1,9	1,36	61,25
30-50	5,23	0,20	0,66	0,20	0,11	0,14	0,75	1,86	1,46	56,60
50-80	4,96	0,21	0,63	0,22	0,11	0,14	0,80	2,01	1,46	58,13

(1) T=Capacidade de troca de cátions;

(2) t = Capacidade de troca de cátions efetiva;

(3) V= Saturação por bases

Tabela 2- Densidade e características granulométricas do Argissolo Amarelo usado no experimento

Horizonte	Densidade	Argila	Silte	Areia	Classe textural
cm	g/cm ³	.....g/kg.....			
0-5	1,61	38,3	102,8	859,7	Areia
5-15	1,55	110,8	14,1	875,1	Franco arenoso
15-30	1,52	154,1	23,8	822,0	Franco arenoso
30-50	1,50	168,9	29,1	802,0	Franco arenoso
50-80	1,50	157,7	46,4	796,0	Franco arenoso

3.3 Tratamentos

Em colunas de solo com 80 cm de profundidade foram utilizados três condicionadores do solo: Calcário dolomítico, gesso agrícola e um tipo de hidrogel (baseado em poliácridamida). A dose de calcário dolomítico foi calculada para atingir 100% de saturação de bases nos primeiros 30 cm do solo. As doses de gesso foram calculadas de modo se aplicar Ca na mesma quantidade de cmol_c de Ca + Mg/kg de solo aplicadas com calcário. A dose de hidrogel foi de 1g/kg do solo, seguindo a recomendação do fabricante e a mesma usada na fazenda São Tomé. Os condicionadores foram aplicados por incorporação individualmente e em combinação. Na Tabela 3, detalha-se os tratamentos e as doses de condicionadores a serem aplicadas. A lâmina de água aplicada foi de 630 mm, a qual é uma simulação ao regime hídrico típico da região de Palhano.

Tabela 3- Tratamentos e doses dos condicionadores usados no experimento

N°	Tratamentos	Código ¹	Calcário	Gesso	Hidrogel ⁴
			dolomítico ²	agrícola ³	
.....g/kg solo.....					
1	Testemunha	T	0	0	0
2	Calcário	C	0,92	0	0
3	Gesso	G	0	2,79	0
4	Calcário + Gesso	CG	0,46	1,40	0
5	Hidrogel	H	0	0	1
6	Calcário + Hidrogel	CH	0,92	0	1
7	Gesso + Hidrogel	GH	0	2,79	1
8	Calcário + Gesso + Hidrogel	CGH	0,46	1,40	1

- (1) T= Testemunha, C = calcário dolomítico, G = Gesso agrícola e H = Hidrogel,
(2) Dose de calcário dolomítico calculada para atingir 100% da saturação de bases (V%) de solo nos primeiros 30 cm.
(3) Dose de gesso foram calculadas de modo se aplicar Ca²⁺ na mesma quantidade de cmol_c de Ca + Mg/kg de solo aplicadas com calcário.
(4) Dose recomendada pelo fabricante, usada pela fazenda.

As características químicas do calcário dolomítico, gesso agrícola e a água de irrigação se apresentam na Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente.

Tabela 4- Composição química e granulométrica do calcário dolomítico e gesso agrícola usados no experimento

Corretivo	Composição				PN	RE	PRNT
	CaO	Ca	Mg	S			
.....%							
Calcário dolomítico (CaCO ₃)	24,6	17,63	14	-	84,91	98,08	83,28
Gesso agrícola (CaSO ₄ .2H ₂ O)	14,77	10,85	-	19	-	-	-

PN = Poder de Neutralização, RE = Reatividade, PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total

Tabela 5- Qualidade da água de irrigação utilizada no experimento

	Cátions				pH	CE dS/m	RAS
	Ca	Mg	Na	K			
	.....mmol/l.....				.....		.....
Água de poço	1,31	4,41	20,9	0,4	7,7	2,96	12

3.4 Instalação e condução do experimento

3.4.1 Montagem das colunas

As amostras do solo, após serem secas ao ar, foram passadas em peneira com malha de 4 mm e acondicionadas em tubo de PVC rígido de 90 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Composto por anéis de 5 e 10 cm colados com Araldite e fita adesiva. Antes do preenchimento com solo, a superfície interna dos anéis foi recoberta com areia com ajuda de adesivo plástico, para evitar escoamento preferencial da água de irrigação através dessa interface. Com o volume dos anéis e a densidade do solo de cada horizonte foi determinada a quantidade de solo em peso que deve ser preenchido cada anel. O preenchimento do solo foi de baixo para cima. Para reter o solo na parte inferior foi usada uma tampa de PVC com tela de nylon e papel filtro. Para a coleta do lixiviado, a tampa de PVC foi perfurada e colada uma mangueira e colocada uma garrafa de vidro para o seu recebimento (Figura 2).

Figura 2- Sistema coluna de solo utilizado no experimento

3.4.2 Aplicação dos condicionadores do solo, irrigação e coleta do lixiviado

O calcário dolomítico e gesso foram incorporados ao solo nos primeiros 15 cm do perfil, enquanto o hidrogel foi nos primeiros 5 cm. Antes da primeira aplicação da lâmina de água de poço, as colunas foram saturadas utilizando água destilada até a saída da primeira gota de drenagem, foram cobertas com plástico de polietileno e permaneceram nessas condições por 7 dias. Em todas as colunas foi aplicado uma lâmina total de água de 630 mm (média da precipitação anual do município de Palhano), dividida em 8 frações de 78.75 mm (0,620 l/coluna) em intervalos de 7 dias. Os percolados foram coletados em garrafas de plástico após 48 h da aplicação da lâmina de água, sendo codificadas e transportadas para análises em laboratório.

3.4.3 Desmontagens das colunas

Aos 60 dias, 4 dias após da última aplicação da lâmina de água, as colunas foram separadas em seções transversais, correspondentes a 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80 cm de profundidade. O solo de cada seção foi seco ao ar, tamisado em peneira de 2 mm, homogeneizado, identificado e transportado ao laboratório para análises.

3.5 Varáveis analisadas

3.5.1 No solo

No solo de cada camada foram determinados os cátions trocáveis, usando acetato de amônio pH 7 como extrator do Ca, Mg, K, Na e KCl 1M para o Al (EMBRAPA, 2017). As determinações de Ca e Mg foram através de espectrômetro de absorção atômica, o Na e K por fotômetro de chama e o Al por titulação. O pH (1:2) foi medido usando pHmetro de bancada e a condutividade elétrica por extrato de saturação em condutivímetro de bancada.

3.5.2 Na água percolada

Na água percolada foram determinados os cátions solúveis, através de espectrômetro de absorção atômica para o Ca e Mg e fotômetro de chama para o K e Na. O pH medido usando pHmetro e a condutividade com condutivímetro de bancada. Com o volume da água percolada e as concentrações dos cátions em cada coleta foram calculadas as quantidades dos elementos lixiviados nos tratamentos aplicados, para realização do balanço de nutrientes.

3.6 Balanço de nutrientes

Para cada coluna foi realizado um balanço entre cátions adicionados através da água de irrigação e corretivos (calcário dolomítico e gesso) e os lixiviados na água de drenagem, através da seguinte fórmula:

$$\text{Cátions retidos} \left(\frac{\text{mmol}_c}{\text{coluna}} \right) = \text{Cátions aportados} \left(\frac{\text{mmol}_c}{\text{coluna}} \right) - \text{Cátions lixiviados} \left(\frac{\text{mmol}_c}{\text{coluna}} \right)$$

3.7 Delineamento experimental

Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) para os oito tratamentos resultantes da combinação dos condicionadores do solo: 1. Testemunha (T), 2. Calcário dolomítico (C), 3. Gesso (G), 4. Calcário + Gesso (CG), 5. Hidrogel (H), 6. Calcário + Hidrogel (CH), 7. Gesso + Hidrogel (GH), 8. Calcário + Gesso + Hidrogel (CGH), 2 colunas por tratamento e 2 sub-amostragem de cada coluna.

Os resultados das variáveis das amostras no perfil do solo e na água percolada das colunas, foram submetidas à análise da variância (ANOVA). Os valores médios dos percolados e das camadas entre tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram feitas utilizando o software SAS versão gratuita.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

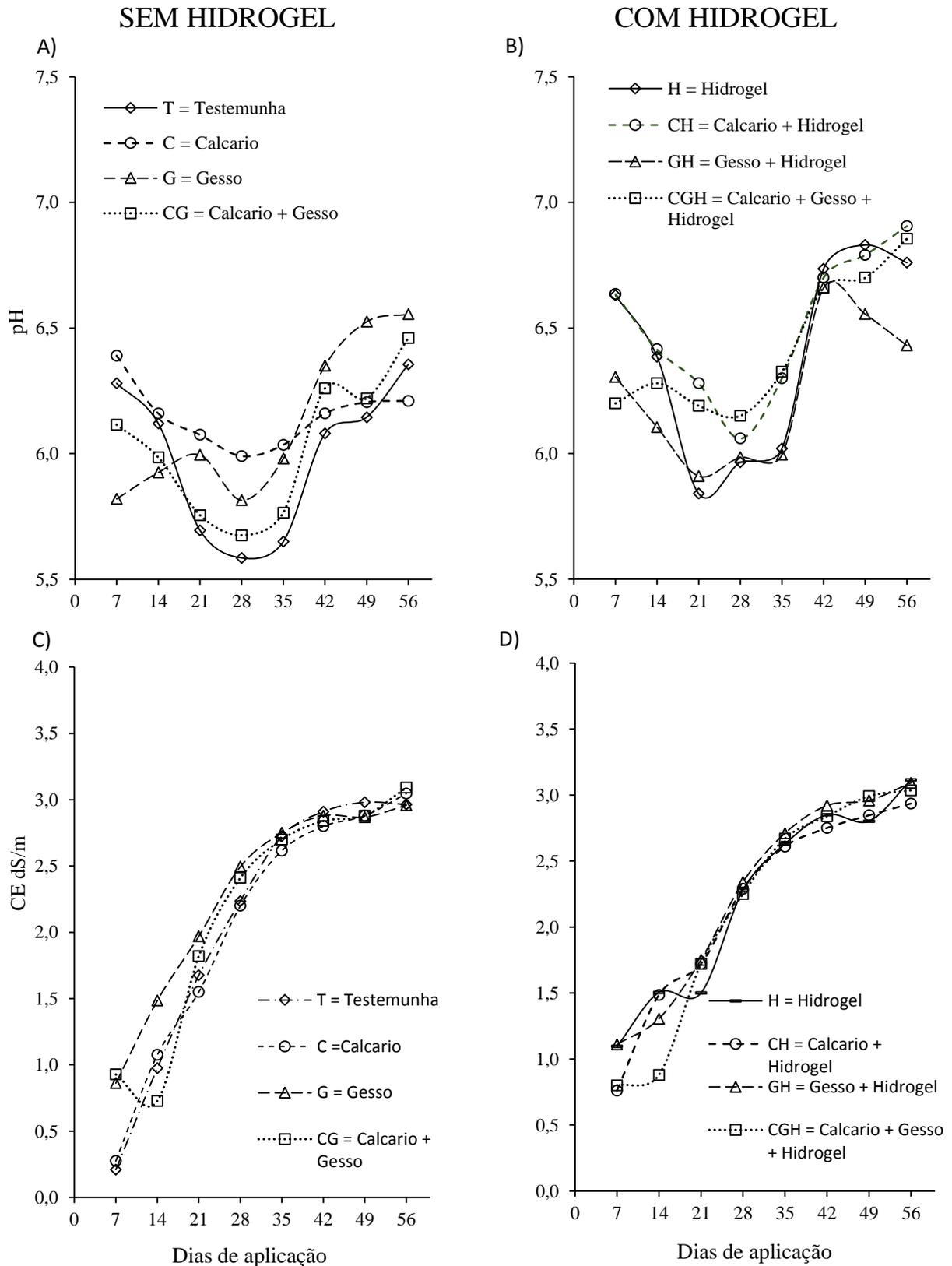
4.1 Água percolada e características

O volume de água coletada após cada irrigação foi similar em todos os tratamentos, não mostrando diferença significativa entre os tratamentos, esse comportamento sugere que a preparação das colunas foi uniforme, apresentando coeficiente de variação de 5,25 (ANEXO A). O volume da primeira coleta (0,627 l) foi similar à lâmina aplicada na primeira fração (0,62 l) e partir da mesma, o volume de efluente recuperado (0,56 l) se manteve praticamente constante e sempre foi menor do que ao volume de água aplicado nas colunas (0,62 l), recuperando-se em média 90% do aplicado durante os 60 dias de duração do experimento. O maior volume na coleta inicial pode ser atribuído à drenagem da água retida pelo solo do umedecimento inicial, devido que a primeira fração da lâmina de água aplicada foi logo após as colunas pararem de drenar; e para a redução do volume coletado após estabilização deve ter contribuído as perdas por evaporação.

Observando os valores iniciais e finais do pH nos percolados dentro de cada tratamento, pode se evidenciar que só houve diferença significativa para o tratamento G e CGH, que aumentaram em 0,74 e 0,35, respectivamente, embora o comportamento do pH ao longo do experimento, começou com decréscimo até os 28 dias (Figura 3), acompanhado de um acréscimo até o último dia do experimento (56 dias), isto para todos os tratamentos. Aos 7 dias (1º percolado) já se observaram diferenças entre os valores de pH quando comparado com a testemunha, apresentando valores inferiores para o tratamento G, CG (Figura 3A) e CGH (Figura 3.B), sendo só significativamente menor para o tratamento G.

Os percolados dos demais tratamentos aumentaram o pH em relação à testemunha, não apresentando diferença significativa. A acentuada diminuição do pH no tratamento G deve-se possivelmente à hidrólise do alumínio e hidrogênio, deslocados das cargas negativas pelo cálcio aplicado nos tratamentos (ERNANI *et al.*, 2001). O gesso por apresentar maior dissolução que o calcário dolomítico reduziu o pH dos percolados logo no início do experimento (aos 7 dias) (VIEIRA *et al.*, 2019)..

Figura 3- Valores médios de pH e da Condutividade Elétrica (CE) da água percolada nas colunas dos tratamentos em função do tempo, durante a aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina



O pH entre os 21 dias (4º percolado) a 42 dias (9º percolado) na testemunha mostraram os menores valores em relação aos demais tratamentos (Figura 3A) com valores mais acentuado entre os 28 dias (4º percolado) e 35 dias (5ª percolado), sendo significativamente diferentes com os tratamentos C, CH e CGH. Para esses valores menores deve ter contribuído à ausência de condicionadores na testemunha e o aporte de Na na água de irrigação, o qual deslocou uma maior quantidade de Al e H trocáveis, que transportado para os percolados diminuiu seu pH. Jalali e Ranjbar (2009) trabalhando com gesso e fertilizantes orgânicos em um solo de área agrícola, encontraram que o Na⁺ trocável ocupava mais facilmente os sítios de troca no solo controle do que nos solos tratados com gesso e fertilizantes orgânicos.

O pH incrementou-se para todos os tratamentos a partir dos 28 dias (4º percolado) até a última aplicação da lâmina de água (56 dias), possivelmente originado pela competição dos cátions presentes na solução do solo pelos sítios de troca dos coloides do solo. o Ca devido a dissolução dos condicionadores e o Na da água de irrigação competem pelos sítios de troca, originando uma redução do Al e H em solução e assim nos percolados, originando um ligeiro incremento no pH (JALALI; RANJBAR, 2009). O pH nos tratamentos G e GH desde o início do experimento até o dia 35 (5º percolado), sempre se manteve abaixo do pH dos tratamentos C e CH (Figura 3), indicando que a lixiviação de Al e H para os tratamentos onde foi aplicado gesso foi maior, isso devido à solubilidade do gesso agrícola (2,5g/l) é aproximadamente 170 vezes maior do que o calcário podendo se movimentar ao longo do perfil sob a influência da água percolada (VIEIRA *et al.*, 2019).

Os valores da condutividade elétrica (CE) para todos os tratamentos aumentaram até os 35 dias, a partir dos quais seus valores foram similares ao da água de irrigação (2,96 dS/m) (Figura 3C e 3D). A CE aos 7 dias (1º percolado) e aos 14 dias (2º percolado) no tratamento G e GH apresentaram aumentos significativos quando comparados com a testemunha. Para os tratamentos CG e CGH estes aumentos foram significativos só aos 7 dias. Este comportamento deve-se possivelmente à rápida dissolução do gesso que faz mobilizar uma maior quantidade de sais ao longo do perfil, esses sais são removidos na água percolada; assim, nos tratamentos G e GH ao apresentar o dobro do gesso que nos tratamentos CG e CGH, removeram uma maior quantidade de sais no perfil. A CE no tratamento C e CH só apresentam incrementos aos 7 dias (1º percolado), embora não foi significativos devido que o calcário dolomítico por ser menos solúvel que o gesso, contribui menos para elevar esses valores na CE

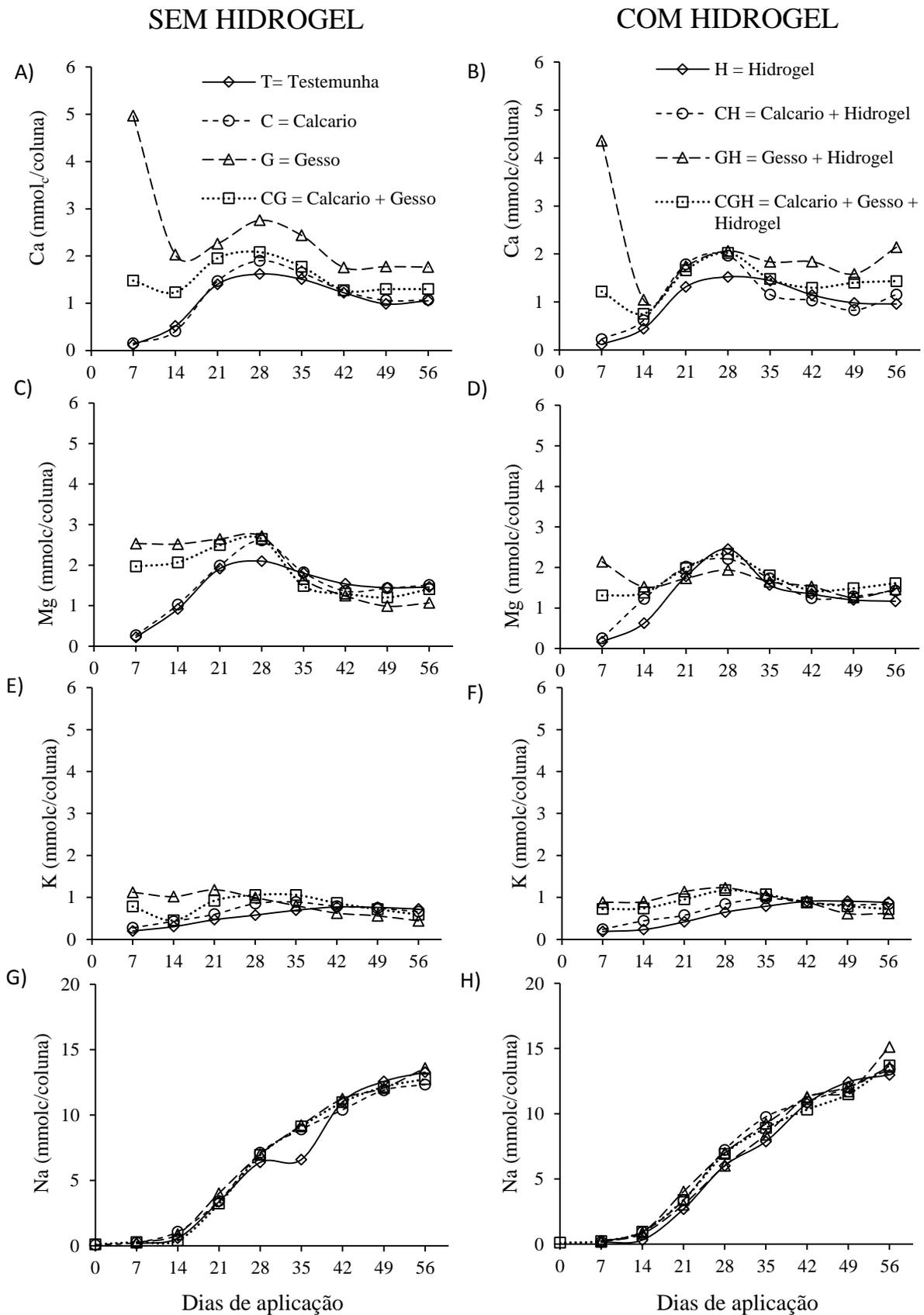
(NATALE *et al.*, 2012), já entre o segundo e último percolado (14 e 56 dias), os valores da CE para esses tratamentos foram similares com a testemunha, não apresentando diferença significativa.

4.2 Perdas de cátions por lixiviação

A lixiviação dos cátions para os diferentes tratamentos aplicados ao longo dos dias de aplicação da lâmina de água se apresentam na Figura 4, onde pode-se visualizar que em geral os teores de concentração (mmol_c/coluna) para os cátions Ca, Mg e K ao longo das coletas para os tratamentos que foram aplicados gesso (G, GH, GC e GCH) iniciaram com valores maiores que os demais tratamentos. No caso do Ca quase sempre se manteve acima deles em todos os percolados, embora os teores de Mg e K nas últimas coletas atingiram teores similares da testemunha e alguns casos por abaixo deles.

Os teores de Ca nos percolados para o tratamento G sempre se mostraram acima dos demais tratamentos e quando comparado com a testemunha, sempre houve diferenças significativas. Para o GH a significância foi no 2º percolado e a partir do 6º percolado. Para o CG a diferença significativa se apresentou até os 14 dias (2º percolado) e para CGH não apresentaram diferença significativa quando comparado com a testemunha. Como se pode visualizar na Figura 4A e Figura 4B, os maiores teores de Ca para esses tratamentos foram obtidos aos 7 dias, mostrando que o Ca, fornecido pela rápida dissolução do gesso em comparação com o calcário, está sendo lixiviado (ANIKWE *et al.*, 2016). Quando comparando o tratamento G com GH, se observaram maiores teores de cálcio (mmol_c/coluna) nos percolados no G, sendo significativos a partir dos 7 dias até os 35 dias, indicando que a perda desse elemento no tratamento contendo hidrogel foi menor.

Figura 4- Valores médios de bases solúveis da água percolada nas colunas dos tratamentos em função do tempo, durante a aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina



Nos tratamentos CH e C a concentração do Ca (mmolc/coluna) segue o mesmo comportamento que a testemunha (T) ao longo do período avaliado (Figura 4A e 4B). Para o tratamento C, pode-se visualizar que os teores de Ca sempre estiveram acima dos teores da testemunha, embora não foi significativo para nenhum percolado coletado. Para o tratamento CH, embora não houve diferença significativa em relação à testemunha nos percolados. Natale et al. (2012) indicaram que o calcário dolomítico apresenta baixa dissolução e é pouco móvel no solo, e que a movimentação das partículas no perfil do solo depende da dose do corretivo empregada, do tempo decorrido após aplicação, do tipo do solo. Para o Mg, o comportamento de lixiviação para esses tratamentos foi similar do que o Ca, seguindo o comportamento da testemunha e ocorrendo um aumento significativo de lixiviação no 5º percolado (28 dias) quando comparado com a testemunha.

As concentrações de Mg (mmolc/coluna) nos primeiros percolados foram maiores nos tratamentos onde aplicou-se gesso do que nos tratamentos com aplicação de calcário e a testemunha (Figura 4C e 4D). Esse comportamento é devido à maior dissolução do gesso que fornece aumento nos teores de Ca em solução, gerando uma troca maior de cátions nos sítios de troca dos coloides do solo, incluindo o Mg. Li *et al.*, (2019b) trabalhando com incorporação de gesso, bio sólidos e esterco bovino em solos, evidenciaram também esse comportamento, onde obtiveram maiores teores de Na, Ca, Mg e SO_4^- no lixiviado quando foi aplicado gesso.

Para o tratamento G, CG os aumentos de Mg nos percolados foram significativamente maiores quando comparado com a testemunha até os 28 dias (4º percolado). A lixiviação de Mg para o tratamento C e CH, seguiu o mesmo comportamento da testemunha, sendo significativamente diferente aos 28 dias (4º percolado) no tratamento C. Além disso, os valores de lixiviação do Mg até o 5º percolado (28 dias) para o tratamento G foram maiores do que no tratamento GH, apresentando diferença significativa do 3º (14 dias) a 5º (28 dias) percolado. Esse comportamento também foi observado com o Ca nos percolados quando comparados o tratamento G e o GH, a diferença foi significativamente maior para o G do 2º (14 dias) a 6º (35 dias) percolado. Sharma *et al.* (2015) explica que o hidrogel ao apresentar grupos hidrofílicos como -OH, -COOH, -NH₂, -CONH₂ e -SO₃H na sua rede tridimensional absorve ou retém grandes quantidades de água e nutrientes e posteriormente os libera lentamente, explicando assim o comportamento do lixiviado do Mg e Ca nos tratamentos com hidrogel no período avaliado. A partir da 6ª coleta (35 dias) do percolado até a última, o Mg para todos os

tratamentos quando comparado com a testemunha, só se observou diferença significativa no tratamento G, sendo menor significativamente no 8º (49 dias) e 9º (56 dias) percolado.

Para todos os tratamentos, ao longo das irrigações, pode-se visualizar picos de aumentos de teores de Ca e Mg, nos tratamentos com gesso (G, GH, CG e CGH) se obtiveram aos 7 e 28 dias, para os tratamentos com calcário foi somente aos 28 dias. Este comportamento significa que pode ter acontecido uma substituição de Na^+ presentes na água de irrigação com os cátions nos sítios de troca, ocorrendo em maiores teores de cátions nos lixiviados (JALALI; MERRIKHPOUR, 2008). Além disso, as diferentes solubilidades que apresentam os condicionadores e as irrigações, podem acentuar a lixiviação dos cátions em solução (NATALE *et al.*, 2012). Para o tratamento G, no 8º e 9º percolado se percebeu uma diminuição significativa quando comparado os demais tratamentos, possivelmente a sua diminuição na solução do solo.

A lixiviação do K também foi mais acentuada para os tratamentos com gesso, ocorrendo aumentos de K (mmol/coluna) quando comparados com os tratamentos onde aplicaram calcário e a testemunha, embora esses aumentos só aconteceram até os 35 dias onde os teores de K de todos os tratamentos se equilibraram, sem apresentar diferença significativa (Figura 4E e 4F). Para o tratamento G e GH quando comparados com a testemunha, essa diferença foi até os 28 dias, e para os tratamentos GC e GCH foi até os 35 dias. Os teores de K nos percolados para os tratamentos C e CH ao longo dos dias do experimento, sempre foram maiores que nas testemunhas, embora esses aumentos não foram significativamente diferentes. Os maiores teores de K nos tratamentos com gesso, segundo Pauletti *et al.* (2014) indica que a fácil formação dos pares iônicos entre os cátions Mg, Ca, K com o S-SO_4^{2-} liberado pela dissolução do gesso, levam a deficiências nutricionais na presença de lixiviação excessiva de Mg e K.

O lixiviado do Na para todos os tratamentos incluindo a testemunha incrementaram ao longo do tempo devido à aplicação da água de irrigação (Figura 4G e 4H). Embora os tratamentos que lixiviaram maior quantidade de Na ao longo das coletas do lixiviado foram nos tratamentos G e GH, possivelmente se deve que um dos benefícios do gesso é deslocar o Na nos sítios de troca, e em conjunto com a irrigação faz rapidamente o Na se movimentar no perfil do solo (MCKENNA *et al.*, 2019). A menor quantidade de lixiviação de Na nos percolados foi para a testemunha e para o tratamento Hidrogel (H), devido que não receberam aplicação de

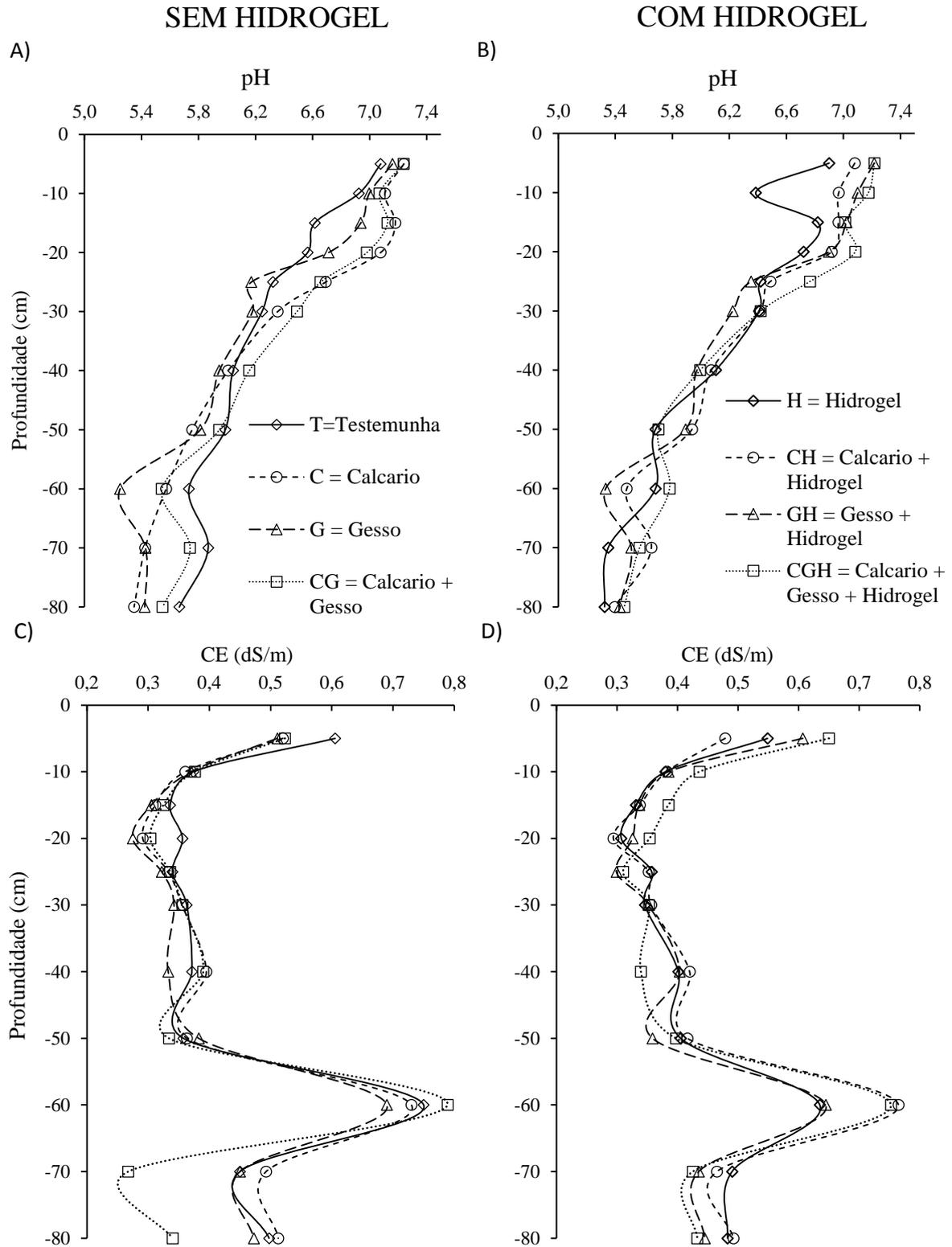
calcário e/ou gesso, uma maior quantidade de Na foi retido no perfil do solo (MCKENNA *et al.*, 2019).

4.3 Efeitos e alteração no pH, Condutividade Elétrica (CE) e na Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (CTC_e) do solo

Todos os tratamentos promoveram o aumento de pH em comparação com a testemunha nos primeiros 10 cm do perfil do solo, que não foram significativos (Figura 5A e 5B). Só para o tratamento H, houve uma diminuição de pH nos primeiros 10 cm, embora esse pH foi maior do que o solo inicial. Esse incremento do pH para todos os tratamentos, incluindo a testemunha, quando comparados com o solo inicial pode ser devido à qualidade da água de irrigação (Tabela 5). A irrigação com água salina é um fator importante para gerar mudanças de pH, CE e PST no solo, devido à presença de altos teores de cátions e ânions como Na⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻ e Cl⁻ (JALALI; RANJBAR, 2009). Em estudos realizados por Caires *et al.* (2006), evidenciaram mudanças no pH de até 3 unidades e um aumento do Porcentagem de Sódio Trocável (PST) de 30%, pelo uso de água salina e sódica.

Na camada de 10-25 cm, os maiores aumentos significativos de pH foram obtidos para os tratamentos C e CG, possivelmente pelos íons em solução formados nas reações produzidas pelo calcário dolomítico no solo (Figura 5A). A formação do álcali HCO₃⁻ na dissolução do calcário reage com os H liberados pelos Ca e Mg que entram nos sítios de troca, ocorrendo um aumento do pH (HOLLAND *et al.*, 2018). Estes resultados também foram obtidos por Li *et al.* (2019a), onde aplicações de calcário em campo produziram um aumento de pH até uma profundidade de 20 cm, ao longo de 18 anos de estudo; eles evidenciaram movimentos dos álcalis verticalmente durante o período de estudo. Caires *et al.* (2006) relataram que o movimento desses álcalis em profundidade é menor em solos com alto teor de argila, os quais exibiram uma maior resistência ao movimento dos álcalis, pelo qual é congruente com os resultados do pH em profundidade pela aplicação do calcário no Argissolo Amarelo com baixo teor de argila (Tabela 2), alvo de nosso estudo. Efeitos similares pelo uso de calcário no solo foram descritos por Fontoura *et al.* (2019) quando observaram aumentos de pH e diminuição de Al até 60 cm de profundidade e um ano após aplicação.

Figura 5- Valores médios de pH e da CE nas diferentes profundidades do perfil do solo nas colunas dos tratamentos, após aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina



Nos tratamentos G e GH também houve um aumento de pH na camada de 0-20 cm, embora esse aumento foi menor que os obtidos nos tratamentos onde foi aplicado calcário dolomítico (Figura 5A e 5B), sendo significativo só para a camada de 10-20 cm. Na camada de 20-80 cm para esses tratamentos, houve uma diminuição de pH quando comparados com a testemunha, embora essa diminuição foi significativa só para a camada de 50-70 cm (Figura 5A). De acordo com Zoca e Penn (2017) o gesso por não ser uma substância neutralizadora ou formadora de ácido, seu impacto no pH é mínimo e dependendo da mineralogia do solo, da CTC e dos ânions concorrentes pode potencialmente aumentar ou diminuir o pH ligeiramente no perfil do solo. Essa variação no efeito do gesso no pH do solo é resultado de reações conflitantes entre o gesso e as superfícies do solo: (i) Ca^{2+} substitui H e Al (que podem hidrolisar para dar H^+) na CTC do solo e (ii) SO_4^{2-} substitui OH^- pela troca de ligantes. O pH final medido dependerá, portanto, do grau das duas reações em qualquer caso particular, o que é parcialmente uma função da mineralogia do solo e da composição de cátions da CTC (ZOCA; PENN, 2017).

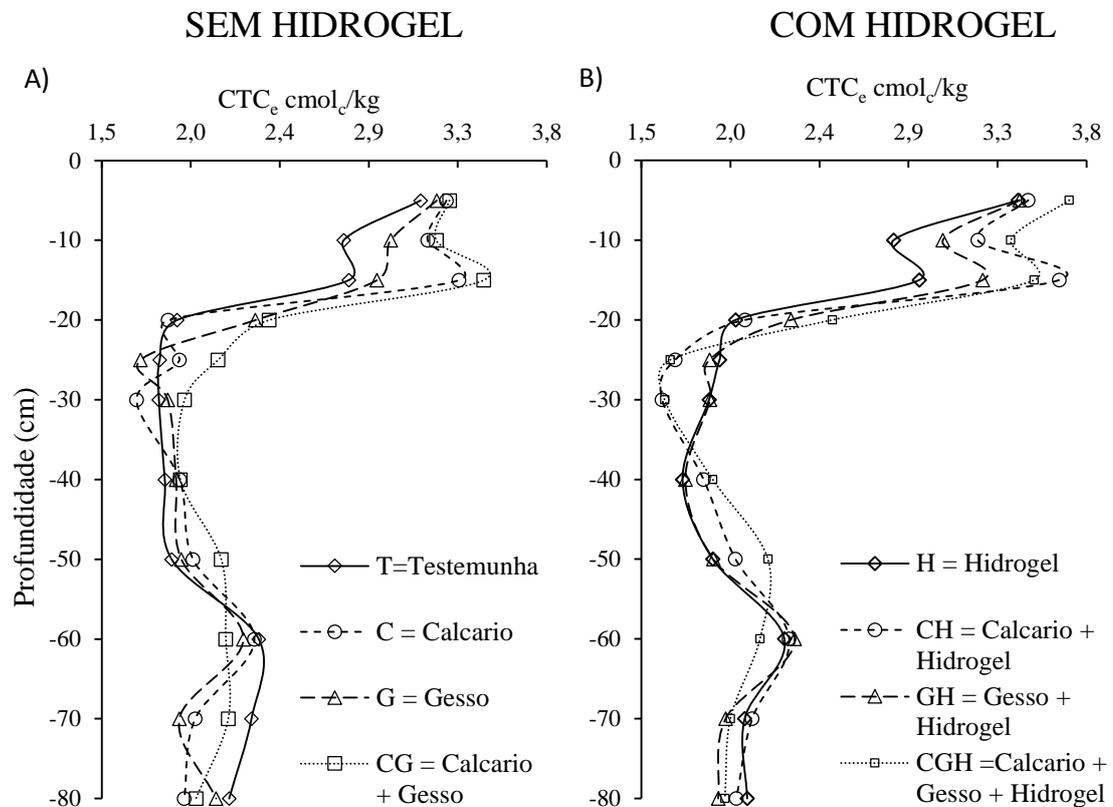
Ernani *et al.* (2001) e Viera *et al.* (2019) trabalhando com aplicações de gesso em um Cambissolo e um Latossolo, respectivamente, evidenciaram uma diminuição de pH. Da Silveira *et al.*, (2008) também mostraram diminuição do pH do solo nas camadas superficiais quando foi aplicado gesso sob irrigação com água destilada, explicando que essa diminuição ocorre devido que nos sítios de troca parte do sódio trocável, após lixiviação, são tomadas pelo hidrogênio dissociado pela água; além disso, algum bicarbonato responsável pela alcalinidade é delimitado em complexos de baixa solubilidade com o cálcio do gesso, contribuindo também para a diminuição do pH; enquanto Mckenna *et al.* (2019), aplicando gesso por incorporação em um Ultisols vermelho e marrom-avermelhado sob irrigação com água salinas sódicas mostraram um aumento do pH na superfície seguido de uma diminuição em camadas mais profundas.

A condutividade elétrica no tratamento CGH e GH (Figura 5D), atingiram os maiores valores na camada de 0-5 cm, embora não foram significativos em relação à testemunha, porém a testemunha foi significativamente maior quando comparados com os tratamentos G e CH (Figura 5C e 5D). No perfil do solo de 5 – 80 cm, pode se evidenciar que não existe diferença significativa entre os tratamentos, embora só na camada de 60 – 80 cm no tratamento CG foi menor significativamente com os demais tratamentos, e de igual maneira para o tratamento H, e GH na camada de 50-60 cm. O comportamento da CE foi similar para todos os tratamentos, diminuindo até os 20 cm de profundidade e permanecendo estável até os

80 cm, embora na camada de 50 – 60 cm houve um incremento da condutividade elétrica para todos os tratamentos para depois se equilibrar. Segundo Kim *et al.* (2017), trabalhando com gesso e matéria orgânica baseado em palha de arroz, evidenciaram uma diminuição da CE, atribuindo esse comportamento à melhoria da porosidade do solo e/ou aumento do Ca ou uma diminuição do Na, embora nesse estudo eles perceberam diferença significativa entre a testemunha e o tratamento com aplicação com gesso nos 8 anos de experimento.

Ao final do experimento, observa-se aumento da CTC_e em relação à testemunha em praticamente todos os tratamentos. Na camada de 0 – 5 cm só houve diferença significativamente maior para os tratamentos H, GH, CH e CGH quando comparados com a testemunha, estes aumentos foram de 9,32%, 9,64%, 11,25% e 18,65% (Figura 6B). Também, na camada de 0-5 cm, quando comparados os tratamentos CH, GH e CGH com os tratamentos C, G e CG, respectivamente, pode-se observar que houve um aumento significativo da CTC_e. Esses aumentos significativos possivelmente são devido à aplicação de hidrogel o qual além de reter água pode reter nutrientes na sua rede tridimensional, apresentado maior afinidades por cátions bivalentes como Ca e Mg (DAVIDSON *et al.*, 2013). Abrisham *et al.* (2018) também evidenciaram incrementos na CTC quando aplicaram hidrogel no solo, observando um incremento máximo de 31% quando adicionaram uma dose de 0,3% em peso, embora também houve aumentos significativos quando as doses foram 0,05% e 0,1%. Na camada de 5-80 cm, o tratamento H quando comparado com a testemunha, não houve diferença significativa, indicando que o aumento possivelmente esteja restrito na camada de aplicação do hidrogel (0-5cm).

Figura 6- Valores médios da CTC_e nas diferentes profundidades do perfil do solo nas colunas dos tratamentos, após aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina



4.4 Movimentos dos cátions no perfil do solo

Comparando os tratamentos CG, G e GH em relação à testemunha, houve um aumento significativo do teor de cálcio trocável na camada de 5 - 25 cm (Figura 6.C, 7A, 7D e 7C), embora para o G só foi significativo na camada de 5 - 20 cm. Nos tratamentos C e CH, houve um aumento significativo do teor de cálcio na camada de 5 - 15 cm e de 0 - 15 cm, respectivamente (Figura 7B). A maior movimentação do Ca ao longo do perfil para os tratamentos com gesso é devido à sua maior solubilidade em relação ao calcário (DA COSTA; CRUSCIOL, 2016), nesse processo de dissolução, o $S-SO_4^{2-}$ hidrolisado parcialmente é altamente móvel no solo e pode se ligar facilmente a íons acompanhantes, como Ca, Mg e K trocáveis (VIEIRA et al., 2019). Segundo Nava *et al.* (2012) a movimentação do Ca em profundidade se deve ao efeito do SO_4^{2-} em anular a carga do Ca, o que leva à formação de um par iônico entre esses dois íons, evitando assim que o Ca se ligue às cargas do solo, facilitando sua descida às camadas mais profundas.

Pelo contrário, a baixa mobilidade do calcário no solo pode ser explicada pelo fato de que o carbonato de (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e o hidroxil (OH^-) não são ânions altamente móveis e não são considerados “portadores” de cátions fortes. Essa baixa mobilidade é devida às reações que ocorrem com o H e Al adsorvido e outros componentes do solo, proporcionando alterações na carga superficial ou formando precipitados insolúveis (ZOCA; PENN, 2017). Caires *et al.* (2008) também explicam que os efeitos da calagem em profundidade somente ocorreram quando o pH na água na zona de dissolução do calcário estava entre 5,2 e 5,6, nesta situação, a formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3^-)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3^-)_2$ ocorreram nas camadas subsuperficiais.

Na camada de 5-15 cm foram obtidos aumentos significativos de Mg para todos tratamentos em relação à testemunha, menos para o H. Essa diferença pode ter sido pelo efeito da aplicação de Na mediante a água de irrigação, sendo que nos tratamentos testemunha e no H, por não apresentar fornecimento de Ca, o Na pode deslocar os cátions bivalentes como o Ca e Mg no sítios de troca dos colóides do solo, assim explicando os menores valores de Mg para esses tratamentos. Embora, para os tratamentos G e GH se teve uma redução do Mg a profundidade em comparação com a testemunha na camada de 15 - 80 cm de profundidade, sendo significativamente menor nas camadas de 50 – 80 cm (Figura 7C e 8C). Como já explicado este comportamento pode ser atribuído à associação do Mg com o ânion S-SO_4^{2-} , formando íons com carga neutra que apresentam maior mobilidade e são mais facilmente lixiviados no perfil do solo (DA COSTA; CRUSCIOL, 2016). Pauletti *et al.* (2014) trabalhando com diferentes doses de aplicações de gesso no solo também observaram uma redução do Mg nos primeiros 40 cm em um prazo de um ano no perfil do solo e uma maior lixiviação de Mg e K. Da Costa e Crusciol (2016) também evidenciaram a redução do Mg nas camadas 0,10 – 0,40 m quando aplicaram gesso superficial.

Figura 7- Teores de cátions trocáveis nas diferentes profundidades do perfil do solo nas colunas dos tratamentos sem hidrogel, após aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina

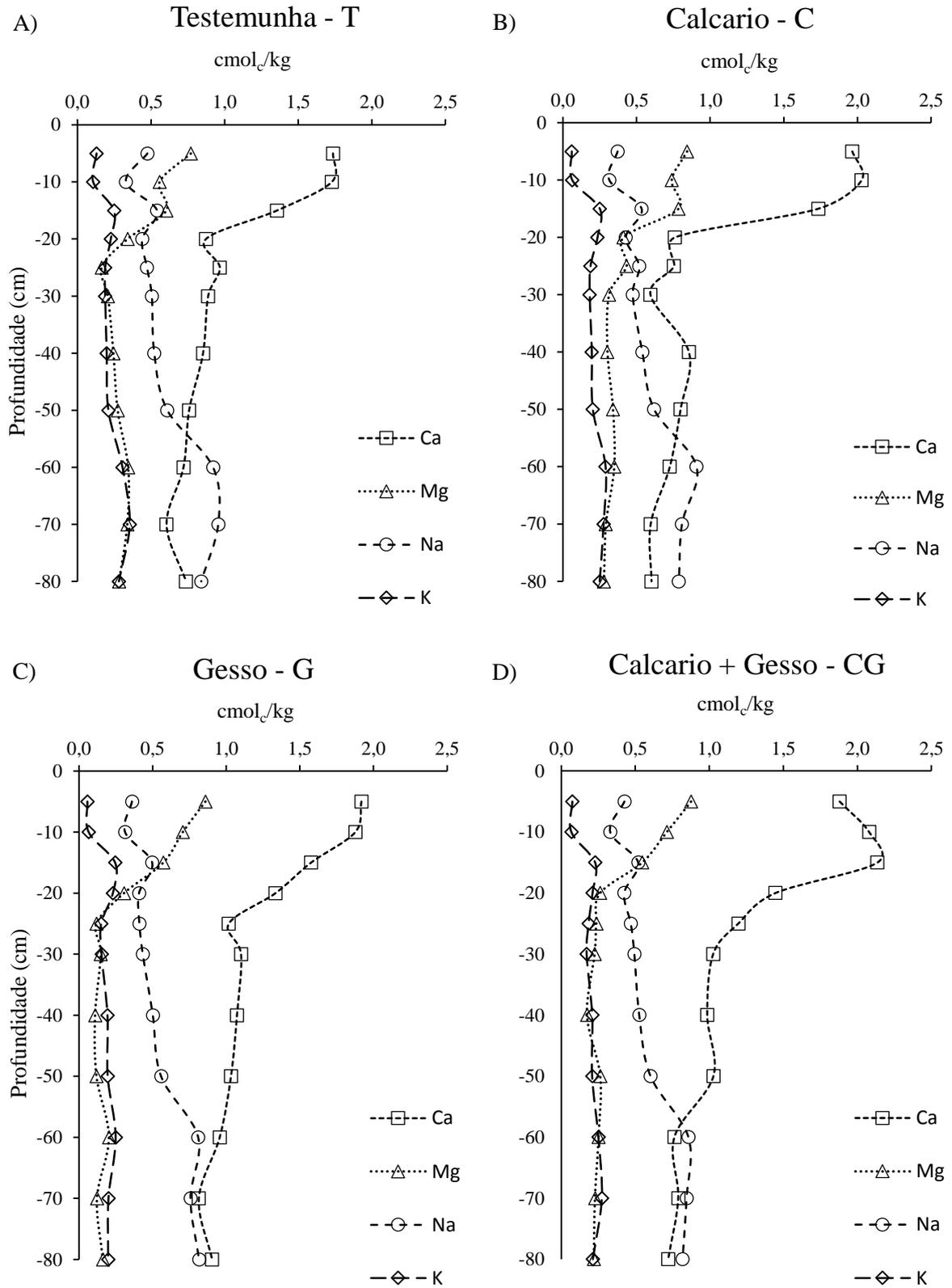
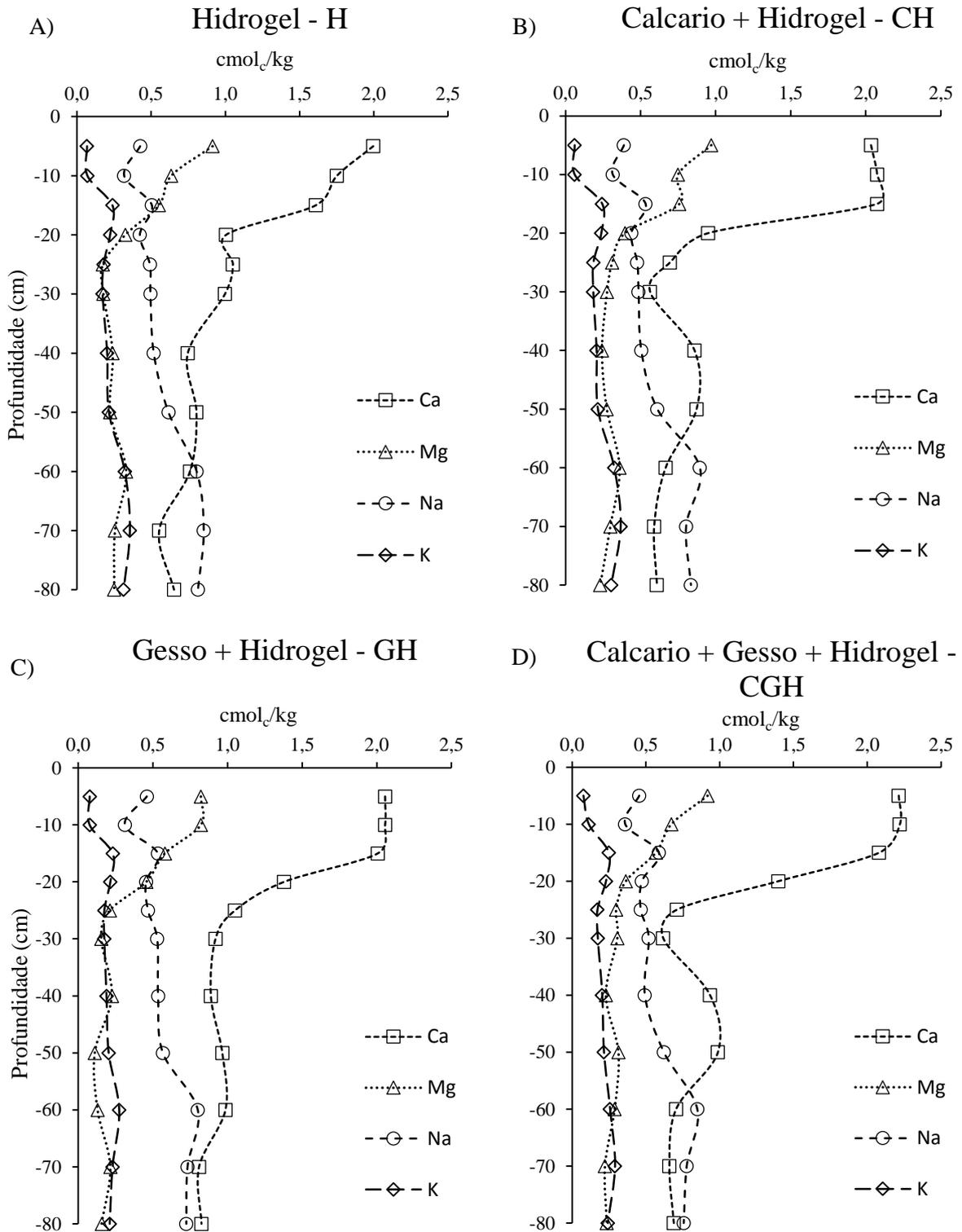


Figura 8- Teores de cátions trocáveis nas diferentes profundidades do perfil do solo nas colunas dos tratamentos com hidrogel, após aplicação da lâmina total de 630 mm de água salina



Para os tratamentos C e CH perceberam aumentos de Mg trocável na camada de 0 - 25 cm quando comparados com a testemunha (Figura 7.B e 8.B), para o tratamento C não foi significativo na camada de 0 – 5 cm e de 15 – 20 cm, e para o CH não foi significativo na camada de 15 – 20 cm. Ao aplicar calcário dolomítico por incorporação até nos primeiros 15 cm, além do Ca também é adicionado o Mg, embora a movimentação do Mg para esses tratamentos foi para as camadas mais profundas do que o Ca. As concentrações do cálcio foram significativamente maiores até os 15 cm e para o Mg foi até os 25 cm. Essa diferença da mobilização do Mg também foi observada por Vieira et al. (2019) quando realizaram aplicações de calcário dolomítico superficial no solo, após um ano do experimento o Mg se mobilizou nas camadas mais profundas do que Ca. A maior movimentação descendente do Mg em relação ao Ca é explicada por Rajj (2001), segundo ele, os cátions trocáveis são retidos no solo na seguinte ordem: $Ca > Mg > K$ (série liotrópica), ou seja, conforme o número de valência e o tamanho dos raios hidratados, as bases são adsorvidas com maior ou menor energia.

Para os tratamentos CH, GH e CGH quando comparados com os tratamentos C, G e CG, respectivamente, pode-se observar que a concentração de Ca sempre foi maior na camada de 0-5 cm para os tratamentos onde foram aplicados hidrogel (Figura 7 e 8). Guilherme *et al.* (2015) evidenciaram que a massa de hidrogéis em base de poliacrilamida aumentou 70 vezes em relação ao peso seco após inchar com água da torneira, além disso, se evidenciou a penetração de contraíons, como Na, Mg e Ca, presentes na água da torneira na rede polimérica, devido ao efeito dos grupos aniônicos (-COOH, -OH, CONH₂, -NH₂, SO₃H). Zheng *et al.* (2007) explica que as moléculas de água e solutos são absorvidas devido a interações com grupos hidrofílicos do hidrogel como carboxilatos e aminas, formando hidrogênio e ligações covalentes, além de outras interações físicas. No caso do Mg também se observou um aumento da concentração para os tratamentos com hidrogel, embora para o tratamento CGH se obteve uma concentração menor não significativa quando comparado com CG. Estes resultados do aumento do Ca e Mg nas camadas onde foi aplicado hidrogel, também foram obtidos por Sita et al. (2005) quando foi aplicado hidrogel em um Latossolo, nesse estudo se obteve um aumento principalmente de Ca e Mg no solo devido ao efeito de retenção do hidrogel, baseado de copolímeros de acrilamida.

Na camada de 0-5 cm, houve uma diferença significativa maior dos teores do potássio entre a testemunha com os demais tratamentos (Figura 7 e 8). Os teores do potássio nas camadas abaixo dos 5 cm não foram observados diferença significativa, os resultados

permaneceram praticamente os mesmos ou até menores quando comparados com a testemunha. Embora quando comparado todos os tratamentos incluindo a testemunha com o solo inicial foi observado uma diminuição do potássio na camada de 0 – 5 cm. O potássio é um cátion de fácil lixiviação, devido que ele é retido com menor forças pelos coloides do solo (RAIJ, 2001), sendo assim, quando aplicou-se os condicionadores calcário dolomítico e/ou gesso, promoveu o acúmulo de Ca na solução do solo na camada superficial, deslocando tanto o K como o Mg para as camadas mais profundas, devido a menor capacidade de retenção desses em relação ao Ca (PIOVESAN *et al.*, 2009), isso poderia explicar por que a concentração do K na testemunha foi maior na camada de 0-5 cm.

Na camada de 0-5 cm, a concentração de Na trocável na testemunha foi maior que nos demais tratamentos (Figura 7 e 8), mas só foi significativamente maior para os tratamentos G e C. Embora nas camadas mais profundas pode se evidenciar que para o tratamento G sempre manteve concentrações menores que a testemunha, sendo significativos nas camadas de 25-30 cm, 50 – 70 cm, e no tratamento GH só na camada de 50 – 70 cm, confirmando a movimentação do par iônico formado entre o SO_4^- e o Ca, isso é congruente com o aumento do teor de Ca nessas camadas para esses tratamentos. Para os tratamentos CG, CGH, C, CH e H, só se observou uma diminuição significativa na camada de 60-70 cm quando comparada com testemunha.

4.5 Balanço dos condicionadores aplicados

Na Tabela 6, se apresenta o balanço de lixiviação dos cátions Ca, Mg, K e Na expressados em mmol/coluna e levando em consideração a contribuição fornecido a traves dos condicionadores e da água de irrigação. Na Figura 9, se amostra os resultados em porcentagem do balanço dos cátions Ca, Mg e Na que foram lixiviados e retidos na coluna. No tratamento G (Figura 9. A), o 85.2% do total do Ca, aplicado mediante o gesso e na água de irrigação, foi perdido por lixiviação, sendo o maior quando comparados com os tratamentos que foram fornecidos com calcário e/ou gesso. As menores perdas por lixiviação foram para o tratamento C e CH, que lixiviaram 53,6% e 52,7% do cálcio total aplicado, respectivamente. O tratamento CG e CGH, onde foi aplicado calcário dolomítico e gesso, o 38.1% e 42.4% do total de cálcio aplicado foi retido na coluna. Quando comparados a quantidade retida entre o tratamento G e CG, se verificou que o tratamento CG é 56,6% vezes maior que quando se aplicou só gesso. O tratamento H e a testemunha retiveram só 7,4% e 1,56 % do cálcio aplicado, respectivamente, sendo o único aporte do cálcio a traves da água de irrigação.

As menores perdas por lixiviação de Mg foram nos tratamentos C e CH com 40,8% e 38,8% do Mg lixiviados na coluna, respectivamente (Figura 9.B), os quais receberam Mg através da água de irrigação e do calcário dolomítico, o magnésio retido possivelmente ficou nas camadas mais superficiais como se pode observar no Figura 7.C e Figura 8.B. Quando comparados os tratamentos G com a testemunha, os quais só receberam Mg através da água de irrigação, pode-se observar que a testemunha reteve uma maior porcentagem do magnésio total aplicado, isto é congruente com o explicado nos pontos anteriores e os resultados apresentados anteriormente, onde se apresentaram menores concentrações de Mg nas camadas mais sub superficiais (Figura 7.A e 7.C), explicando que a aplicação do gesso pode ocasionar perdas por lixiviação de Ca, Mg e K, devido a interação do íon SO_4^- com esses cátions (PAULETTI *et al.*, 2014).

Os resultados do balance do Na foram muito similares entre os tratamentos, sendo que o único fornecimento de Na^+ foi através da água de irrigação para todos os tratamentos. A menor retenção de Na no solo foi para o tratamento G com 43,62 %, isso é devido que a maior dissolução do gesso gera incrementos do Ca^+ em solução, deslocando o Na trocável dos sítios de troca e criando também uma competição pelos sítios de troca com o Na na solução do solo, quando o Na em solução é muito móvel no perfil do solo, pelo qual é de fácil lixiviação (CHOUDHARY *et al.*, 2004). Os resultados concordam com o Na trocável para esses tratamentos, onde o Na foi movimentado para as camadas mais profundas (Figura 7 e Figura 6). Como era esperado o tratamento H e a testemunha, ao não ter sido aplicado condicionador algum, obteve a maior porcentagem de retenção de Na no perfil do solo, se acumulando nas camadas mais profundas, onde se obteve uma diferença maior de concentração de Na^+ trocável quando comparados com os demais tratamentos (Figura 7.A e Figura 8.B).

Tabela 6- Balanço de cátions no sistema coluna, levando em conta a água de irrigação, condicionadores aplicados e percolados

Contribuição	Tratamentos							
	Teste.	Calcário (C)	Gesso (G)	CG	Hidrogel (H)	CH	GH	CGH
Ca (mmol _c /coluna)								
Calcário dolom	0.00 ⁽¹⁾	+ 8.11	+ 15.07	+ 4.05	0.00	+ 8.11	+ 15.07	+ 4.05
Gesso	0.00	0.00	0.00	+ 7.57	0.00	0.00	0.00	+ 7.57
Água de irrigação	+8.66	+8.66	+8.66	+8.66	+8.66	+8.66	+8.66	+8.66
Lix./coluna ⁽²⁾	-8.39d	-8.99d	-20.21a	-12.55c	-8.01d	-8.83d	-17.30b	-11.68c
Retido/coluna	+0.27	+7.77	+3.51	+7.73	+0.64	+7.93	+6.42	+8.60
Mg (mmol _c /coluna)								
Calcário dolom	0.00 ⁽¹⁾	+ 7.51	0.00	+ 3.76	0.00	+ 7.51	0.00	+ 3.76
Gesso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Água de irrigação	+22.06	+22.06	+22.06	+22.06	+22.06	+22.06	+22.06	+22.06
Lix./coluna ⁽²⁾	-11.39d	-12.06cd	- 15.93a	-14.85ab	-10.51d	-11.47d	-13.4bc	-13.8bc
Retido/coluna	+10.67	+17.51	+6.13	+10.97	+11.55	+18.10	+8.65	+12.02
K (mmol _c /coluna)								
Calcário dolom	0.00 ⁽¹⁾	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gesso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Água de irrigação	+ 2.15	+ 2.15	+ 2.15	+ 2.15	+ 2.15	+ 2.15	+ 2.15	+ 2.15
Lix./coluna ⁽²⁾	- 4.51d	- 5.31cd	- 6.93ab	- 6.56abc	- 5.06cd	- 5.68bcd	- 7.50a	- 7.21a
Retido/coluna	- 2.36	- 3.16	- 4.78	- 4.41	- 2.91	- 3.53	- 5.35	- 5.07
Na (mmol _c /coluna)								
Calcário dolom	0.00 ⁽¹⁾	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gesso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Água de irrigação	+103.67	+103.67	+103.67	+103.67	+103.67	+103.67	+103.67	+103.67
Lix./coluna ⁽²⁾	- 53.43a	- 55.52a	- 58.45a	- 56.03a	- 53.90a	- 57.82a	- 56.68a	- 56.05a
Retido/coluna	+ 50.23	+ 48.15	+ 45.21	+ 47.63	+ 49.77	+ 45.84	+ 46.98	+ 47.62

(1) Símbolo positivo (+) antecedido dos números, significa ganho e símbolo negativo (-), perda.

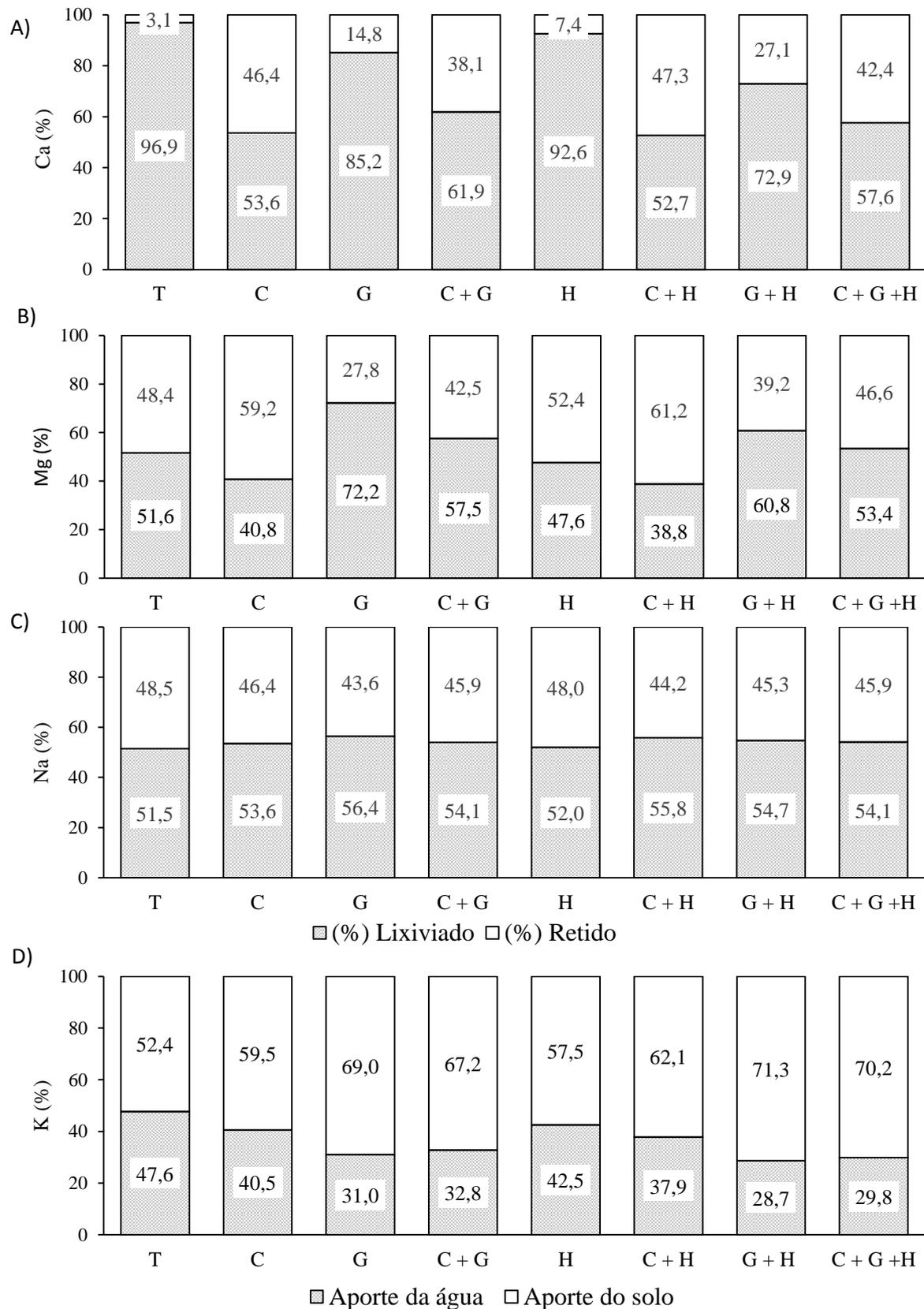
(2) Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

A porcentagem de retenção para o Ca e Mg nos tratamentos GH, CH e CGH, quando comparados com os tratamentos G, C e CG, respectivamente, foram maiores. Isto é congruente com o descrito por muitos autores que indica o hidrogel pode ser considerado como um sistema controlador de liberação de nutrientes (DAVIDSON *et al.*, 2013, PAULINO *et al.*, 2010, NI *et al.*, 2011). O aumento de retenção do Ca^{2+} (mmol_e/l) para o tratamento GH foi de 45 % maior quando comparado como o tratamento G, para o tratamento CH este aumento foi de 2,01% em comparação do tratamento C e finalmente, para o tratamento CGH esse aumento foi 10,11 % quando comparado com CG (Tabela 6.A). De acordo com os resultados obtidos, o Ca foi retido nas camadas mais superficiais (Figura 7 e Figura 8).

O K trocável, a diferença dos cátions Ca, Mg e Na que foram retidos na coluna, foi perdido do perfil do solo (Figura 9.D). Os tratamentos que apresentaram maiores perdas de K no perfil do solo foi para o tratamento G e GH, esses valores foram de 69 % e 71,3 %, respectivamente. Esse resultado pode ser entendido por dois comportamentos já explicados: (i) A presença dos íons Ca em solução e o SO_4^{2-} , pela aplicação do gesso, gera o aumento de lixiviação de cátions como Ca, Mg e K (DA COSTA e CRUSCIOL, 2016) e (ii) de acordo com a série liotrópica, o K é o cátion com menos energia retido nos sítios de troca (RAIJ, 2001). Pelo exposto a lixiviação K ocorre com maior intensidade, devido a sua fácil translocação para a solução do solo.

As perdas por lixiviação de K do perfil do solo para os tratamentos C e CH foi de 59,5 % e 62,1 %, respectivamente, estes valores foram menores quando comparados com os tratamentos onde foram aplicados gesso (Figura 9.D), devido que a dissolução do calcário é menor do que o gesso e se movimenta menos a profundidade no perfil do solo (NATALE *et al.*, 2012), pelo qual a troca entre o Ca e Mg pelo K trocável está restrito à movimentação desses íons. A testemunha resultou em menos perdas de K do perfil do solo (52,39%), sendo essa porcentagem menor que os demais tratamentos, poderia se entender que a ausência de condicionadores aplicados diminui a translocação do K nos sítios de troca para a solução do solo, diminuindo as perdas por lixiviação.

Figura 9- Ganhos e perdas relativas por coluna das quantidades de Ca, Mg e Na adicionados nos condicionadores e na água (630 mm) nos tratamentos



5 CONCLUSÕES

O gesso aplicado individualmente ou combinado com calcário e hidrogel ocasionou maiores perdas de Ca, Mg e K nos lixiviados.

O hidrogel aumentou a retenção de Ca e Mg nas colunas em todos os tratamentos, apresentando maiores valores nas camadas em que foi aplicado calcário.

Uma lâmina de irrigação de 630 mm com água salina ($CE= 2,96$ dS/m e $RAS =12$) eleva o pH do solo, principalmente das camadas superficiais, sendo maiores os aumentos nos tratamentos com calcário.

A alta concentrações de sais da água de irrigação ($CE= 2,96$ dS/m e $RAS =12$) aumenta os teores de Na trocável no perfil do solo, principalmente quando não recebem aplicação de fontes de Ca.

A aplicação somente de gesso pode retardar os efeitos deletérios da irrigação com água salina em um Argissolo Amarelo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F. Relações entre acidez e propriedades químicas de solos Brasileiros. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 2, p. 337–343, 1 abr. 2003.
- ABRISHAM, E. S. JAFARI, M. TAVILI, A.. Effects of a super absorbent polymer on soil properties and plant growth for use in land reclamation. **Arid Land Research and Management**, v. 32, n. 4, p. 407–420, 2 out. 2018.
- AHMAD, A.; KHAN, S. Water and Energy Scarcity for Agriculture: Is Irrigation Modernization the Answer? **Irrigation and Drainage**, v. 66, n. 1, p. 34–44, 1 fev. 2017.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ANIKWE, M. A. N.; EZE, J. C.; IBUDIALO, A. N. Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu Southeastern Nigeria. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 1–3, 1 maio 2016.
- BAJPAI, A. K.; SHUKLA, S; BHANU, S.. **Responsive polymers in controlled drug delivery** *Progress in Polymer Science (Oxford)*. Pergamon, 1 nov. 2008.
- BEZBORODOV, G. A.; SHADMANOV, R.; MIRHASHIMOD R. T. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 138, n. 1–2, p. 95–102, 15 jun. 2010.
- CAIRES, E. F. CORREA, J. CHURKA, S. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 5, p. 502–509, 2006.
- CAIRES, E. F. PEREIRA FILHO, P. ZARDO FILHO, R. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, v. 24, n. 3, p. 302–309, set. 2008.
- CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos polímeros : um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. [s.l.]. Artliber, 2002.
- CHOUDHARY, O. P. JOSAN, A. BAJWA, M. Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions. **Field Crops Research**, v. 87, n. 2–3, p. 103–116, 10 maio 2004.
- CLARK, G. DODGSHUN, N. SALE, P. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 11, p. 2806–2817, nov. 2007.
- COUTINHO G. F. **Movimentação de cálcio de diferentes fontes adicionadas em colunas de dois Latossolos**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Viçosa. 2006.

- CRUSCIOL, C. A. C. ARTIGIANI, A. ARF, O. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, v. 137, p. 87–99, 1 fev. 2016.
- CURTIN, D.; TROLOVE, S. Predicting pH buffering capacity of New Zealand soils from organic matter content and mineral characteristics. **Soil Research**, v. 51, n. 6, p. 494–502, 2013.
- DA COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean-oat-sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 119–132, 1 mar. 2016.
- DA SILVEIRA, K. R.; RIBEIRO, M.; DE OLIVEIRA, L. Gypsum-saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 1, p. 69–76, 2008.
- DAVIDSON, D. W.; VERMA, M. S.; GU, F. X. Controlled root targeted delivery of fertilizer using an ionically crosslinked carboxymethyl cellulose hydrogel matrix. **SpringerPlus**, v. 2, n. 1, p. 1–9, 2013.
- DE ASSIS JÚNIOR, R. N.; DA SILVA, E. F. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre os atributos físicos de um neossolo flúvico do município de quixeré, CE - Brasil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1778–1786, nov. 2012.
- DE SOUZA, F. R.; JUNIOR E.; FIETZ, C. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 1717–1732, set. 2012.
- DE VRIES, W.; MCLAUGHLIN, M. J. Modeling the cadmium balance in Australian agricultural systems in view of potential impacts on food and water quality. **Science of the Total Environment**, v. 461–462, p. 240–257, 1 set. 2013.
- DÍAZ, F. J.; GRATTAN S.; REYES, J. Using saline soil and marginal quality water to produce alfalfa in arid climates. **Agricultural Water Management**, v. 199, p. 11–21, 1 fev. 2018.
- EKEBAFE, L. O.; OGBEIFUN, D. E.; OKIEIMEN, F. E. **Polymer Applications in Agriculture Nigerian Society for Experimental Biology**. Disponível em: <http://www.niseb.org/bkr> Also available online at <http://www.bioline.org.br/bk>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. rev. e ampl. **Brasília: Embrapa**, 2017. 573 p.
- ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 4, p. 825–831, 1 out. 2001.
- FAGERIA, N. K. Optimum soil acidity indices for dry bean production on an oxisol in no-tillage system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, n. 5–6, p. 845–857, mar. 2008.

FAGERIA, N. K.; KNUPP, A. M. Influence of Lime and Gypsum on Growth and Yield of Upland Rice and Changes in Soil Chemical Properties. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 8, p. 1157–1170, 3 jul. 2014.

FENN, M.E., HUNTINGTON, T.G., MCLAUGHLIN, S.B., EAGAR, C., GOMEZ, A., COOK, R.B. Status of soil acidification in North America. **Journal of Forest Science**. Vol. 52 (Special Issue), 3–13. 2006.

FREIRE, B.G.S.M., PESSOA, G.M.L., GHEYI, R. H. Métodos de análises químicas para solos afetados por sais. In: GHEYI H. R., DIAS N. D. S., LACERDA C. F., FILHO E. G. de (Ed). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal. p. 142-148, 2016.

GALEŞ, D. C.; TRINCA, L.; CAZACU, A. Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. **Geoderma**, v. 267, p. 102–111, 2016.

GUILHERME, M. R.; AOUADA, F.; FAJARDO A. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review *European Polymer Journal*. **Elsevier Ltd**, 22 abr. 2015.

HOLLAND, J. E.; BENNET, A.; NEWTON, A. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review *Science of the Total Environment*. **Elsevier B.V.**, 1 jan. 2018.

IGLESIAS, A.; GARROTE, L. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe *Agricultural Water Management*. **Elsevier**, 1 jun. 2015.
IPECE, INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Perfil Básico Municipal. Disponível em:
https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2018/09/Palhano_2007.pdf. Acesso em: 2 fev. 2020.

JALALI, M.; MERRIKHPOUR, H. Effects of poor quality irrigation waters on the nutrient leaching and groundwater quality from sandy soil. **Environmental Geology**, v. 53, n. 6, p. 1289–1298, jan. 2008.

JALALI, M.; RANJBAR, F. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. **Geoderma**, v. 153, n. 1–2, p. 194–204, 15 out. 2009.

KAMPRATH E.J., SMYTH T.J. Liming. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. North Carolina State University, Raleigh, NC, USA, Pages 350-358, 2005.

KIM, Y. J.; CHOO, B. K.; CHO, J. Y. Effect of gypsum and rice straw compost application on improvements of soil quality during desalination of reclaimed coastal tideland soils: Ten years of long-term experiments. **Catena**, v. 156, p. 131–138, 1 set. 2017.

LEMIRE, E.; TAILLON, K. M.; HENDERSHOT, W. H. Using pH-dependent CEC to determine lime requirement. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 86, n. 1, p. 133–139, 2006.

LI, G. D.; CONYERS, M.; HELYAR, K. Long-term surface application of lime ameliorates subsurface soil acidity in the mixed farming zone of south-eastern Australia. **Geoderma**, v. 338, p. 236–246, mar. 2019a.

LI, Y.; HAYNES, R.; CHANDRAWANA, I. Growth of Rhodes grass and leaching of ions from seawater neutralized bauxite residues after amendment with gypsum and organic wastes. **Journal of Environmental Management**, v. 231, p. 596–604, 1 fev. 2019b.

MCKENNA, B. A.; KOPITKE, P.; MACFARLANE, D. Changes in soil chemistry after the application of gypsum and sulfur and irrigation with coal seam water. **Geoderma**, v. 337, p. 782–791, mar. 2019.

MINHAS, P. S.; QADIR, M.; YADAV, R. K. Groundwater irrigation induced soil sodification and response options Agricultural Water Management. **Elsevier B.V.**, 20 abr. 2019.

MONTESANO, F. F.; PARENTE, A.; SANTAMARIA, P. Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 451–458, 1 jan. 2015.

MUHAMMAD, N.; ZVOBGO, G.; ZHANG, G. PING. A review: The beneficial effects and possible mechanisms of aluminum on plant growth in acidic soil. **Journal of Integrative Agriculture**. Chinese Academy of Agricultural Sciences, 1 jul. 2019.

NATALE, W. et al. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1294–1306, dez. 2012a.

NAVA, G.; ERNANI, P.; DE SÀ, A. Composição do solo e estado nutricional da macieira alterados pela adição de gesso. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, n. 1, p. 215–222, fev. 2012.

NI, B.; LIU, M.; LU, S. Environmentally friendly slow-release nitrogen fertilizer. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 18, p. 10169–10175, 28 set.

OLAD, A.; ZEBHI, H.; SALARI, D. Slow-release NPK fertilizer encapsulated by carboxymethyl cellulose-based nanocomposite with the function of water retention in soil. **Materials Science and Engineering**, v. 90, p. 333–340, 1 set. 2018.

ORIKIRIZA, L. J.; AGABA, H.; EILU, G. Effects of Hydrogels on Tree Seedling Performance in Temperate Soils before and after Water Stress. **Journal of Environmental Protection**, v. 04, n. 07, p. 713–721, 2013.

PATHAK, P.; CHOURASIA, A.; WANI, S. Multiple Impact of Integrated Watershed Management in Low Rainfall Semi-Arid Region: A Case Study from Eastern Rajasthan, India. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 05, n. 01, p. 27–36, 2013.

PAULETTI, V.; DE PIERRI, L.; RANZAN, T. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 38, n. 2, p. 495–505, 2014.

- PAULINO, A. T.; GUILHERME, M.; MATOSSO, L. Smart hydrogels based on modified gum arabic as a potential device for magnetic biomaterial. **Macromolecular Chemistry and Physics**, v. 211, n. 11, p. 1196–1205, 1 jun. 2010.
- PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 757–766, jul. 2009.
- RAIJ, B. V.; COSCIONE, A.R.; ANDRADE, J.C.; ABREU, M.F.; CANTARELLA, H. Determinação de alumínio, cálcio, magnésio, sódio e potássio trocáveis em extrato de cloreto de amônio. In: RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). *Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. v.1, p.201-212
- SATRIANI, A.; CATALANO, M.; SCALCIONE, E. The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: A case-study in Southern Italy. **Agricultural Water Management**, v. 195, p. 114–119, 1 jan. 2018.
- SEKHON, K. S.; KAUR, A.; THAMAN, S. Irrigation water quality and mulching effects on tuber yield and soil properties in potato (*Solanum tuberosum* L.) under semi-arid conditions of Indian Punjab. **Field Crops Research**, v. 247, p. 107544, 15 fev. 2020.
- SEPASKHAH, A. R.; SHAHABIZAD, V. Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil erosion, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator. **Biosystems Engineering**, v. 106, n. 4, p. 513–520, 1 ago. 2010.
- SHAKOOR, A. Hydrogeologic assessment of spatio-temporal variation in groundwater quality and its impact on agricultural productivity department of irrigation and drainage. University of Agriculture, Faisalabad, 2015.
- SHARMA, K.; KUMAR, V.; KAITH, B. Synthesis, characterization and water retention study of biodegradable Gum ghatti-poly(acrylic acid-aniline) hydrogels. **Polymer Degradation and Stability**, v. 111, p. 20–31, 2015.
- SHARMA, D. P.; RAO, K. V. Estratégia para uso a longo prazo da água de drenagem salina para irrigação em regiões semi-áridas. *Pesquisa de solo e lavoura*, Amsterdã, v.48, n.4, p.287-295, 1998.
- SHI, R.; LI, J.; NI, N. Understanding the biochar's role in ameliorating soil acidity. **Journal of Integrative Agriculture Chinese Academy of Agricultural Sciences**, 1 jul. 2019.
- SINGH, A. Environmental problems of salinization and poor drainage in irrigated areas: Management through the mathematical models. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 572–579, 1 jan. 2019.
- SITA, R. C. M.; REISSMANN, C.; MARQUES, R. Effect of polymers associated with N and K fertilizer sources on *Dendrothema grandiflorum* growth and K, Ca and Mg relations. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 3, p. 335–342, maio 2005.

TIECHER, T. et al. Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: A systematic review. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 42, 2018.

VIERA F. S.; DE CASTRO, O.; TIECHER, T. Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 193, p. 27–41, out. 2019.

WANG, A. P.; LI, F. H.; YANG, S. M. Effect of Polyacrylamide Application on Runoff, Erosion, and Soil Nutrient Loss Under Simulated Rainfall. **Pedosphere**, v. 21, n. 5, p. 628–638, 1 out. 2011.

YANG, J.; ZHAO, J.; ZHU, G. Soil salinization in the oasis areas of downstream inland rivers —Case Study: Minqin oasis. **Quaternary International**, 9 jan. 2020.

YUAN, C.; FENG, S.; HUON, Z. Effects of deficit irrigation with saline water on soil water-salt distribution and water use efficiency of maize for seed production in arid Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 212, p. 424–432, 1 fev. 2019.

ZHENG, Y; LI, P; ZHANG, J.. Study on superabsorbent composite XVI. Synthesis, characterization and swelling behaviors of poly(sodium acrylate)/vermiculite superabsorbent composites. **European Polymer Journal**, v. 43, n. 5, p. 1691–1698, maio 2007.

ZOCA, S. M.; PENN, C. An Important Tool With No Instruction Manual. In: **Advances in Agronomy**. Academic Press Inc., 2017. v. 144p. 1–44.

APÊNDICE A- MEDIAS DO VOLUME DA ÁGUA PERCOLADA NAS COLUNAS NOS TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA

Coleta	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
... N° (tempo) ...	.....Litros (l).....							
1° (7 dias)	0.605 Aa **	0.620 Aa	0.615 Aa	0.655 Aa	0.600 Aa	0.650 Aa	0.650 Aa	0.625 Aa
2° (14 dias)	0.545 Aab	0.590 Aab	0.580 Aa	0.575 Aab	0.560 Aab	0.590 Aab	0.590 Aab	0.565 Aab
3° (21 dias)	0.515 Aab	0.555 Aab	0.555 Aa	0.545 Ab	0.560 Aab	0.530 Abc	0.530 Abc	0.550 Aab
4° (28 dias)	0.515 Aab	0.555 Aab	0.545 Aa	0.550 Ab	0.560 Aab	0.495 Ac	0.495 Ac	0.540 Aab
5° (35 dias)	0.505 Ab	0.545 Aab	0.565 Aa	0.550 Ab	0.490 Ab	0.510 Abc	0.510 Abc	0.545 Aab
6° (42 dias)	0.550 Aab	0.510 Ab	0.550 Aa	0.535 Ab	0.535 Aab	0.555 Abc	0.555 Abc	0.510 Ab
7° (49 dias)	0.555 Aab	0.570 Aab	0.575 Aa	0.550 Ab	0.555 Aab	0.525 Abc	0.525 Abc	0.550 Aab
8° (56 dias)	0.560 Aab	0.565 Aab	0.560 Aa	0.550 Ab	0.550 Aab	0.550 Aab	0.550 Aab	0.565 Aab

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada coleta e letras minúsculas comparam as coletas dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey

APÊNDICE B – MEDIAS DOS VALORES DE pH NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA

Coleta	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
.... N° (tempo)...								
1° (7 dias)	6.280 ABCb **	6.390 ABab	5.82 Cbc	6.115 BCab	6.63 Aa	6.635 Aabc	6.31 ABCabc	6.20 ABCbcd
2° (14 dias)	6.120 Abc	6.160 Aab	5.93 Abc	5.985 Aabc	6.39 Aab	6.415 Abcd	6.11 Abcd	6.280 Abc
3° (21 dias)	5.505 Cd	6.075 ABb	6.00 ABCbc	5.755 BCc	5.74 BCc	6.280 Acd	5.91 ABCcd	6.190 ABbcd
4° (28 dias)	5.485 Cd	5.990 ABCb	5.82 ABCbc	5.575 BCc	5.77 ABCc	6.060 ABd	5.99 ABCcd	6.150 Acd
5° (35 dias)	5.650 Bcd	6.035 ABb	5.98 ABbc	5.765 Bbc	6.02 ABbc	6.300 Acd	6.00 ABcd	6.325 Abc
6° (42 dias)	6.080 Cbc	6.660 ABa	6.25 BCab	6.260 CBab	6.74 ABa	6.800 Aabc	6.66 ABa	6.860 Aa
7° (49 dias)	6.145 Cbc	6.205 BCab	6.53 ABCa	6.220 BCab	6.83 Aa	6.790 Aabc	6.56 ABCab	6.700 ABab
8° (56 dias)	6.355 ABCb	6.210 Aab	6.56 ABCa	6.460 ABCa	6.76 ABa	6.905 Aab	6.43 ABCabc	6.855 ABa

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada coleta e letras minúsculas comparam as coletas dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey

APÊNDICE C – MEDIAS DOS VALORES DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA

Coleta	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
.... Nº (tempo)...	.....dS/m.....							
1° (7 dias)	0.210 Ce **	0.276 Cf	0.863 Be	0.928 ABe	1.095 Ac	0.260 Ce	1.110 Ae	0.800 Bf
2° (14 dias)	0.975 BCd	1.075 Be	1.485 Ad	0.728 CDe	1.505 Ad	1.485 Ad	1,305 Af	0.879 BCef
3° (21 dias)	1.675 BCc	1.550 BCd	1.970 Ac	1.820 ABd	1.500 Cc	1.720 ABCd	1.750 ABCd	1.720 ABCd
4° (28 dias)	2.235 ABb	2.200 Bc	2.495 Ab	2.410 ABc	2.280 ABc	2.290 ABc	2.340 ABc	2.250 ABc
5° (35 dias)	2.725 Aa	2.615 Ab	2.750 Aab	2.700 Ab	2.630 Ab	2.610 Ab	2.710 Ab	2.670 Ab
6° (42 dias)	2.910 Aa	2.800 Aab	2.880 Aa	2.840 Aab	2.850 Aab	2.750 Aab	2.920 Aab	2.840 Aab
7° (49 dias)	2.981 Aa	2.880 Aab	2.869 Aa	2.880 Aab	2.802 Ab	2.847 Aab	2.958 Aab	2.991 Aa
8° (56 dias)	2.964 Aa	3.047 Aa	2.958 Aa	3.091 Aa	3.114 Aa	2.936 Aa	3.091 Aa	3.036 Aa

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada coleta e letras minúsculas comparam as coletas dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey

APÊNDICE D – MEDIAS DOS TEORES DE CÁLCIO NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DO TEMPO DE COLETA

Coleta	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
.... Nº (tempo)...	.....mmol€/coluna.....							
1° (7 dias)	0.118 Dc **	0.154 Dc	4.972 Aa	1.477 Cbc	0.114 De	0.228 Dc	4.361 Ba	1.220 Cbc
2° (14 dias)	0.516 CDbc	0.406 Dc	2.029 Acd	1.232 Bc	0.446 Dde	0.621 CDbc	1.045 BCcd	0.756 BCDcd
3° (21 dias)	1.400 Ba	1.467 Bab	2.261 Abcd	1.950 ABab	1.314 Bab	1.787 ABa	1.743 ABb	1.661 Bab
4° (28 dias)	1.618 Ba	1.899 Ba	2.755 Ab	2.081 Ba	1.525 Ba	1.968 Ba	2.064 Bb	2.023 Ba
5° (35 dias)	1.507 BCa	1.645 BCab	2.437 Abc	1.773 Babc	1.447 BCabc	1.155 BCb	1.836 Bb	1.482 BCab
6° (42 dias)	1.222 Cab	1.260 ABCb	1.758 ABd	1.275 ABCc	1.148 BCbc	1.033 Cb	1.840 Ab	1.298 ABCbc
7° (49 dias)	0.986 BCab	1.061 BCb	1.775 Ad	1.298 ABCc	0.982 BCbcd	0.830 Cb	1.585 ABbc	1.403 ABCb
8° (56 dias)	1.053 Cab	1.070 Cb	1.767 ABd	1.298 BCc	0.959 Ccd	1.157 Cb	2.142 Ab	1.437 BCab

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada coleta e letras minúsculas comparam as coletas dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey

APÊNDICE E - MEDIAS DOS TEORES DE MAGNÉSIO NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA

Coleta	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
... Nº (tempo)...	.....mmol/coluna.....							
1° (7 dias)	0.219 D **	0.269 D	2.532 A	1.967 B	0.164 D	0.252 D	2.142 AB	1.308 C
2° (14 dias)	0.917 CD	1.026 CD	2.519 A	2.068 A	0.622 D	1.224 BC	1.524 B	1.373 BC
3° (21 dias)	1.915 B	1.984 B	2.643 A	2.490 A	1.776 B	2.017 B	1.731 B	1.981 B
4° (28 dias)	2.098 B	2.607 AB	2.711 A	2.648 A	1.565 C	2.209 BC	1.938 C	2.337 ABC
5° (35 dias)	1.801 A	1.820 A	1.658 A	1.486 A	1.565 A	1.732 A	1.645 A	1.806 A
6° (42 dias)	1.537 A	1.362 A	1.244 A	1.296 A	1.343 A	1.241 A	1.530 A	1.434 A
7° (49 dias)	1.444 A	1.432 AB	0.991 B	1.203 AB	1.198 AB	1.286 AB	1.261 AB	1.485 A
8° (56 dias)	1.458 AB	1.510 A	1.070 B	1.408 AB	1.165 AB	1.425 AB	1.455 AB	1.611 A

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada coleta e letras minúsculas comparam as coletas dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey

APÊNDICE F – MEDIAS DOS TEORES DE POTÁSSIO NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA

Coleta	Tratamentos*							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
..Nº (tempo)..	.....mmol/coluna.....							
1° (7 dias)	0.200 Ccd **	0.276 Ccd	1.122 Aab	0.783 ABabc	0.188 Ccd	0.240 Ccd	0.855 ABbc	0.724 Bb
2° (14 dias)	0.304 Cbcd	0.430 BCbc	1.017 Aab	0.454 BCcd	0.231 Ccd	0.441 BCc	0.896 Abc	0.737 ABb
3° (21 dias)	0.468 Cabc	0.598 BCabc	1.179 Aa	0.921 ABab	0.417 Cbc	0.574 BCbc	1.138 Aab	0.952 Aab
4° (28 dias)	0.578 Dab	0.854 BCda	0.994 ABCab	1.056 ABa	0.646 CDab	0.841 BCDab	1.228 Aa	1.171 ABa
5° (35 dias)	0.646 Ba	0.891 ABa	0.803 ABbc	1.058 Aa	0.788 ABab	0.977 ABa	1.046 ABab	1.075 Aab
6° (42 dias)	0.788 Aa	0.790 Aab	0.625 Ac	0.866 Aab	0.905 Aa	0.880 Aab	0.887 Abc	0.878 Aab
7° (49 dias)	0.762 ABa	0.747 ABab	0.560 Bc	0.719 ABabc	0.910 Aa	0.822 ABa	0.614 ABc	0.791 ABb
8° (56 dias)	0.722 ABa	0.660 ABab	0.440 Bcd	0.591 ABbc	0.881 Aa	0.843 Aab	0.617 ABc	0.720 ABb

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada coleta e letras minúsculas comparam as coletas dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

APÊNDICE G – MEDIAS DOS TEORES DE SÓDIO NA ÁGUA PERCOLADA POR TRATAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COLETA

Coleta	Tratamentos*							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
..Nº(tempo)..	.....mmol _c /coluna.....							
1° (7 dias)	0.275 Ae **	0.431 Ae	0.412 Af	0.451 Ae	0.251 Ad	0.272 Ae	0.260 Af	0.367 Af
2° (14 dias)	1.084 Ae	1.848 Ae	1.563 Af	0.743 Ae	0.546 Ad	1.632 Ae	1.332 Af	1.701 Af
3° (21 dias)	6.631 Ae	6.201 Ae	7.224 Af	5.918 Ae	5.067 Ad	6.024 Ae	5.713 Aef	6.153 Af
4° (28 dias)	12.392 Ad	12.825 Ad	12.848 Ae	12.655 Ad	11.564 Ac	12.892 Ad	12.138 Ae	12.829 Ae
5° (35 dias)	13.073 Ac	16.339 Ac	16.334 Ad	16.595 Ac	16.070 Ab	16.951 Ac	16.444 Ad	16.649 Ad
6° (42 dias)	20.972 Bc	20.400 Abc	20.450 Acd	20.517 Abc	21.151 ABb	20.209 Ab	20.345 ABc	20.226 Acd
7° (49 dias)	23.709 Ab	20.874 Aab	20.969 Abc	21.892 Aab	22.607 Aa	21.835 Ab	22.304 Ab	20.725 Abc
8° (56 dias)	24.353 Aa	21.815 Aa	24.270 Aab	22.352 Aa	23.591 Aa	23.078 Aab	23.272 Ab	22.828 Aab

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada coleta e letras minúsculas comparam as coletas dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

APÊNDICE H – MEDIAS DOS VALORES DE pH DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA

Prof. .....cm.....	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
0-5	7.08 Aba **	7.24 Aa	7.16 ABa	7.24 Aa	6.90 Ba	7.08 ABa	7.22 Aa	7.22 Aa
5-10	6.93 Aab	7.11 Aa	7.00 Aab	7.07 Aa	6.39 Bc	6.97 Aa	7.10 Aa	7.18 Aa
10-15	6.62 Cbc	7.18 Aa	6.94 ABab	7.13 Aa	6.82 BCa	6.97 ABa	7.02 ABa	7.01 ABab
15-20	6.57 Ccd	7.08 Aa	6.71 BCb	6.98 ABa	6.72 BCab	6.92 ABa	6.90 ABa	7.08 Aab
20-25	6.32 DEcde	6.69 ABb	6.17 Ec	6.66 ABCb	6.42 BCDEbc	6.49 ABCDb	6.35 CDEb	6.77 Ab
25-30	6.25 ABdef	6.36 ABc	6.18 Bc	6.49 Ab	6.41 ABbc	6.41 ABb	6.22 ABbc	6.42 ABc
30-40	6.04 Aefg	6.01 Ad	5.95 Acd	6.16 Ac	6.11 Ac	6.07 Ac	5.97 Acd	6.00 Ad
40-50	5.99 Afgh	5.76 ABde	5.81 ABd	5.95 ABcd	5.68 ABd	5.94 ABcd	5.89 ABd	5.70 ABde
50-60	5.73 Agh	5.57 ABef	5.25 Ce	5.54 ABCe	5.68 Ad	5.48 ABCe	5.33 BCe	5.78 Ade
60-70	5.87 Agh	5.43 Cf	5.43 Ce	5.74 ABde	5.35 Ce	5.65 ABCde	5.51 BCe	5.57 ABCe
70-80	5.67 Ah	5.35 Bf	5.42 ABe	5.55 ABe	5.33 Be	5.40 ABe	5.43 ABe	5.46 ABe

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey

**APÊNDICE I – MEDIAS DOS VALORES DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE
APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA**

Prof.	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
.....cm....	.....dS/m.....							
0-5	0.56 ABb **	0.47 BC	0.46 Cb	0.47 BCb	0.50 BCa	0.43 Cb	0.56 ABa	0.60 Ab
5-10	0.32 Ade	0.31 A	0.32 Ade	0.33 Ac	0.33 Abde	0.33 Acde	0.34 Abcd	0.39 Ac
10-15	0.29 Ae	0.26 A	0.26 Aef	0.28 Acd	0.28 Ade	0.29 Ade	0.29 Acd	0.34 Acde
15-20	0.31 Ade	0.24 A	0.23 Af	0.25 Acd	0.26 Ae	0.24 Ae	0.28 Acd	0.30 Acde
20-25	0.29 Ae	0.28 A	0.27 Aef	0.29 Acd	0.31 Ade	0.30 Ade	0.25 Ad	0.26 Ae
25-30	0.31 Ade	0.31 A	0.29 Aef	0.31 Acd	0.30 Ade	0.31 Ade	0.30 Abcd	0.30 Acde
30-40	0.32 Ade	0.35 A	0.28 Aef	0.34 Ac	0.35 Acde	0.37 Abcd	0.35 Abc	0.29 Ade
40-50	0.31 Ade	0.31 A	0.33 Acde	0.28 Acd	0.36 Acd	0.37 Abcd	0.31 Abcd	0.35 Acde
50-60	0.70 ABa	0.68 ABC	0.64 BCDA	0.74 Aa	0.59 Da	0.72 ABa	0.60 CDA	0.70 ABa
60-70	0.40 Acd	0.44 A	0.40 Abcd	0.22 Bd	0.44 Abc	0.41 Abc	0.39 Ab	0.38 Acd
70-80	0.45 Ac	0.46 A	0.42 Abc	0.29 Bcd	0.43 Abc	0.44 Ab	0.40 Ab	0.38 Acd

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

**APENDICE J – MEDIAS DOS TEORES DO CÁLCIO TROCÁVEL DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS
PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA**

Prof.	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
.....cm.....	.....cmol/kg.....							
0-5	1.74 BCa **	1.96 BCab	1.92 BCa	1.91 BCa	2.00 Ba	2.04 ABa	2.06 ABa	2.21 Aa
5-10	1.73 Ca	2.03 ABa	1.88 BCa	2.08 ABa	1.75 Cb	2.08 ABa	2.06 ABa	2.22 Aa
10-15	1.36 Cb	1.74 Bb	1.58 Bb	2.13 Aa	1.61 Bb	2.08 Aa	2.01 Aa	2.08 Aa
15-20	0.87 BCcd	0.76 Cc	1.33 Ab	1.45 Ab	1.00 Bc	0.95 BCb	1.38 Ab	1.40 Ab
20-25	0.97 BCc	0.75 CDc	1.02 ABcd	1.20 Acb	1.05 ABc	0.70 Dc	1.05 ABc	0.71 Dc
25-30	0.89 Acd	0.71 Bcd	1.10 Ac	1.03 Ac	1.00 Ac	0.65 Bcd	0.92 Acd	0.62 Bcd
30-40	0.85 Acd	0.85 Ac	1.07 Acd	0.99 Ac	0.75Ad	0.86 Abc	0.89 Acd	0.93 Ac
40-50	0.76 Acde	0.80 Ac	1.03 Acd	1.03 Ac	0.80 Acd	0.87 Abc	0.97 Ac	0.99 Ac
50-60	0.72 Cde	0.73 Cc	0.95 ABcd	0.76 BCd	0.76 BCd	0.67 Ccd	0.99 Ac	0.70 Ccd
60-70	0.61 ABCDef	0.60 BCDcd	0.81 Ad	0.79 ABCd	0.55 Dde	0.59 CDcd	0.81 ABd	0.66 ABCDcd
70-80	0.74 ABCcde	0.60 Ccd	0.90 Acd	0.72 ABCde	0.65 BCd	0.61 Ccd	0.83 ABcd	0.69 ABCcd

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

APÊNDICE K - MEDIAS DOS TEORES DE MAGNÉSIO TROCÁVEL DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA

Prof.	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
.....cm.....	.....cmol/kg.....							
0-5	0.77 Da **	0.82 CDa	0.86 BCDA	0.98 Aa	0.91 ABCa	0.97 ABa	0.82 CDa	0.95 ABa
5-10	0.56 Db	0.74 ABa	0.70 ABb	0.71 ABb	0.64 BCDB	0.75 Ab	0.58 CDb	0.67 ABCb
10-15	0.60 Bb	0.79 Aa	0.57 Bc	0.55 BCb	0.55 BCb	0.76 Ab	0.46 Cc	0.57 Bb
15-20	0.34 ABc	0.41 Abc	0.31 ABCd	0.26 BCc	0.33 ABc	0.40 Ac	0.21 Cd	0.36 ABc
20-25	0.16 BCde	0.43 Ab	0.12 Cef	0.24 ABcd	0.17 CBde	0.31 Acd	0.15 BCde	0.30 Acd
25-30	0.21 ABCde	0.31 Abcd	0.15 Cef	0.23 ABCcd	0.18 BCde	0.28 ABcd	0.23 ABCd	0.31 Acd
30-40	0.25 Ade	0.30 Abcd	0.10 Aef	0.18 Ade	0.24 Acd	0.24 Ad	0.11 Ade	0.23 Ade
40-50	0.27 Acde	0.34 Abcd	0.12 Aef	0.26 Ac	0.22 Acde	0.28 Acd	0.13 Ade	0.31 Acd
50-60	0.35 Ac	0.35 Abcd	0.20 Bde	0.25 ABc	0.33 Ac	0.36 Ac	0.21 Bd	0.29 ABcd
60-70	0.34 Ac	0.29 ABd	0.12 Def	0.23 ABCDcd	0.26 ABCcd	0.30 ABcd	0.16 CDde	0.22 BCDde
70-80	0.28 Acd	0.28 Ad	0.16 BCE	0.22 ABCcd	0.25 ABcd	0.23 ABCd	0.13 Cde	0.24 ABCde

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

**APÊNDICE L - MEDIAS DOS TEORES DO POTÁSSIO TROCÁVEL DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS
PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA**

Prof.	Tratamentos*							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
.....cm.....	.....cmol/kg.....							
0-5	0.13 Af **	0.08 Be	0.08 Be	0.06 Bf	0.07 Bf	0.06 Be	0.08 Be	0.06 Be
5-10	0.11 ABf	0.07 Ace	0.11 ACe	0.06 ABCf	0.07 ABCf	0.06 ACe	0.08 ABCe	0.07 Ae
10-15	0.25 Acd	0.23 Aab	0.25 Aa	0.25 Abc	0.24 Ac	0.24 Ac	0.23 Ab	0.25 Ab
15-20	0.23 Ade	0.21 Abc	0.23 Aab	0.24 Abcde	0.22 Ac	0.24 Ac	0.21 Abcd	0.23 Abc
20-25	0.19 Ae	0.19 Ad	0.17 Ad	0.19 Ade	0.18 Ade	0.19 Ad	0.17 Ad	0.15 Ad
25-30	0.19 Ae	0.17 Ad	0.17 Acd	0.18 Ae	0.17 Ae	0.18 Ad	0.17 Ad	0.15 Ad
30-40	0.20 Ae	0.21 Acd	0.2 Abc	0.20 Acde	0.2 Acde	0.21 Acd	0.19 Acd	0.19 Acd
40-50	0.21 Ade	0.21 Acd	0.22 Ab	0.20 Acde	0.21 Acd	0.22 Acd	0.20 Abcd	0.20 Abc
50-60	0.31 ABb	0.29 ABCa	0.26 Da	0.25 CDab	0.32 Aab	0.32 Ab	0.27 BCDA	0.25 Cab
60-70	0.36 Aa	0.28 Bab	0.20 Cb	0.27 Ba	0.36 Aa	0.37 Aa	0.23 Cbc	0.29 Ba
70-80	0.28 ABbc	0.21 BCab	0.24 Eb	0.25 CDEbcd	0.31 Ab	0.3 Ab	0.21 DEbcd	0.2 CDbc

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

**APÊNDICE M - MEDIAS DOS TEORES DE SÓDIO TROCÁVEL DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS
PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA**

Prof.	Tratamentos*							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
.....cm.....	.....cmol/kg.....							
0-5	0.48 Ade **	0.37 BCfg	0.36 Cde	0.43 ABCde	0.43 ABCc	0.39 ABCde	0.46 ABc	0.45 ABde
5-10	0.33 Af	0.32 Ag	0.31 Ae	0.33 Ae	0.32 Ad	0.31 Ae	0.31 Ae	0.36 Ae
10-15	0.54 Acd	0.53 Acd	0.50 Abc	0.52 Abcd	0.50 Ac	0.53 Abc	0.53 Abc	0.59 Abc
15-20	0.44 Ae	0.43 Aef	0.41 Acde	0.43 Acde	0.42 Ac	0.44 Acd	0.45 Ac	0.47 Ad
20-25	0.47 ABde	0.52 Ade	0.41 Bcde	0.47 ABcd	0.49 ABc	0.48 ABcd	0.47 ABc	0.47 ABd
25-30	0.51 ABde	0.47 ABde	0.43 Bcd	0.49 ABcd	0.50 ABc	0.49 ABc	0.53 Abc	0.52 ABcd
30-40	0.52 Acde	0.54 Acd	0.50 Abc	0.53 Abc	0.52 Abc	0.50 Ac	0.53 Abc	0.49 Acd
40-50	0.61 Ac	0.62 Ac	0.56 Ab	0.60 Ab	0.62 Ab	0.61 Ab	0.57 Ab	0.62 Ab
50-60	0.92 Aab	0.91 Aa	0.81 BCa	0.86 ABCa	0.81 BCa	0.90 ABa	0.80 Ca	0.85 ABCa
60-70	0.96 Aa	0.81 BCdb	0.76 CDa	0.85 BCa	0.85 Ba	0.80 BCda	0.73 Da	0.78 BCda
70-80	0.84 Ab	0.79 ABb	0.82 Aa	0.82 Aa	0.82 Aa	0.84 Aa	0.72 Ba	0.76 ABa

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

**APÊNDICE N - MEDIAS DOS VALORES DA CTC EFETIVA DO SOLO PARA CADA TRATAMENTO E PROFUNDIDADE APÓS
PASSAGENS DA LÂMINA DE 630 mm DE ÁGUA SALINA**

Prof.	Tratamentos *							
	T	C	G	CG	H	CH	GH	CGH
.....cm.....	.....cmol _c /kg.....							
0-5	3.11 Da **	3.242 CDa	3.19 BCDA	3.26 BCDA	3.40 BCa	3.46 ABab	3.41 ABCa	3.66 Aa
5-10	2.72 Db	3.15 ABa	2.96 BCDA	3.19 ABa	2.78 CDb	3.20 ABb	3.02 BCb	3.37 Ab
10-15	2.75 Cb	3.31 Ba	2.89 Ca	3.43 ABa	2.90 Cb	3.61 Aa	3.22 Bab	3.49 ABab
15-20	1.88 Cde	1.84 Ccd	2.27 Ccd	2.35 Ab	1.98 BCcd	2.02 BCc	2.26 ABc	2.47 Ac
20-25	1.79 Be	1.89 ABc	1.70 Bd	2.09 Abc	1.90 ABd	1.67 Bd	1.85 Bde	1.65 Bef
25-30	1.89 ABCe	1.68 BCde	1.83 ABcd	1.92 Ac	1.84 ABde	1.61 Cde	1.85 ABde	1.62 BCf
30-40	1.82 Ae	1.89 Ac	1.88 Acd	1.90 Ac	1.71 Ae	1.81 Ad	1.72 Ade	1.86 Ade
40-50	1.85 Ade	1.96 Abc	1.90 Acd	2.10 Abc	1.86 Ade	1.98 Ac	1.86 Ade	2.14 Ad
50-60	2.29 Ac	2.27 Ab	2.22 Ab	2.13 Abc	2.22 Ac	2.25 Ac	2.27 Ac	2.10 Ad
60-70	2.26 Ac	1.97 ABbc	1.89 Bcd	2.14 ABbc	2.02 ABcd	2.06 ABc	1.93 Bd	1.95 Bde
70-80	2.14 Acd	1.92 Ac	2.08 Abc	1.98 Ac	2.03 Acd	1.98 Ac	1.89 Ad	1.92 Ade

(*) Tratamentos: T = Testemunha, C = Calcário dolomítico, G = Gesso, CG = Calcário dolomítico + Gesso, H = Hidrogel, CH = Calcário dolomítico + Hidrogel, GH = Gesso + Hidrogel, CGH = Calcário dolomítico + Gesso + Hidrogel

(**) Letras maiúsculas comparam tratamentos dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada tratamento. Tratamento com letras iguais não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

**ANEXO A - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VOLUME DE ÁGUA PERCOLADA APÓS
APLICAÇÃO DAS LÂMINAS DE 78.75 mm NAS COLUNAS DE SOLO**

Fonte de Variação	GL	Pr > F
Volume percolado (litros)		
TRAT	7	0.0097*
Avaliações (AV)	7	< 0.001*
TRAT*AV	49	0.3428 ^{NS}
RESIDUO	65	
CV		5.25
(*) Significativo a 5% pelo teste de Tukey e NS não significativo		
Media	Limite inferior	Limite superior
561.29	553.38	5.69.19

**ANEXO B - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO pH E CE NO LIXIVIADO APÓS
APLICAÇÃO DAS LÂMINAS DE 78.75 mm NAS COLUNAS DE SOLO.**

Fonte de Variação	GL	Pr > F
	pH	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	7	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	49	< 0,011 ^(*)
RESIDUO	65	
CV		2,657970
	CE	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	7	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	49	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	65	
CV		4,183105

(*) Significativo a 5% pelo teste de Tukey e NS não significativo

**ANEXO C - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO,
POTÁSSIO, SÓDIO E CTC EFETIVA APÓS APLICAÇÃO DAS LÂMINAS DE 78.75 mm
NAS COLUNAS DE SOLO**

Fonte de Variação	GL	Pr > F
Calcio		
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	7	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	49	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	65	
CV		13,17653
Magnésio		
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	7	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	49	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	65	
CV		9,919545
Potássio		
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	7	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	49	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	65	
CV		15,92178
Sódio		
TRAT	7	0,3401 ^{NS}
Avaliações (AV)	7	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	49	0,3074 ^{NS}
RESIDUO	65	
CV		10.80607

(*) Significativo a 5% pelo teste de Tukey e NS não significativo

**ANEXO D - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO pH, CE E CTC EFETIVA DO SOLO APÓS
INCUBAÇÃO**

Fonte de Variação	GL	Pr > F
	pH	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	10	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	70	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	264	
CV		2,236487
	CE	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	10	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	70	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	264	
CV		11,15384
	CTC efetiva	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	10	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	70	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	264	
CV		6,038718

(*) Significativo a 5% pelo teste de Tukey e NS não significativo

**ANEXO E - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO,
POTÁSSIO E SÓDIO TROCÁVEIS DO SOLO APÓS INCUBAÇÃO**

Fonte de Variação	GL	Pr > F
	Calcio	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	10	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	70	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	264	
CV		9,460889
	Magnésio	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	10	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	70	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	264	
CV		15,74976
	Potássio	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	10	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	70	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	264	
CV		9,007564
	Sódio	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
Avaliações (AV)	10	< 0,001 ^(*)
TRAT*AV	70	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	264	
CV		7,511347

(*) Significativo a 5% pelo teste de Tukey e NS não significativo

**ANEXO F - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TOTAL DE LIXIVIADOS DE CÁLCIO,
MAGNÉSIO, POTÁSSIO E SÓDIO SOLÚVEIS APÓS INCUBAÇÃO**

Fonte de Variação	GL	Pr > F
	Calcio	
TRAT	7	< 0,001 ^(*)
RESIDUO	8	
CV		3,83
	Magnésio	
TRAT	7	<0,001 ^(*)
RESIDUO	8	
CV		3,61
	Potássio	
TRAT	7	0,0003 ^(*)
RESIDUO	8	
CV		6,23
	Sódio	
TRAT	7	0,0588 ^{NS}
RESIDUO	8	
CV		2,42

(*) Significativo a 5% pelo teste de Tukey e NS não significativo