

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE SOLO SOLÓDICO COM A  
APLICAÇÃO DE EXTRATO DE SEMENTES DE *MORINGA*  
*OLEÍFERA* LAM.**

Adelane Gonçalves Souza



Adelane Gonçalves Souza

**AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE SOLO SOLÓDICO COM A APLICAÇÃO DE  
EXTRATO DE SEMENTES DE *MORINGA OLEÍFERA* LAM.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. Reginaldo Arruda Sampaio

Montes Claros

Instituto de Ciências Agrárias da UFMG

2022

Adelane Gonçalves Souza. **AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE SOLO SOLÓDICO COM A APLICAÇÃO DE EXTRATO DE SEMENTES DE *MORINGA OLEÍFERA* LAM.**

Aprovado pela banca examinadora constituída por:

Dr. Márcio Neves Rodrigues

Prof<sup>a</sup>. Júlia Ferreira da Silva



---

Prof. Dr. Regynaldo Arruda Sampaio

Montes Claros, 12 de dezembro de 2022.

Dedico à minha mãe, a mulher mais guerreira que já conheci e que me inspirou a lutar pelos meus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por sempre está comigo e me manter firme na caminhada, permitindo que esta vitória na minha vida fosse alcançada.

À minha mãe Ildete Gonçalves dos Santos que me incentivou a todo momento a lutar pelos meus sonhos e me deu todo o suporte possível para concluir este objetivo da minha vida.

Aos meus irmãos e ao meu padrasto Sebastião Ribeiro da Silva que também não mediram esforços para me ajudar neste percurso.

À todos do Laboratório de Análises de Resíduos para Aproveitamento Agrícola, local onde permaneci por quase 3 anos na área de pesquisa, obtive muitos conhecimentos e tive a colaboração de vários integrantes neste trabalho.

Ao professor orientador Reginaldo Arruda Sampaio, que me deu toda a orientação necessária para a realização deste trabalho, atendendo-me em todos os momentos que precisei.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC, agenciado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo auxílio fornecido para a realização do trabalho.

Ao meu namorado Silas de Souza Santos que esteve ao meu lado e me apoiou durante todo o percurso do curso.

Aos meus amigos e colegas da universidade que estiveram comigo nos momentos difíceis do curso, mas também nos momentos de alegria.

À Fundação Mendes Pimentel – FUMP, por todo auxílio fornecido, garantindo a minha inclusão e permanência no curso.

À todos os professores do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional.

*“Confia teus negócios ao Senhor e teus planos  
terão bom êxito”*

*(Provérbios 16:3)*

## RESUMO

O alto teor de sódio no solo causa a dispersão das argilas, reduz a permeabilidade do solo e promove o desbalanço nutricional, prejudicando o desenvolvimento das plantas. Neste sentido, a utilização de uma substância floculante pode minimizar o efeito negativo do sódio sobre o solo, pela sua substituição e deslocamento do complexo de troca catiônica. Nas sementes de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) há proteínas, que são carregadas positivamente, desta forma, as cargas presentes nas proteínas podem interagir com as cargas negativas da micela do solo e causar a substituição do sódio no complexo de troca. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações que ocorrem nos atributos de um solo solódico após a aplicação de extrato de sementes de moringa. O experimento foi realizado no Laboratório de Análises de Resíduos para Aproveitamento Agrícola, no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, em Montes Claros – MG. Utilizou-se a metodologia de Argila Dispersa em Água adaptada de IAC (2009) para realização do teste de interação do extrato de moringa com o solo. O extrato fluido foi obtido por meio da trituração das sementes sem casca com água destilada (relação m:v de 1:6) em um liquidificador. O delineamento utilizado foi o em blocos casualizado, com 3 repetições dos tratamentos. Os tratamentos corresponderam a diferentes relações de massa de sementes de moringa sem casca (g) / massa de argila (kg), conforme a seguir: T1) 0; T2) 45,45; T3) 90,91; T4) 136,36 T5) 181,82; T6) 227,27; T7) 272,73; T8) 318,18; T9) 363,64; T10) 409,09 e T11) 454,55, totalizando 11 tratamentos. Os resultados evidenciaram que, com o aumento da concentração do extrato de semente de moringa no solo, houve redução da PST do solo proporcionando maior grau de floculação de argilas (GF), e aumento dos nutrientes fósforo e potássio. Portanto o uso de extrato de moringa foi eficiente para a floculação da argila do solo solódico utilizado, melhorando as suas propriedades físicas e químicas para o cultivo de plantas.

**Palavras-Chave:** Sodificação. Floculação de argila. *Moringa oleífera*.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Sementes de moringa e objetos utilizados no preparo do extrato fluido .....	17
Figura 2- Garrafas pet com amostras de solo em solução contendo seu respectivo tratamento .....	17
Figura 3 -Drenagem da água após 4 horas das amostras em repouso .....	18
Figura 4 - Recipientes com as amostras de solos secas.....	18
Figura 5 - Equação de regressão relacionando em a) Grau de flocculação, b) Porcentagem de sódio trocável, c) pH em água d) Sódio e) Cálcio e f) Hidrogênio + Alumínio (Acidez Potencial), com as concentrações de extrato de semente de moringa aplicados a argila. *** significativo até 0,1% probabilidade pelo teste T-Student.....	21
Figura 6 - Equação de regressão relacionando em a) Condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo, b) Potássio, c) Magnésio d) Capacidade de troca catiônica e) Fósforo Mehlich, f) Fósforo remanescente, g) Matéria orgânica e h) Carbono orgânico com as concentrações de extrato de semente de moringa aplicados a argila. ***, **, *, significativo até 0,1%, 1%, 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste T-Student .....	22

## **LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS**

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

CDD – Camada Dupla Difusa

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

GF – Grau de Floculação

MO – Matéria Orgânica

PROFERT MG – Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo do estado de Minas Gerais

PST – Porcentagem de sódio trocável

## Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Solos Sódicos.....	13
2.2 Dispersão e Flocculação das Argilas.....	14
2.3 Recuperação de Solos Sódicos .....	14
2.4 <i>Moringa oleífera</i> Lamarck .....	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
4.1 Caracterização do Solo e das sementes de Moringa.....	20
4.2 Propriedades do solo após a aplicação dos tratamentos .....	21
5 CONCLUSÃO.....	25
6 REFERÊNCIAS .....	26

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a projeção de crescimento populacional no Brasil, até o ano de 2047, a população brasileira alcançará 233,2 milhões de pessoas, um percentual de crescimento de 11%, em relação ao ano de 2018 (IBGE, 2018). Em consequência deste fato, tem-se também um aumento da demanda por alimentos, sendo necessário investir em técnicas que elevam a produtividade, bem como na recuperação de áreas degradadas.

Em regiões áridas e semiáridas, ações antrópicas como a utilização de água com alta concentração de sais para irrigação e o uso demorado de fertilizantes nas lavouras associado ou não, com problemas naturais de salinização, provoca a elevação da concentração de sais no solo, isso ocorre porque essas regiões apresentam baixo índice de precipitação em relação a evapotranspiração, ou seja, quando ocorre o processo de evaporação os sais ascendem-se para a superfície do solo e como há pouca precipitação não há drenagem destes elementos (PEREIRA, 1983).

Os sais limitam a produção agrícola, visto que podem dificultar a absorção de água pelas plantas, bem como causar toxicidade e redução no crescimento da cultura. Em solos com alto teor de sódio têm-se a dispersão do solo e a redução da permeabilidade, sendo que tais efeitos prejudicam o desenvolvimento das plantas devido à falta de água e aeração, isso ocorre em consequência da interação dos cátions com as partículas de argila, nas quais predominam cargas negativas (BUCKMAN, 1976; PEREIRA, 1983; Dias *et al.*, 2016). Neste sentido, a utilização de uma substância floculante minimiza o efeito negativo do sódio sobre o solo e, ou, provoca o seu deslocamento do complexo de troca catiônica.

A *Moringa oleifera* é uma espécie arbórea de origem africana, com características de resistência ao estresse hídrico e adaptável a vários tipos de solos, sendo, portanto, favorável o seu cultivo em regiões áridas e semiáridas (Freire & Miranda, 2012). O extrato das sementes de moringa já se mostrou eficiente em vários trabalhos que envolve coagulação/floculação, como por exemplo, na coagulação de esgoto sanitário (LO MONACO *et al.*, 2013), como floculante de caldo de cana (COSTA *et al.*, 2016), remoção de turbidez da água para abastecimento (MUNIZ *et al.*, 2015) e entre outros. No entanto, não há relatos da eficiência do extrato das sementes da moringa como floculante de solos solódicos, no qual a porcentagem de sódio trocável (PST) está entre 6 e < 15.

O efeito floculante das sementes de moringa ocorre pela presença de proteínas do grupo 2S – Albumina, que são carregadas positivamente e, quando em contato com substâncias

suspensas com cargas negativas em meio aquoso, são atraídas (MUNIZ et al., 2015; COSTA et al., 2016). Desta forma, as cargas presentes nas proteínas podem interagir com as cargas negativas da micela do solo e causar a substituição do sódio no complexo de troca e melhorar as condições físicas do solo.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar as alterações químicas e físicas em solo solódico após a aplicação de extrato de semente de *Moringa oleífera* Lam..

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Solos Sódicos

A salinização e/ou sodificação dos solos ocorrem normalmente em regiões áridas e semiáridas e podem ocorrer de forma primária ou secundária. O processo primário está relacionado com ações como o intemperismo químico das rochas que atuam na formação do solo, com a elevação do lençol freático quando este apresenta alto teor de sais, inundações e outros processos naturais de salinização. Já o processo secundário, está relacionado com a salinização por ações antrópicas, como o uso de água com alta concentração de sais na agricultura irrigada, o uso demorado de fertilizantes na produção agrícola etc. Ambos os processos se caracterizam pela elevada solução salina no solo, seguida por alta taxa de evapotranspiração, o qual provoca a ascensão dos sais para a superfície e que, por falta de precipitação e drenagem suficientes, se concentram na camada superficial do solo (RIBEIRO et al., 2016; CERQUEIRA et al., 2021).

Os solos salinos provocam mudanças nas características fisiológicas das plantas, uma vez que, quando há alta concentração de sais, há um desbalanço nutricional para as plantas, devido ao efeito osmótico, que aumenta a retenção de água pelo solo e diminui a disponibilidade de água para as plantas, inibindo assim a absorção de nutrientes e consequentemente reduzindo o crescimento e produtividade das plantas. Freire et al. (2012) analisaram o efeito da salinidade do solo no desenvolvimento da *Moringa oleífera* Lam. e concluíram que ao passo que se aumentava a concentração de sais no solo, havia um decréscimo da altura e da massa seca das plantas. Os autores também avaliaram que na fase inicial as plantas absorviam o elemento sódio e este era translocado para parte aérea, fomentando outro problema, a toxicidade por íons. A toxicidade é gerada pelo acúmulo de íons no tecido vegetal e provoca redução do rendimento das plantas. Os íons cloreto, sódio e boro são os principais agentes de toxicidade (DIAS et al., 2016).

O elemento sódio em particular, quando em alta concentração em relação aos demais sais, origina os solos sódicos ( $PST \geq 15\%$ ) ou solódicos ( $6\% \geq PST < 15\%$ ), classificação de acordo com o SiBCS (EMBRAPA, 2018). A presença deste cátion em alta concentração no solo altera suas propriedades químicas e físicas. Além do efeito osmótico e toxidez, o sódio por ser um íon altamente hidratado causa a dispersão das argilas, diminuindo a permeabilidade, reduzindo a infiltração de água e aeração no solo (BUCKMAN, 1976).

## 2.2 Dispersão e Flocculação das Argilas

Quando as partículas coloidais do solo estão em solução, forma-se uma camada dupla difusa de cátions ao seu redor. A camada dupla difusa (CDD) é formada por uma camada fixa de cátions próxima a superfície coloidal, denominada camada de Stern e por outra camada de cátions localizada em distâncias mais longínquas, a qual denomina-se camada difusa. Quando a CDD apresenta espessura superior a distância sobre a qual a força de van der Waals-London atua, há dispersão das argilas do solo. Este fato explica a ocorrência de dispersão dos coloides quando o sódio está em grande concentração no solo, pois, por ser um íon monovalente, possui grande raio iônico, e mantém a CDD espessa. Por outro lado, para que haja a flocculação das argilas, é necessário que a camada dupla difusa seja menor ou igual a distância sobre a qual há a atuação da força de van der Waals. Neste sentido, para que isso ocorra é necessário que haja a substituição no complexo de troca catiônica dos íons monovalentes por íons divalentes ou trivalentes, os quais possuem raio iônico menor, como é o caso do  $Ca^{2+}$  (FERREIRA *et al.*, 2016).

A flocculação das argilas também pode ocorrer pela interação entre as cargas negativas de um coloide com as cargas positivas da CDD de outro coloide. Quando isso ocorre há uma sobreposição das camadas dupla difusa dos dois elementos, sendo possível a formação de um polo unificado positivo, que interage com outros coloides e ocorre a formação de flocos. A flocculação é o processo que antecede a formação de agregados, para então construção da estrutura do solo (FERREIRA *et al.*, 2016).

## 2.3 Recuperação de Solos Sódicos

A recuperação dos solos salinos pode ser realizada com a aplicação de lâminas de lixiviação, no entanto, para eliminação do sódio é necessário à sua substituição no complexo de troca catiônica por outro íon, para então ser lixiviado (VASCONCELOS *et al.*, 2013).

Vasconcelos *et al.* (2013) testaram diferentes níveis de necessidade de gesso (NNG) em um solo sódico e teve como resultado que para o nível de 100% conseguia-se maior e menor grau de floculação e dispersão respectivamente, e houve uma melhora significativa na taxa de infiltração em todos os tratamentos, resultado este provocado pela troca catiônica do sódio pelo cálcio.

Segundo Araújo *et al.* (2015), o gesso ( $\text{CaSO}_4$ ) é eficiente na redução do sódio trocável, no entanto, não diminui o pH do solo pois possui reação neutra, e ainda causa desbalanço nutricional para as plantas devido à alta concentração de cálcio no solo após a aplicação. Neste sentido, o autor testou o gesso e o enxofre elementar para efeito de comparação visando a recuperação de solos sódicos e concluiu que o  $\text{CaSO}_4$  é mais eficiente que o enxofre elementar na redução da PST, porém, para a redução do pH, o enxofre proporciona resultados melhores. Estes resultados diferem dos de Sá *et al.* (2018) que, realizando a mesma comparação de Araújo, diferenciando apenas pela aplicação de superfosfato simples, encontrou que o enxofre é mais eficaz na redução da salinidade e sodicidade do solo.

#### **2.4 *Moringa oleífera* Lamarck**

A *Moringa oleífera* Lamarck é uma arbórea pertencente à família *Moringaceae* e tem como origem o norte da Índia. É uma planta adaptável a diferentes tipos de solo e tolerante a ambientes de clima seco. As sementes de moringa são amplamente utilizadas na coagulação de sólidos suspensos em água. A ação coagulante da semente provém de proteínas eletropositivas presentes na semente, que quando em solução liberam cargas positivas que atraem cargas negativas de partículas existentes no meio aquoso, como é o caso das argilas (MUNIZ *et al.*, 2015). Além do uso na remoção de turbidez da água, outros autores já estudaram o seu uso em outras substâncias.

Lo Monaco *et al.* (2013) estudaram o efeito das sementes de moringa associada ou não com outros condicionadores, na remoção de turbidez de esgoto doméstico e obteve uma relação ótima de 4,8 g de extrato de sementes (preparada com água destilada) para 1 litro de esgoto, para obter uma coagulação máxima de 77%. Já para o extrato preparado com  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  obteve uma relação ótima de 2,2 g sementes por litro de esgoto, com uma coagulação máxima de 80 a 85%, sendo que tal efeito se deve a presença do cátion bivalente  $\text{Ca}^{2+}$ , que também é um agente floculante. Costa *et al.* (2016) também testou extratos de sementes de moringa

preparados com soluções salinas e água destilada pura e concluíram a eficiência na remoção da turbidez do caldo de cana quando associava o extrato com solução KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

Além do efeito coagulante, as sementes também são utilizadas na produção de cosméticos e óleo e as folhas de moringa possuem propriedades medicinais, sendo, portanto, usada para problemas de desnutrição humana (BERTONCIN, 2008).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Análises de Resíduos para Aproveitamento Agrícola, no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, em Montes Claros – MG (44°55'00" O; 16°51'38" S). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições dos tratamentos. Os tratamentos foram diferentes relações de massa de sementes de moringa sem casca (g) / massa de argila (kg): T1) 0; T2) 45,45; T3) 90,91; T4) 136,36; T5) 181,82; T6) 227,27; T7) 272,73; T8) 318,18; T9) 363,64; T10) 409,69 e T11) 454,55, totalizando 11 tratamentos.

O solo utilizado foi um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico solódico. A coleta foi realizada em local próximo ao Laboratório de Biologia e Plantas Daninhas no Instituto de Ciências Agrárias (43°50'19.2"O; 16°41'00.3"S) na profundidade de 0 a 20 cm. A obtenção do extrato fluido ocorreu por meio da trituração das sementes de moringa sem casca com água destilada (relação m:v de 1:6) em um liquidificador (Figura 1).

Para o teste de interação entre as diferentes concentrações de extrato de semente de moringa e o solo, utilizou-se como recipiente garrafas pet de 2 L (Figura 2). Na garrafa colocou-se 200 g de solo, extrato de semente de moringa conforme o tratamento e depois água destilada até completar o volume de 1 L. Após isso, os recipientes foram colocados em mesa agitadora por 16 horas. Ao finalizar as amostras ficaram em repouso por 4 horas e depois disso foi realizado a drenagem da água, realizando um furo a 6 cm da base da garrafa com o auxílio de um ferro de solda (usou-se o solo sedimentado como referência para escolha da altura do furo) (Figura 3). Em seguida realizou-se um corte na garrafa na altura do furo para secagem das amostras, utilizou-se uma estufa de circulação de ar forçada à 70°C por 4 dias (Metodologia de Argila Dispersa em Água adaptada de IAC., 2009).

Figura 1-Sementes de moringa e objetos utilizados no preparo do extrato fluido



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 2- Garrafas pet com amostras de solo em solução contendo seu respectivo tratamento



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 3 -Drenagem da água após 4 horas das amostras em repouso



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 4 - Recipientes com as amostras de solos secas



Fonte: Da autora, 2022.

Após a secagem das amostras, o solo contido em cada recipiente foi pulverizado em um almofariz para a realização das análises químicas e físicas (Figura 4). Foram avaliados os teores de Ca, Mg, K, Na, H, Al, P, C orgânico e Matéria orgânica (MO) no Laboratório de Solos do ICA/UFMG seguindo a metodologia da EMBRAPA (2017) de acordo com o controle de qualidade do PROFERT – MG e depois executou-se os cálculos da CTC Total (Equação 1) e da PST do solo (Equação 2) (EMBRAPA, 2017).

Também foram realizadas as análises da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), pH em água (1:2,5) de acordo a EMBRAPA (2017), argila dispersa em água e argila total (IAC,2009) para o cálculo do grau de flocculação de argilas (GF) (Equação 3) - (EMBRAPA, 2017).

$$CTC \text{ (cmol dm}^{-3}\text{)} = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+} + (H^{+} + Al^{+3}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

Ca = Concentração de Cálcio (cmol dm<sup>-3</sup>)

Mg = Concentração de Magnésio (cmol dm<sup>-3</sup>)

K = Concentração de Potássio (cmol dm<sup>-3</sup>)

Na = Concentração de Sódio (cmol dm<sup>-3</sup>)

H + Al = Concentração de Hidrogênio mais Alumínio (cmol dm<sup>-3</sup>)

$$PST \text{ (\%)} = \frac{Na}{CTC} * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

Na = Concentração de Sódio (cmol dm<sup>-3</sup>)

CTC = Capacidade de Troca Catiônica (cmol dm<sup>-3</sup>)

$$GF(\%) = \frac{a-b}{a} * 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

GF – grau de flocculação, em dag kg<sup>-1</sup> (%).

a – concentração de argila total, em g kg<sup>-1</sup>.

b – concentração de argila dispersa em água, em g kg<sup>-1</sup>.

As avaliações dos teores de Ca, Mg, N, P, K e Na, que correspondem a caracterização da semente de moringa foram feitas de acordo a metodologia de Tedesco *et al.* (1995).

Foi realizado a ANOVA dos resultados obtidos e o ajuste dos dados pelo teste T-Student utilizando o software Sisvar 5.8.92 (FERREIRA, 2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do Solo e das sementes de Moringa

A tabela 1 apresenta a caracterização do solo em estudo e propriedades da semente de moringa. De acordo com o SiBCs (EMBRAPA, 2018), o solo apresentou caráter solódico, uma vez que a percentagem de sódio trocável (PST) ficou entre 6% e <15%. Por outro lado, as sementes de moringa revelaram conter teores mais elevados de P, Ca e Mg do que de N e K, e teores muito baixos de Na.

Tabela 1 - Atributos do solo antes da aplicação dos tratamentos e propriedades químicas da semente de moringa

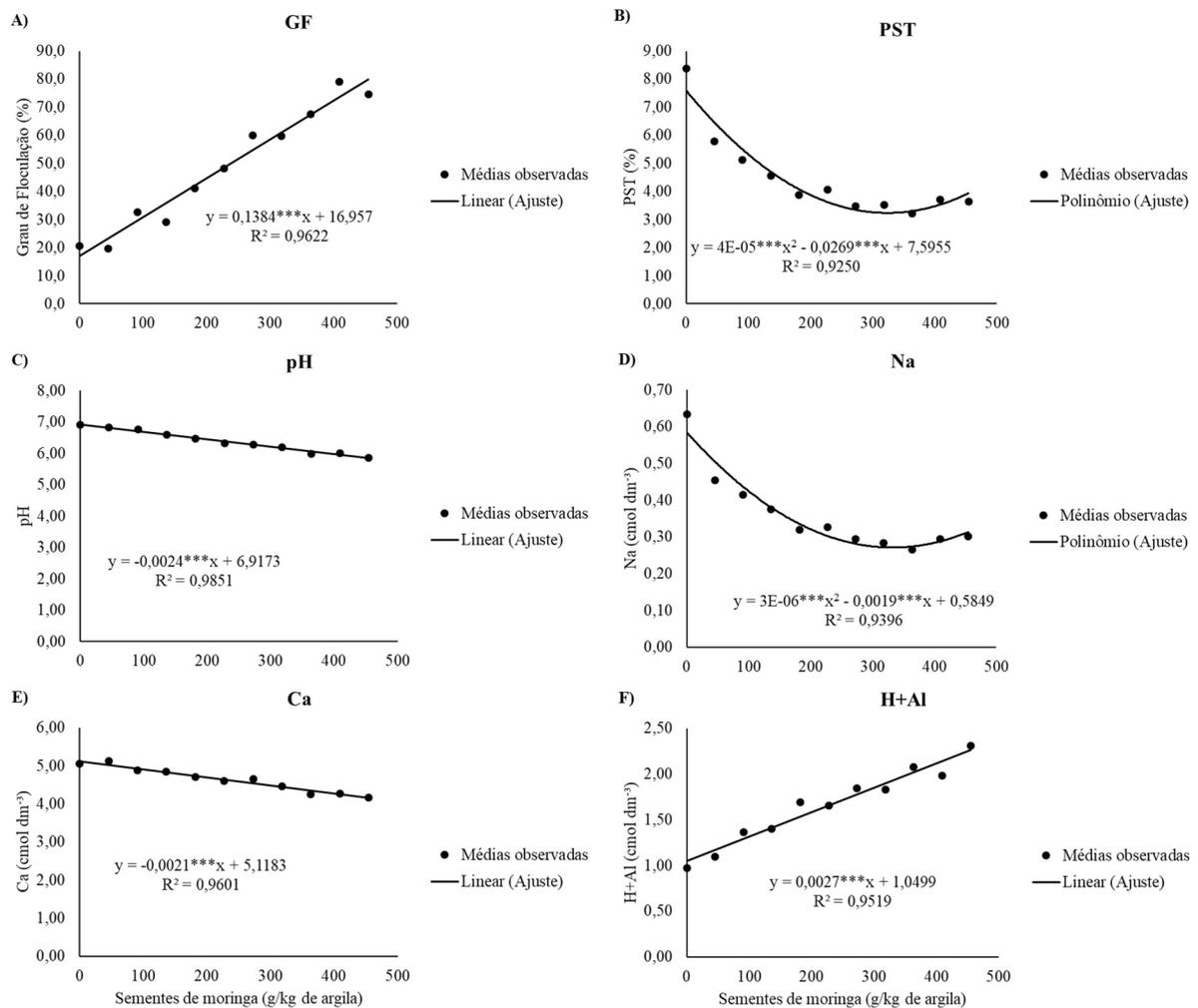
Atributos Químicos	Solo		Moringa	
	Valor	Unidade	Valor	Unidade
Ca	5,51	cmolc dcm <sup>-3</sup>	2,78	g kg <sup>-1</sup>
Mg	0,62	cmolc dcm <sup>-3</sup>	2,72	g kg <sup>-1</sup>
K	0,29	cmolc dcm <sup>-3</sup>	0,18	g kg <sup>-1</sup>
Na	1,11	cmolc dcm <sup>-3</sup>	1,3	mg kg <sup>-1</sup>
P	4,9	mg dm <sup>-3</sup>	5,42	g kg <sup>-1</sup>
N	-	-	0,07	g kg <sup>-1</sup>
MO	1,88	dag kg <sup>-1</sup>	-	-
PST	12,8	%	-	-
pH (H <sub>2</sub> O)	6,91	-	-	-
CEes	1,7	dS m <sup>-1</sup>	-	-
CTC	8,64	cmolc dcm <sup>-3</sup>	-	-
Atributos Físicos	Unidade			
GF	21	%	-	-
Areia	38	dag kg <sup>-1</sup>	-	-
Silte	50	dag kg <sup>-1</sup>	-	-
Argila	22	dag kg <sup>-1</sup>	-	-

Fonte: Da autora, 2022.

## 4.2 Propriedades do solo após a aplicação dos tratamentos

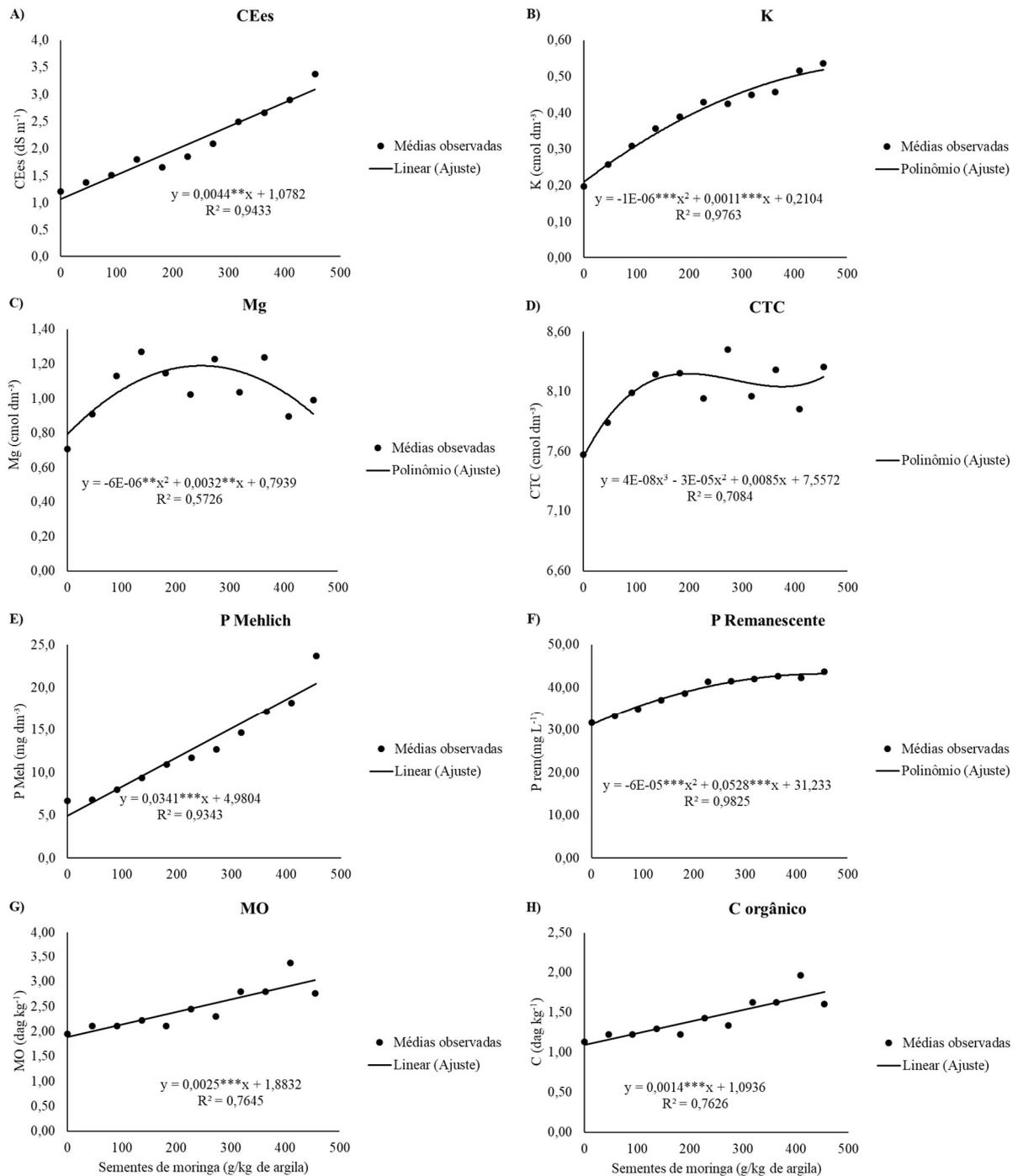
As Figuras 5 e 6 abaixo apresentam os resultados das propriedades químicas e físicas do solo após a aplicação das doses de sementes de moringa.

Figura 5 - Equação de regressão relacionando em a) Grau de floculação, b) Porcentagem de sódio trocável, c) pH em água d) Sódio e) Cálcio e f) Hidrogênio + Alumínio (Acidez Potencial), com as concentrações de extrato de semente de moringa aplicados a argila. \*\*\* significativo até 0,1% probabilidade pelo teste T-Student



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 6 - Equação de regressão relacionando em a) Condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo, b) Potássio, c) Magnésio d) Capacidade de troca catiônica e) Fósforo Mehlich, f) Fósforo remanescente, g) Matéria orgânica e h) Carbono orgânico com as concentrações de extrato de semente de moringa aplicados a argila. \*\*\*, \*\*, \*, significativo até 0,1%, 1%, 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste T-Student



Fonte: Da autora, 2022.

Os resultados evidenciaram que, com o aumento da aplicação das doses de extrato de sementes no solo, houve um aumento do grau de floculação das argilas (GF) (Figura 5A). Este aumento é resultado da interação das cargas positivas das proteínas presentes nas sementes de moringa com as cargas negativas dos coloides do solo, relação que promove a redução da dupla camada difusa proporcionando a floculação. Este fato pode ser assegurado pela redução que houve na porcentagem de sódio trocável (PST) do solo (Figura 5B), fato que indica que houve substituição do sódio no complexo de troca catiônica pela proteína e este foi lixiviado com a drenagem realizada.

O maior valor de GF obtido foi de 79,85%, com a aplicação de 454,55 g de sementes por kg de argila, e o menor valor de PST obtido foi de 3,27%, com a aplicação de 282,42 g sementes por kg de argila. O melhor modelo de regressão para o GF foi a linear e para PST o ajuste quadrático. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2022) em seu trabalho, onde utilizou diferentes doses de extrato de sementes de moringa, lodo de esgoto e gesso como condicionador de um solo solódico. Em seu trabalho o extrato de sementes de moringa mostrou-se mais eficiente na redução da PST do solo, proporcionando o aumento da floculação das argilas.

O pH do solo também reduziu com o incremento de extrato de sementes de moringa (Figura 5C). Para a maior dose de extrato o valor encontrado foi 5,85, ficando dentro da faixa recomendada (entre 5,5 e 6,5) para o desenvolvimento das culturas. A mensuração desta variável é importante pois o pH interfere diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas (BATISTA *et al.*, 2018).

A diminuição do pH pode estar associada a redução de bases como o sódio (Figura 5D) e o cálcio (Figura 5E) e pela dissociação de grupos ácidos presentes na semente de moringa (OLIVEIRA *et al.*, 2002; BATISTA *et al.*, 2018), como evidenciado pelo aumento linear da acidez potencial (Figura 5F) com o incremento do extrato de sementes. A diminuição do cálcio, assim como a do sódio, foi favorecida pelo deslocamento deste elemento no complexo de troca pela proteína catiônica da semente, passando, portanto, para a solução e lixiviado.

A condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo aumentou linearmente com a adição de extrato de sementes de moringa ao solo (Figura 6A). Isso pode ter ocorrido em função do aumento do íon K na solução do solo (Figura 6B), liberado de formas não trocáveis a partir de minerais como a ilita. Resultados semelhantes foram encontrados por

Barros *et al.*, (2010) em seu trabalho, onde houve o aumento da condutividade elétrica com a adição de nitrato de potássio no solo. Já Leite *et al.* (2010) encontrou resultado oposto, ou seja, houve redução da condutividade elétrica com a adição de gesso e ácido sulfúrico ao solo para redução da sodicidade do solo, confirmando o resultado encontrado neste trabalho, pois tais condicionadores não apresentam potássio em sua composição.

Uma outra explicação para o aumento da condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo, seria a influência pela proteína catiônica da moringa, ela própria promovendo o aumento da condutividade elétrica da solução, bem como, atuando em minerais secundários como a illita, vermiculita e/ou esmectita, induzindo a retirada de K de formas não trocáveis para formas mais disponíveis, aumentando a quantidade desse elemento em solução (BATISTA *et al.*, 2018).

Assim como o potássio, o fósforo Mehlich (Figura 6E) e o fósforo remanescente (Figura 6F) também aumentaram com o incremento do extrato das sementes de moringa. O fósforo Mehlich refere-se ao fósforo disponível para absorção pelas plantas e o fósforo remanescente remete a capacidade de adsorção do fósforo ao solo (LISBOA *et al.*, 2012). O fósforo disponível saiu de 4,9 mg dm<sup>-3</sup>, valor considerado muito baixo ( $\leq 6,6$  mg dm<sup>-3</sup>), para 20,47 mg dm<sup>-3</sup> com a dose de 454,55 g de sementes por kg de argila, valor considerado bom (20,1 - 30,0 mg dm<sup>-3</sup>) (ALVAREZ *et al.*, 1999). Este resultado indica que a semente de moringa além de proporcionar a floculação da argila, também proporciona o aumento de um dos elementos mais requerido pelas plantas.

O aumento do fósforo remanescente mostra que, com o incremento das doses de extrato de sementes de moringa, houve uma redução da adsorção deste elemento no solo. Este efeito pode ser proveniente de ácidos orgânicos liberado na geração de biomassa de microorganismos que utilizam o C orgânico possibilitando que haja competição destes ácidos pelos mesmos sítios de adsorção de P no solo, deixando o ânion com maior disponibilidade (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Outra hipótese seria que o aumento do fósforo disponível ocorreu apenas pela mineralização do elemento presente no próprio material orgânico da semente, deste modo, parte dos íons ficaram retidos nos coloides do solo e outra parte disponível, ação que causa o aumento do fósforo remanescente, como ocorreu neste experimento (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

A CTC do solo apresentou uma leve redução com a testemunha, mas foi se elevando com a adição de sementes de moringa ao solo até a dose de 250 g de sementes, obtendo um

valor máximo de  $8,43 \text{ cmolc dm}^{-3}$  e tendo um decaimento a partir desta mesma dose (Figura 6D). A redução inicial e final da CTC do solo pode estar associada a lixiviação de bases como o cálcio e sódio, sendo este último mais intensificado ao passo em que aumentava as doses de sementes de moringa no solo. Entretanto, o aumento do potássio e da acidez potencial com a adição do extrato de sementes ao solo também teve uma influência significativa até a dose de 250 g, causando a elevação ocorrida. Quanto ao magnésio, o aumento do extrato de semente de moringa não influenciou significativamente em sua concentração no solo (Figura 6C), mantendo-se constante, para o nível de significância de 5%, de acordo com o teste F.

## **5 CONCLUSÃO**

O uso de extrato de sementes moringa proporcionou a redução da porcentagem de sódio do solo em estudo, proporcionando a floculação da argila, melhorando, portanto, as suas propriedades físicas para o cultivo de plantas e mostrando ser um condicionante natural de alta eficiência para recuperação de solos com problemas de sódio.

A adição de sementes de moringa no solo promoveu o aumento da disponibilidade de dois elementos essenciais para as plantas, o fósforo e o potássio.

O extrato de sementes de moringa proporcionou a redução do pH do solo, mantendo dentro da faixa recomendada para o desenvolvimento das plantas.

## 6 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. p. 25-32. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H., org. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. CFSEMG, Viçosa, 1999.

ARAUJO, J. L.; SEVERO, P. J. S.; LUCENA, F. T. C.; VERIATO, R. G.; PAIVA, K. F.. Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos?. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.L.], v. 45, n. 4, p. 388-396, dez. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4537090>.

BARROS, D. L.; COELHO, E. F.; COSTA, F. da S.; ANDRADE NETO, T. M. de; SANTOS, B. C.; SILVA, A. C. P. da. PH e condutividade elétrica do extrato de saturação e da solução do solo pela aplicação de nitrato de potássio em diferentes concentrações durante o ciclo da bananeira 'Terra' fertirrigada. In: Jornada Científica - Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. **Anais...** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/875297/ph-e-condutividade-eletrica-do-extrato-de-saturacao-e-da-solucao-do-solo-pela-aplicacao-de-nitrato-de-potassio-em-diferentes-concentracoes-durante-o-ciclo-da-bananeira-terra-fertirrigada>>. Acesso em: 20 de nov. 2022.

BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; NETO, M. E.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. **Hortaliças-Fruto**, [S.L.], p. 113-162, 2018. EDUEM. <http://dx.doi.org/10.7476/9786586383010.0006>.

BERTONCINI, E. I.. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Tecnologia & Inovação Agropecuária**, Piracicaba, p. 152-169, jun. 2008.

BUCKMAN, H. O.. **Natureza e Propriedades dos Solos**. Tradução: Antônio B. Neiva Figueiredo. 4. ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Barros, 1976. 594 p.

CERQUEIRA, P. R. S. *et al.* Estratégias metodológicas para o monitoramento e espacialização da salinidade e da sodicidade dos solos em projetos de irrigação. In: CERQUEIRA, P. R. S. *et al.* **Agricultura Irrigada em Ambientes Salinos**. Brasília: Codevasf, 2021.

COSTA, G. H. G.; FREITA, C. M. de; MENDES, F. Q.; MUTTON, M. J. R.. Extrato de sementes de moringa como floculante de caldo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária**

**Brasileira**, [S.L.], v. 51, n. 10, p. 1794-1798, out. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016001000012>.

DIAS, N. S. *et al.* Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. 2016. p. 151-161. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT, 2016. 472 p.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Brasília, 2017.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., Brasília, 2018.

FERREIRA, D. F.. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Disponível em: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Acesso em: 20 set. 2021. Doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.4500>.

FERREIRA, P. A., SILVA, J. B. L. da, RUIZ, H. A.. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. 2016. p. 17-34. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT, 2016. 472 p.

FREIRE, A. L. O.; MIRANDA, J. R. P. de. Crescimento e acúmulo de cátions em plantas de moringa mantidas em solos salinos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.L.], v. 32, n. 69, p. 45-52, 30 mar. 2012. Embrapa Florestas. Doi: <http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.69.45>.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeção da População 2018: número de habitantes do país deve parar de crescer em 2047. Jul. 2018. Disponível em: < [LEITE, E. M.; DINIZ, A. A., CAVALCANTE, L. F., GHEYI, H. R., CAMPOS, V. B.. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. \*\*Revista Caatinga\*\*, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 110-116, jun. 2010.](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/21837-projecao-da-populacao-2018-numero-de-habitantes-do-pais-deve-parar-de-crescer-em-2047#:~:text=Essa%20propor%C3%A7%C3%A3o%20total%20dever%C3%A1%20aumentar,%20mesmo%20n%C3%ADvel%20de%202010.> . Acesso em: 20 de nov. 2022.</p></div><div data-bbox=)

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; ABICHEQUER, A. D.; DORNELES, E. P.; CAPITANI, B.. Determinação do fósforo remanescente como método alternativo à textura na indicação da classe de disponibilidade de fósforo em três solos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 81-84, 1 ago. 2012.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; PEREIRA, M. dos S.; JÚNIOR, V. E.; BATISTA, A. P. da S.; BAKER, Sandy A. A.. Efeito da adição de diferentes substâncias químicas no extrato de sementes de moringa utilizado como coagulante no tratamento de esgoto sanitário. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 1038-1048, out. 2013.

MUNIZ, G. L.; DUARTE, F. V.; OLIVEIRA, S. B. de. Uso de sementes de Moringa oleífera na remoção da turbidez de água para abastecimento. **Ambiente e Água**, [S.L.], v. 10, n. 2, 30 abr. 2015. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1439>.

OLIVEIRA, L. B. de; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. da G. de V. X.; LIMA, J. F. W. F. de; MARQUES, F. A.. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 37, n. 10, p. 1477-1486, out. 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2002001000016>.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A.. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 911-920, jun. 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000300001>.

PEREIRA, J.R. Solos salinos e sódicos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15 e SIMPÓSIO SOBRE ACIDEZ E CALAGEM NO BRASIL, Campinas, SP, 1983. **Anais**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.127-143, 1983.

RIBEIRO, M. R.; FILHO, M. R. Ribeiro; JACOMINE, P. K. T.. Origem e classificação dos solos afetados por sais. 2016. p. 9-15. In: GHEYI, Hans Raj; DIAS, Nildo da Silva; LACERDA, Claudivan Feitosa de. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT, 2016. 472 p.

SÁ, F. V. da S.; BRITO, M. E. B.; SILVA, L. de A.; MOREIRA, R. C. L.; PAIVA, E. P. de; SOUTO, L. S.. Correção de solo salino-sódico com condicionadores e doses de fósforo para cultivo do sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 2854-2865, 30 nov. 2018. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v12n500838>.

SILVA, M. T. N. L.. **Produção de feijoeiro em solo tratado com corretivos alternativos para a redução do sódio**. 2022. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2022.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

VASCONCELOS, R. R. A. de; BARROS, M. de F. C.; SILVA, Ê. F. de F. e; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. P. B.; SILVA, N. M. L. da. Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1318-1325, 23 ago. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013001200010>.