

VICTOR DOS SANTOS FRANÇA

**DETERMINAÇÃO DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO EM DIFERENTES
DILUIÇÕES *VERSUS* O MÉTODO PADRÃO**

SÃO CRISTÓVÃO - SE

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA – DEA

**DETERMINAÇÃO DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO EM DIFERENTES
DILUIÇÕES *VERSUS* O MÉTODO PADRÃO**

**Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Agrônômica – Universidade Federal de
Sergipe, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.**

APROVADO em: 27/08/2025

ORIENTADO: Victor dos Santos França

Prof. Dr. Airon José da Silva
(Orientador)

Prof. Dr. Marcos Cabral de V. Barretto
(Banca examinadora)

Msc. Richard Matos de Souza
(Banca examinadora)

Dedicatória

Dedico este trabalho a todas as pessoas que estiveram comigo ao longo desses cinco anos, aos ensinamentos recebidos e as relações que foram criadas que levarei pelo resto da vida.

Primeiramente quero dedicar aos meus pais, que mesmo não sabendo o que se passava na universidade, mas entre conversas e perguntas, nas despedidas pelas manhãs e reencontros às noites, sempre estavam preocupados mas orgulhosos do que eu estava me tornando.

Em segundo lugar quero dedicar a todos os professores os quais me proporcionaram conhecimento sobre os mais diversos temas, abrindo minha mente a um mundo que por muitos é visto com olhos desconfiados, as ciências agrárias. Me permitiram entender o grau de complexidade existente no que parece ser um simples ato de plantar e colher, me fornecendo uma visão holística desse universo que sustenta todas as sociedades.

Em terceiro, dedico a todas as amizades que criei ao longo desse tempo, onde cada um tinha uma vivência diferente e com isso diferentes histórias, risadas e caminhos a seguir. Participar da que foi considerada (por nós mesmos) a turma mais unida da agronomia foi uma experiência que irei levar para o resto da vida e que nessas estradas, entre uma porteira e outra, possamos ainda se encontrar como se fosse mais um dia de aula.

Quero honrar os meus amigos mais próximos, aqueles que guardo no coração sem nenhuma ressalva Reinaldo e Ari, esses que estiveram juntos ao meu lado em praticamente todos os trabalhos, apresentações, caminhadas infinitas entre as didáticas e o DEA.

E por fim, porém a mais importante, a melhor pessoa que conheci nessa jornada, minha melhor amiga, minha companheira para todos os momentos, aquela na qual independente se houvesse momentos bons ou ruins sempre terminava o dia com um abraço aconchegante e um beijo carinhoso, minha namorada e a pessoa que eu quero passar cada um dos meus dias, Juciele Maciel Portela....te amo.

Agradecimentos

Agradeço a todos que me ajudaram nesse trabalho, aos professores, colegas, amigos, família e minha namorada. Pois foi com apoio de vocês que consegui realizar mais essa jornada em minha vida.

Agradeço ao Laboratório de Remediação de Solos da UFS e todo pessoal que trabalha e trabalhou lá, Idamar, Kairon, Thauane e José Henrique, por me ajudarem na preparação das amostras e dos testes, assim como quero agradecer ao professor Airon por me orientar durante esses anos em que estive lá.

Quero por fim agradecer a UFS, CNPq e Fapitec por proporcionarem as condições para que eu tenha conseguido realizar todas as pesquisas nesses anos e ter chegado nessa reta final.

Obrigado a todos !

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE TABELAS.....	5
RESUMO.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
2.1. Solos afetados por sais.....	8
2.2. Origem e classificação dos solos afetados por sais.....	10
2.3. Determinação da Condutividade elétrica.....	11
2.4.1. Extração do extrato da pasta saturada.....	13
2.4.2. Extrato água-solo.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Coleta das amostras.....	15
3.2. CE pelo extrato de saturação.....	16
3.3. CE pelo extrato solo-água.....	18
3.4. Análise estatística e determinação da curva de calibração.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5. CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS.....	23
APÊNDICES.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pesagem de solo para elaboração da pasta saturada.....	16
Figura 2: Diferença do aspecto do solo ao atingir a saturação necessária. (a = seco) e (b = saturado).....	17
Figura 3: Extração do soluto advindo da pasta saturada.....	18
Figura 4: Análise de CE das diluições em condutivímetro de bancada.....	19
Figura 5: Análise de Componente Principal. (ACP).....	20
Figura 6: Análise dos dados em matriz pelo método de correlação de Spearman...	21
Figura 7: Desvio padrão dos tratamentos.....	22
Figura 8: Modelo correlacionando os valores da diluição 1:1,5 com os da CEps.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Teste de normalidade de Shapiro-Wilk considerando 5% de significância....
20

RESUMO

A salinidade do solo é um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola, sendo tradicionalmente avaliada pelo método da pasta saturada, considerado padrão de referência, mas que apresenta alto custo e limitações práticas. Este trabalho teve como objetivo comparar a condutividade elétrica obtida pelo método da pasta saturada com diferentes relações solo:água (1:1,5; 1:2; 1:2,5; e 1:3), visando propor alternativas mais rápidas e acessíveis para a determinação da salinidade em condições de laboratório e campo. Para isso, foram coletadas 24 amostras compostas de solo no perímetro irrigado Jacaré-Curituba, em Poço Redondo-SE, contemplando diferentes níveis de salinidade. As análises seguiram o método de Richards (1954) para a pasta saturada, com extração por bomba a vácuo, e a preparação de extratos solo:água em diferentes diluições, avaliados em condutivímetro de bancada. Os resultados revelaram correlação positiva entre todos os métodos, com destaque para a proporção 1:1,5, que apresentou maior proximidade com o método padrão e possibilitou a obtenção de uma curva de calibração com ajuste satisfatório ($R^2 = 0,79$). Conclui-se que a diluição 1:1,5 é uma alternativa viável ao método de referência, permitindo análises mais rápidas, econômicas e aplicáveis em laboratório e campo, contribuindo para o manejo de solos afetados por sais.

PALAVRAS-CHAVE: condutividade elétrica, pasta saturada, relação solo:água, salinidade do solo.

1. INTRODUÇÃO

Os solos são sistemas trifásicos, na qual a sua fase sólida é composta por colóides e nutrientes adsorvidos e em solução. A maioria desses nutrientes são sais dispostos em formas solúveis no solo, facilitando assim a absorção pelas plantas. No entanto, em regiões nas quais os solos são eutróficos e possuem uma alta capacidade de troca de cátions, os sais minerais que são fontes de nutrição podem tornar o ambiente hostil às plantas devido à sua alta concentração.

Os solos salinos são caracterizados pela presença de sais solúveis concentrados em camadas superficiais. Esse acúmulo pode ocorrer de forma primária devido a fatores geoquímicos naturais e intemperismo, ou de forma secundária com o uso irrestrito de água e fertilizantes minerais, na qual a água que se acumula no solo, principalmente por irrigação, evapora, concentrando os sais dissolvidos nas camadas superiores.

Para a determinação da salinidade, é comumente utilizado metodologias nas quais se usam a condutividade elétrica da solução do solo, visto que há relação direta entre a quantidade de sais dissolvidos e a velocidade de propagação de uma descarga elétrica.

Os métodos se baseiam em saturar o solo com água para que haja remoção principalmente dos sais trocáveis que estão adsorvidos nos colóides. No entanto, quanto mais próximo o volume da fase sólida estiver do volume de água utilizado, mais preciso estará a avaliação.

Os métodos que utilizam extratos aquosos em diferentes proporções solo:água têm despertado debates e incentivado novas pesquisas científicas sobre a relação adequada entre solo e água. Isso ocorre porque a variação na quantidade de água empregada altera o grau de diluição dos íons presentes na solução. Neste contexto é importante frisar a carência de estudos comparativos entre métodos de extração da solução do solo e a determinação da condutividade elétrica do solo.

Todavia, métodos mais precisos necessitam de equipamentos mais onerosos, técnicas mais complexas e volume de amostras de solo consideráveis, inviabilizando sua difusão no meio agrícola. Enquanto metodologias mais acessíveis não

demonstram com precisão os resultados obtidos, podendo levar ao produtor à avaliação errônea e ao uso de técnicas não adequadas para seu sistema.

O objetivo do presente trabalho foi determinar curvas de calibração para análise de condutividade elétrica do solo a partir do método padrão e de extratos de diferentes relações água-solo (diluição) a fim de obter-se uma metodologia rápida, simples e econômica para a determinação da salinidade do solo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. *Solos afetados por sais*

A salinização é um processo que pode levar os solos ao processo desertificação, sendo este um fenômeno dinâmico causado pela degradação de terras em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, sendo afetado tanto por fatores ambientais quanto por maneiras como os seres humanos exploram os recursos naturais (UNCCD, 2014). Muitas das áreas localizadas em climas secos enfrentam sérios problemas ou riscos de desertificação. No semiárido brasileiro, esses perigos se tornam ainda mais claros, e em certas localidades, a degradação do solo chegou a um ponto tão crítico que deu origem a zonas de desertificação (Holanda et al., 2007; Castro e Santos, 2020).

A salinização se define pelo acúmulo excessivo de sais solúveis em concentrações que afetam negativamente o desenvolvimento das plantações (Medeiros et al., 2011; Fernandes et al., 2020). Esse processo causa danos às plantas e altera a pressão osmótica nas espécies vegetais devido ao maior teor de sais presentes na solução absorvida por fluxo de massa ou aumento da concentração de soluto na zona radicular (Pedrotti et al., 2015), resultando principalmente em seca fisiológica e como consequência, menor cobertura de vegetação e diminuindo a produção agrícola.

A salinidade do solo, junto com outras características químicas e físicas, não se mantém constante ao longo do tempo e do espaço devido à interação complexa entre fatores do solo, clima e ações humanas. Portanto, o acompanhamento

constante das variáveis que determinam a salinidade é crucial para uma gestão sustentável e a recuperação dos solos afetados por sais (Rath & Rousk, 2015).

Conforme Rocha et al. (2023), a salinização pode ocorrer tanto por processos naturais quanto por ações humanas, ambas prejudiciais às funções do solo. Entre os fatores que contribuem para esse problema estão o uso de fertilizantes químicos à base de sais, a compactação do solo e impermeabilização, diminuindo a profundidade do lençol freático e favorecendo a elevação da solução salina por capilaridade (Ribeiro, 2010; Perez-Marin et al., 2012). Solos salinizados são mais frequentes em áreas irrigadas em regiões áridas e semiáridas, onde a qualidade da água, a pouca chuva e a alta evapotranspiração favorecem o acúmulo de sais na superfície do solo cultivável. Por outro lado, em regiões úmidas, a lavagem dos sais pela água da chuva ajuda a reduzir sua concentração na camada superior do solo (FAO, 2015).

Os efeitos da salinidade na agricultura vão além da fase de plantio, afetando também questões sociais e econômicas (Fernandes et al., 2020). Além disso, as mudanças climáticas, ao aumentarem a temperatura global, promovem aumento de evapotranspiração, mudanças nos padrões de chuva e nível do mar (Eswar, Karuppusamy e Chellamuthu, 2021) agravando a salinização dos solos e ampliando as áreas afetadas.

Diante desse quadro, é fundamental monitorar as características do solo e os padrões hidrológicos em regiões com salinização. A busca por métodos eficazes para controlar a salinização, assim como a elaboração de técnicas que forneçam informações precisas, é crucial para reduzir seus impactos e implementar estratégias para a recuperação do solo.

2.2. Origem e classificação dos solos afetados por sais

Solos que são influenciados por sais, referidos como solos halomórficos (salinos, salinos-sódicos e sódicos), se formam em condições de drenagem ineficiente, comuns em áreas áridas e semiáridas. Nessas regiões, a escassa precipitação, a presença de camadas que não permitem a passagem de água e a

alta evapotranspiração favorecem o acúmulo de sais dissolvidos no solo (salinidade) e/ou o aumento da quantidade de sódio trocável (sodicidade), prejudicando o crescimento das plantas (Ribeiro, 2010; Major & Sales, 2012).

A origem desses solos está intimamente ligada às formações geológicas dominantes e ao estado de drenagem. Por isso, os processos que causam a salinização estão diretamente associados à própria formação dos solos (Oliveira, 1997). De acordo com Gonçalves (2015), os sais que surgem do intemperismo dos minerais primários presentes no solo e nas rochas são carregados pela água e se acumulam conforme a água evapora ou é absorvida pelas culturas agrícolas. Durante a desintegração dos minerais que constituem a rocha matriz do solo, processos físicos, químicos e biológicos (influenciados por fatores como material de origem, clima, relevo, organismos vivos e tempo), liberam sais solúveis, dando início à formação do solo (Richards, 1954).

No fenômeno de salinização, ocorre a alteração dos minerais primários, que são ricos em cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , em minerais argilosos do tipo 2:1, principalmente montmorilonita (Guarçoni, 2013). Em áreas semiáridas, essa transformação acontece lentamente devido à duração estendida das secas, mas ainda contribui para a manutenção de altas concentrações desses cátions tanto no complexo de troca quanto na solução do solo (em condições naturais). Durante as estações secas, esses cátions emergem à superfície por evaporação e capilaridade, resultando em uma crosta de sais cristalizados na camada superior do solo (Holanda et al., 2001).

A solonização, que é o processo responsável pela formação dos solos sódicos, ocorre em duas fases: sodificação e dessalinização. A sodificação, que é a fase inicial, se refere ao deslocamento do íon Na^+ da solução do solo para o complexo de troca, criando assim os solos salino-sódicos. Na fase seguinte, a dessalinização resulta na remoção de sais solúveis, levando à formação de solos que são exclusivamente sódicos (Ribeiro et al., 2010; Pedrotti et al., 2015). Em solos salinos, a condutividade elétrica do Solo (CE_{es}) é maior que 4 dS.m^{-1} , o pH é inferior a 8,5 e a porcentagem de sódio trocável (PST), não superior a 15%; os solos salinos-sódicos possuem CE_{es} maior que 4 dS. m^{-1} , pH inferior a 8,5 e PST superior

a 15%; por fim, os solos sódicos apresentam CE_{es} menor que 4 dS.m^{-1} , pH em torno de 8,5 e 10 e PST igual ou superior a 15% (Azevedo et al. 2018).

Na região Nordeste do Brasil, o crescimento populacional e a pressão para aumentar a produção de alimentos têm levado ao agravamento da degradação dos solos por causa da salinidade e sodicidade. Esse fenômeno ocorre principalmente pela expansão da agricultura irrigada em áreas marginalizadas, pelo uso de água salina para irrigação, por práticas inadequadas na gestão da água e do solo e pela falta de sistemas de drenagem, resultando em efeitos negativos para a economia local.

Esses tipos de solo estão comumente relacionados a categorias como Planossolos, Neossolos Flúvicos, Vertissolos, Luvisolos, Gleissolos e Cambissolos, sendo mais comuns em regiões de relevo mais plano em cotas mais baixa do terreno, onde há menor energia potencial que favorece o acúmulo de água e sais. Nessas áreas, a falta de drenagem e as condições climáticas semiáridas contribuem para o desenvolvimento de subordens e grandes grupos de solos afetados pela salinização.

2.3. *Determinação da Condutividade elétrica*

A água pura tem uma capacidade limitada de conduzir eletricidade, enquanto a presença de sais dissolvidos incrementa sua condutividade elétrica de maneira quase proporcional à quantidade dessas substâncias (Bower & Wilcox, 1965). A condutividade elétrica (CE) é uma indicação numérica da aptidão de um meio para permitir a passagem de corrente elétrica, sendo amplamente empregada para avaliar (indiretamente) a soma total de sais dissolvidos em soluções aquosas (FAO, 2002).

As pesquisas iniciais sobre CE relacionadas à salinidade do solo começaram na década de 1970, no "Laboratório de Salinidade do USDA-ARS", em Riverside, Califórnia, nos Estados Unidos (Molin & Rabello, 2011). A condutividade elétrica do solo é afetada por diversos fatores físicos e químicos, como a quantidade de sais, o nível de saturação, a densidade do solo, a umidade, o teor de argila, a capacidade de troca de cátions e o conteúdo de matéria orgânica. A temperatura também exerce

um papel crucial, pois para cada aumento de um grau Celsius, a CE tende a subir cerca de 1,9%, sendo considerado um padrão de 25°C (Rabello, 2009).

A CE é medida usando-se um condutivímetro, que possui uma célula com dois eletrodos de platina fixados em uma certa distância. A condutividade é estabelecida pela medição da resistência elétrica entre esses eletrodos, que ficam imersos na solução ou no extrato do solo. Essa medição pode ser aplicada tanto para extratos do solo quanto para amostras de água, possibilitando a classificação de ambas de acordo com seus níveis de salinidade. A resistência elétrica mantém uma relação direta com a distância entre os eletrodos e uma relação inversa com a área de contato deles (Gheyi et al., 2016).

2.4. Métodos de análise de condutividade elétrica do solo (CE)

Souza et al. (2013) relata que o conhecimento da composição da fase líquida, comumente denominada solução do solo, é de fundamental importância para o monitoramento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, processos de contaminação ambiental e aqueles relacionados ao entendimento da dinâmica da caracterização e avaliação de solos afetados por sais.

A literatura menciona várias metodologias para a extração da solução do solo, entre as quais se destacam o método da pasta de saturação (Richards, 1954; Souza et al., 2012) e extratos aquosos criados em várias proporções de solo para água (Richards, 1954). Embora o método da pasta saturada seja bastante utilizado, apresenta algumas desvantagens, pois é destrutivo e pode alterar tanto a estrutura quanto a porosidade do solo. Ademais, a definição do ponto de saturação é uma questão subjetiva e a obtenção do extrato leva tempo considerável. Apesar dessas limitações, esse método continua a ser uma referência no Brasil, especialmente em pesquisas sobre solos vulneráveis à contaminação ambiental e também é amplamente usado na calibração de outras metodologias (Queiroz et al., 1997).

De acordo com Teixeira et al. (2017), a análise laboratorial do solo enfrenta restrições devido aos altos custos, o que limita o número de amostras que podem ser analisadas e dificulta a realização de um mapeamento aprofundado da

salinidade. Tal limitação impacta negativamente a capacidade de tomar decisões sobre irrigação e fertilização, aumentando os desafios no manejo agrícola.

A utilização de equipamentos móveis, que permitem medições rápidas da condutividade elétrica do solo, vem se tornando uma opção prática para obter dados instantâneos sobre as condições do solo. Essa abordagem diminui os riscos de salinização e a reduzir os impactos ambientais em áreas agrícolas (Fernandes et al., 2020).

2.4.1. *Extração do extrato da pasta saturada*

O método de análise pela extração da pasta saturada foi primeiramente apresentado por Richards em 1954 e consiste na adição lenta de água destilada a uma amostra de solo, enquanto se agita com uma espátula, até que uma consistência específica seja atingida. A pasta deve ter as seguintes propriedades: refletir luz com um brilho notável, fluir levemente quando o recipiente é inclinado e deslizar com facilidade da espátula, exceto em solos com alto conteúdo de argila (Antunes et al., 2024).

Depois de misturar, era aconselhável deixar a mistura em repouso por pelo menos uma hora, seguido de uma nova avaliação dos critérios de saturação. Caso a pasta se torne firme ou perca o brilho, deve-se adicionar mais água; se houver excesso de água na superfície, é necessário adicionar mais solo. A FAO revisou recentemente este procedimento em 2021, incluindo um período extra de descanso de 24 horas e uma nova verificação dos critérios de saturação, embora não tenha fornecido dados que expliquem essa alteração.

A quantidade de água gravimétrica encontrada na pasta de solo saturado é denominada percentual de saturação (SP) e pode ser utilizada para o cálculo da solução do solo (CE_{sw}), segundo a fórmula proposta por Rhoades et al. em 1989, onde θ indica o conteúdo de água gravimétrica do solo.

A avaliação da CE_{es} é um método de laboratório que inclui a utilização de um campo magnético ou contato direto com a solução de solo, usando um medidor de condutividade (Molin et al., 2005). Este é um procedimento que gera altos custos,

devido à necessidade de uniformização das amostras e às quantidades específicas empregadas na análise.

Conforme mencionado por Souza et al. (2013), o método da pasta saturada possui uma certa dose de subjetividade ao estabelecer o ponto de saturação do solo, além de ser um procedimento mais demorado, pois demanda um tempo prolongado para a extração da solução.

2.4.2. *Extrato água-solo*

Quando um sistema de extração a vácuo não está disponível, é viável elaborar extratos de água e solo em várias proporções. Entretanto, o mais adequado é aplicar esses resultados apenas em solos onde já existem correlações definidas entre os extratos gerados e a pasta saturada. Isso possibilita que sejam estimadas as variáveis do extrato saturado, o qual é considerado o padrão de referência. Assim, ao medir a condutividade elétrica (CE) nesses extratos, é possível deduzir a CE correspondente ao extrato de saturação (CE_{es}), facilitando a classificação da salinidade do solo de acordo com normas preestabelecidas (Richards, 1954).

Os extratos que resultam da combinação de solo e água são mais simples de preparar e podem ter proporções que variam de 1:1 a 1:10, conforme sugerido por Freire (2016). No entanto, ao aumentar a quantidade de água, a solução do solo torna-se mais diluída, o que diminui a precisão dos resultados em relação às condições reais das plantas no ambiente. Além disso, esses extratos são mais vulneráveis a erros provenientes de processos como peptização, hidrólise, troca de cátions e dissolução mineral (Rhoades, 1982; FAO, 2002).

À medida que se utiliza mais água na obtenção do extrato, a remoção da solução se torna mais simples, embora o resultado final não necessariamente representa com precisão a composição da solução que existe no solo. Segundo Oliveira (2011), a quantidade de água necessária para preparar uma pasta saturada em solos de textura média é aproximadamente quatro vezes o volume de água retido no ponto de murcha permanente.

Por esse motivo, a quantidade de sais no extrato da pasta saturada tende a ser cerca de um quarto da quantidade encontrada na solução do solo quando este atinge o limite inferior de umidade mantida no campo e cerca de metade da concentração no limite superior, conhecido como capacidade de campo. Isso acontece porque a água no limite superior é o dobro da encontrada no limite inferior. Portanto, o uso desses extratos deve ser considerado somente na ausência de uma extração a vácuo viável.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta das amostras

As amostras de solo foram coletadas no município de Poço Redondo - SE, no perímetro irrigado Jacaré-Curituba. Foram coletadas 24 amostras compostas. Com condições diferentes de salinidade do solo.

3.2. CE pelo extrato de saturação

Para preparo das amostras, foi necessário 500 g de terra fina seca ao ar (TFSA) pesada em balança semi-analítica (Figura 1) oriunda das amostras de solo postas em estufas de circulação de ar forçada. Esse primeiro procedimento culminou na formação da pasta a ser saturada com água destilada baseado na metodologia de Richards (1954).

De acordo com Freire et al. (2016), a filtração a vácuo pode extrair entre 1/4 e 1/3 da água presente na pasta saturada do solo. No entanto, em solos de textura mais fina, mostram uma drenagem máxima de apenas 10 a 15 mL para uma amostra de 1.000 g de TFSA, o que equivale a 2,5% a 3,7% da umidade da pasta saturada. Dessa forma, recomenda-se, de modo geral, utilizar entre 300 - 500 g de TFSA para obter um volume de extrato variando de 10 a 25 mL, dependendo das características do solo.

Figura 1: Pesagem de solo para elaboração da pasta saturada.



Fonte: Autor (2025).

Para o início do procedimento foi transferido os 500 g de TFSA para o recipiente de preparo da pasta saturada. Em seguida, com uso de pisseta, foi adicionado água destilada lentamente, de modo a não acumular em poças durante o processo, sendo assim necessário uso de espátula para distribuir a umidade de forma homogênea pela amostra. O ponto de saturação, foi identificado pelo aspecto brilhante e aplainado da amostra no recipiente, evitando a formação de lâmina de água sobre a superfície ou liquefação de uma subamostra retirada com a espátula (Figura 2).

Figura 2: Diferença do aspecto do solo ao atingir a saturação necessária. (a = seco) e (b = saturado)



Fonte: Autor (2025).

O recipiente foi fechado e deixado em repouso por um período de 24 horas, no qual houve a dissolução dos sais no meio líquido a fim de obter-se a carga de condutividade baseada no teor de sais (Souza et al. 2013). Foi necessário, que periodicamente durante o tempo de repouso, o monitoramento da pasta, caso o nível de água esteja abaixo ou acima do ponto de saturação, sendo adicionado água ou solo, respectivamente, até atingir o ponto ideal, com utilização de espátula.

Ao fim do repouso, para a extração com bomba de vácuo (Figura 3), transferiu-se a pasta saturada do solo para funil de Büchner forrado com papel de filtro de filtragem lenta, e então, acoplado o funil em Kitassato com intermédio de vedação de borracha. A solução foi drenada para dentro do próprio Kitassato e, ao final, transferida para o recipiente de coleta e armazenar os extratos em recipientes fechados sob refrigeração, para as análises.

Figura 3: Extração do soluto advindo da pasta saturada.



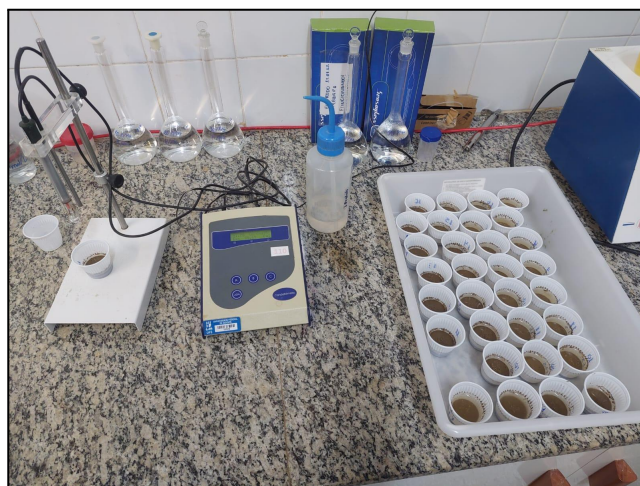
Fonte: Autor (2025).

3.3. CE pelo extrato solo-água

O método se baseia na dissolução de sais da amostra de solo em meio aquoso, para isso foi necessário medir com uso de cachimbo dosador a o volume de 10 mL de TFSA, em seguida a amostra é transferida para Erlenmeyers de 125 mL contendo 15, 20, 25 e 30 mL de água destilada, sendo assim na proporção de 1:1,5, 1:2, 1:2,5 e 1:3 (solo:água), respectivamente.

Os Erlenmeyers foram agitados por 30 min em mesa agitadora seguida de repouso para decantação, após esse período, o sobrenadante foi separado do sólido e armazenado em copo de café de 50 mL para análise em condutivímetro de bancada (Figura 4).

Figura 4: Análise de CE das diluições em condutivímetro de bancada.



Fonte: Autor (2025).

3.4. Análise estatística e determinação da curva de calibração

Os dados obtidos foram submetidos a análises de normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), ACP e correlação de Spearman utilizando os programas PAST e JAMOV, Box-plot e modelo correlacionado realizados em R. Os dados foram correlacionados entre o método padrão e as curvas com diferentes diluições.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados obtidos neste estudo possibilitou avaliar a eficiência das diferentes proporções solo:água em comparação ao método de referência da pasta saturada, considerado padrão na determinação da condutividade elétrica do solo.

Os resultados obtidos pela submissão dos dados brutos a testes estatísticos demonstraram não haver uma distribuição normal dos dados, considerando um nível de significância de 0,05 (Tabela 1). Portanto, os dados foram considerados como não normais, inferindo o uso de testes de correlação baseados em ranks e testes não paramétricos. O fator para determinar a parametricidade pode estar relacionado a valores discrepantes de condutividade, determinados na análise da pasta saturada.

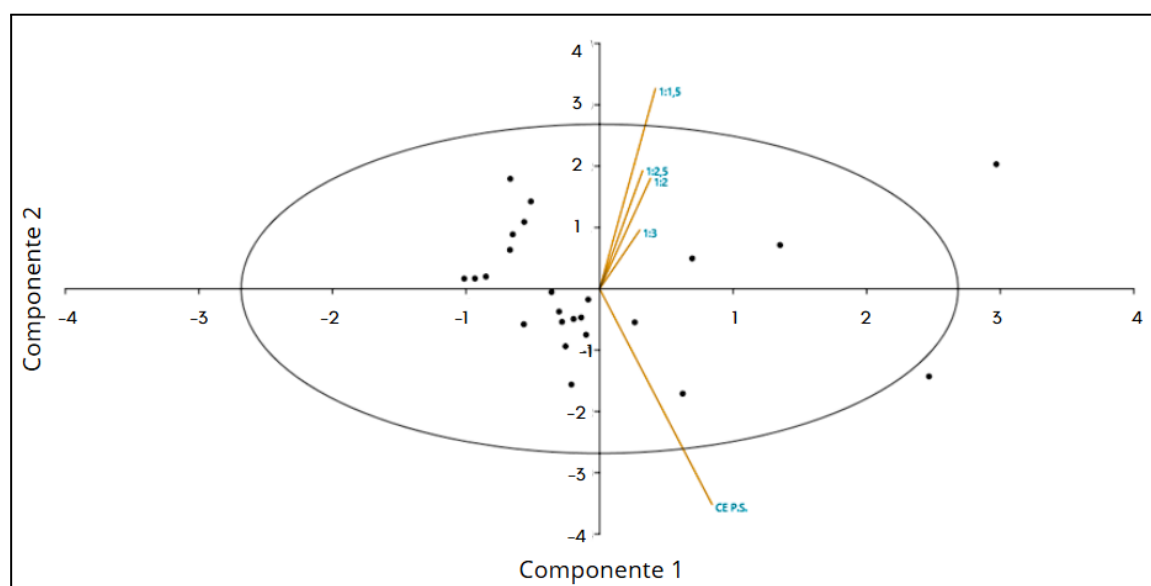
Tabela 1: Teste de normalidade de Shapiro-Wilk considerando 5% de significância.

	CE P.S.	1:1,5	1:2	1:2,5	1:3
N	24	24	24	24	24
Shapiro-Wilk W	0,8213	0,7175	0,749	0,7396	0,6537
p (normal)	6,71E ⁻⁰⁴	1,73E ⁻⁰⁵	4,81E ⁻⁰⁵	3,52E ⁻⁰⁵	2,61E ⁻⁰⁶

Ao analisar a figura 5, na qual os tratamentos foram avaliados através do método do Componente Principal (ACP), na qual todas as variáveis são analisadas simultaneamente, onde é possível determinar que os tratamentos de extrato água-solo estão correlacionados entre si devido à distância entre os valores das amostras (tamanho das setas), porém não explicam a variância dos resultados da pasta saturada.

Os componentes 1 e 2 (CE P.S.; 1:1,5) explicam em 98,8 % a variância dos dados. As diluições de 1:2, 1:2,5 e 1:3 não diferem entre si. Tavares e Freire (2013), citam que para monitorar o manejo do solo, recomenda-se determinar a condutividade elétrica pela diluição solo:água, preferencialmente 1:2,5, por ser a mesma utilizada para pH, mais econômica e permitir maior número de análises ao longo do tempo e em diferentes locais.

Figura 5: Análise de Componente Principal. (ACP)

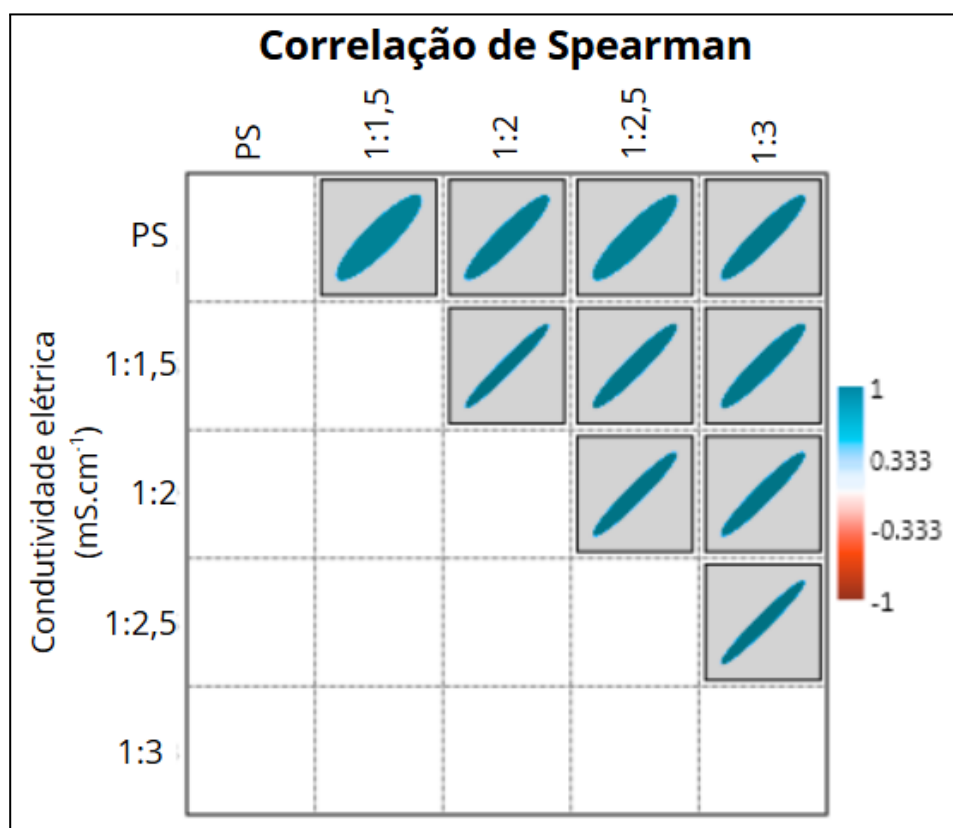


Fonte: Autor (2025).

Conforme apontam Brady e Weil (2008), utilizam-se, em alguns casos, extratos nas proporções 1:1, 1:2 ou 1:5. O extrato 1:1 tende a se aproximar das condições da pasta saturada em determinados solos argilosos. Contudo, é importante considerar que não apenas a concentração, mas também a composição iônica desses extratos, pode ser influenciada pela relação água/solo.

Os dados ao serem analisados no modelo de correlação de Spearman utilizam a proximidade par-a-par entre as variáveis, determinando a direção de correlação e força da mesma, utilizado devido aos dados não serem gaussianos. Demonstra que há uma correlação positiva entre todos os tratamentos (Figura 6), ou seja, os valores tendem a crescer em uma determinada proporção à medida que outro valor cresce.

Figura 6: Análise dos dados em matriz pelo método de correlação de Spearman.



Fonte: Autor (2025).

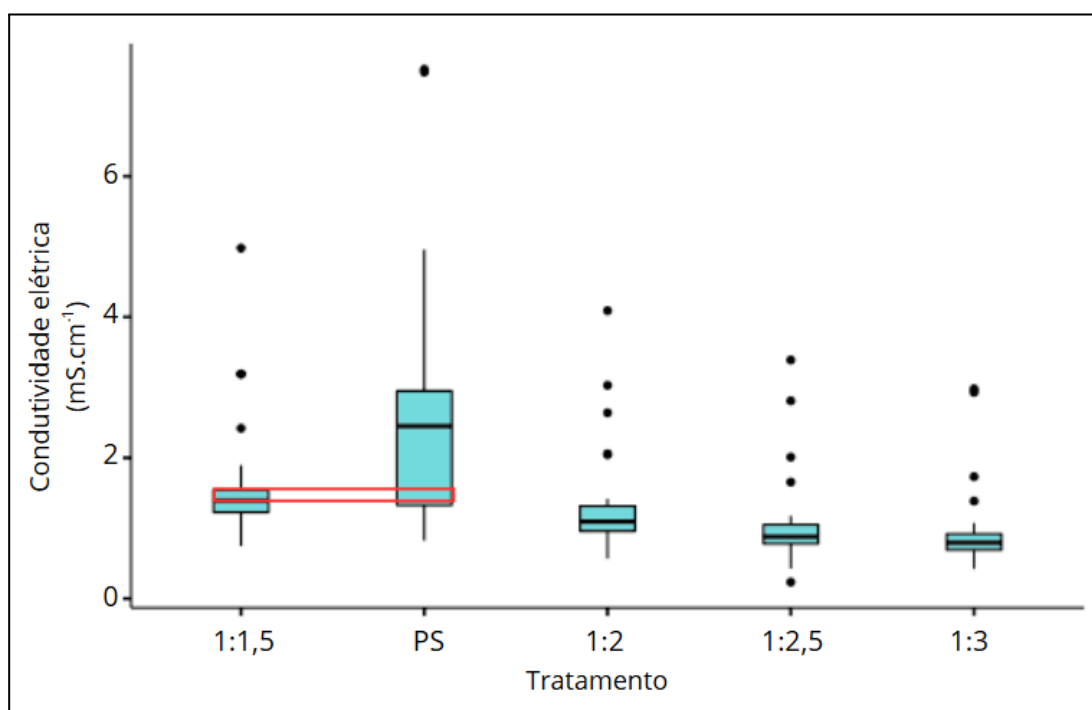
De acordo com Hardie & Doyle (2012), a determinação da salinidade do solo por meio da solução 1:5 tem sido amplamente empregada na Austrália, em razão da

existência de uma base de dados sistematizada, que possibilita comparações confiáveis entre diferentes tipos de solos naquele país. De forma semelhante, Pereira et al. (1981), ao estudarem solos afetados por sais no nordeste brasileiro, verificaram elevada correlação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) e a da solução 1:5 ($CE_{1:5}$), obtendo um coeficiente de determinação bastante elevado ($R^2 = 0,99$).

Esses resultados indicam que, assim como na Austrália, no contexto brasileiro o uso da solução 1:5 pode ser uma alternativa eficiente para estimar a CE_{es} , desde que haja respaldo em estudos regionais que validem a metodologia.

Ainda que os tratamentos não possuam significância estatística entre as diluições e a pasta saturada, entre a PS e o extrato 1:1,5 há concomitância (Figura 7) em suas dimensões de valores, onde o 3º quartil do tratamento 1:1,5 está em concordância com o 1º quartil do tratamento PS, ou seja 75% dos valores de 1:1,5 se igualam, estatisticamente, com 25% dos valores da PS, com isso gerando uma possível correlação de fatores de escala para os tratamentos.

Figura 7: Gráfico em boxplot dos valores de CE dos tratamentos.

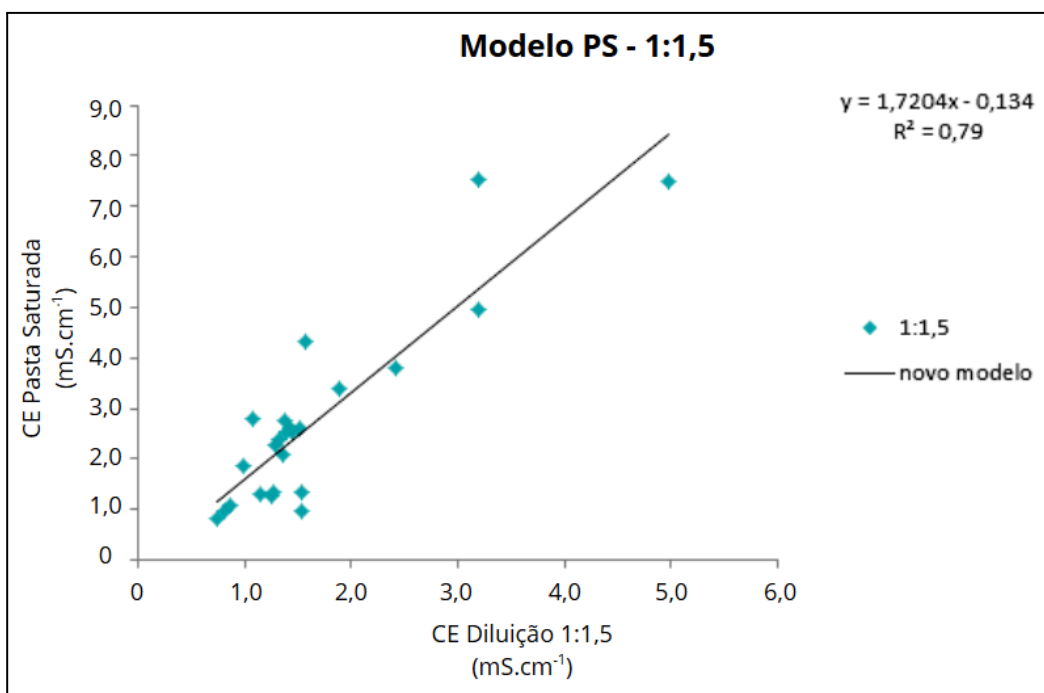


Fonte: Autor (2025).

Segundo os autores, vários parâmetros afetam os resultados e comparações entre o método 1:5 e pasta de saturação, mas o mais importante é a variação da textura dos solos e vários coeficientes são usados para converter a CE_{1:5} para a CE_{es}

Ao gerar um modelo correlacionado entre a PS e a diluição (Figura 8), foi determinada uma curva de calibração, obtendo-se a equação $CE_{ps} = 1,7204 \cdot CE_{1:1,5} - 0,134$ ($R^2 = 0,79$). Lima (2021), determinou em três amostras de solo, com uso de curvas lineares de diluição 1:5 e CE_{es} valores $R^2 = 0,70$; 0,69 e 0,67, onde cita que os valores medianos são devidos a desuniformidade dos valores da condutividade elétrica das amostras analisadas.

Figura 8: Modelo correlacionando os valores da diluição 1:1,5 com os da CE_{ps} .



Fonte: Acervo pessoal (2025).

Dantas et al. (2005), estimaram os níveis de salinidade utilizando ambiente controlado com irrigação com sais diluídos para a cultura do melão, obtiveram a equação $CE_{ps} = 8,094 \cdot CE_{1:2} + 0,0149$ ($R^2 = 0,9112$), com a CE sendo inversamente proporcional com a relação água-solo. Medeiros et al. (1996), ao estimarem a salinidade do solo em ambiente protegido com o cultivo de plantas floríferas e

olerícolas na região de Campinas-SP, obtiveram a equação $CEps = 0,02 + 1,55 CE1:2$, sendo o fator de diluição igual a 1,55.

5. CONCLUSÕES

As análises demonstraram correlação positiva entre os valores obtidos pelo método padrão e pelas diferentes diluições solo:água, evidenciando que as medições tendem a variar em conjunto.

Dentre as proporções testadas, a relação solo:água de 1:1,5 apresentou maior proximidade com os valores da pasta saturada, possibilitando a geração de uma curva de calibração com bom ajuste ($R^2 = 0,79$), o que indica potencial para substituir o método padrão em condições práticas de campo.

Apesar dos resultados promissores, sugere-se a realização de estudos complementares em diferentes classes de solos e condições de cultivo, a fim de validar a aplicabilidade do modelo em situações diversas e consolidar protocolos padronizados para o uso em campo.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, João; PAZ, Ana Marta; CASTANHEIRA, Nádia; GONÇALVES, Maria Conceição; CORTEZ, Nuno. Análise da influência do tempo de repouso na condutividade elétrica da pasta saturada de três solos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 46, 2023.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **The nature and properties of soils**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. vol. 13, pp. 662-710, 2008.

CASTRO, Francelita Coelho; SANTOS, Antonio Marcos dos. **Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida**. Mercator (Fortaleza), v. 19, p. e19002, 2020.

DANTAS, Daniel da Costa; MATOS, José de Arimatea de; MEDEIROS, José Francismar de; PORTO FILHO, Francisco de Queiroz; MIRANDA, Neyton de Oliveira. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo a partir de extratos 1:2 pelo método do eixo principal reduzido. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 351-356,, 2005

ESWAR, Deepthi; KARUPPUSAMY, Rajan; CHELLAMUTHU, Selvi. **Drivers of soil salinity and their correlation with climate change**. Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 50, p. 310-318, 2021.

FERNANDES, Amanda Cristiane Gonçalves; CAVALCANTI, Lúcio Flávio Moreira; MARTINS, Wanessa Alves; NASCIMENTO, Adriana de Souza; SILVA, Viviane Farias. **Ferramentas de identificação de salinidade do solo: um estudo acerca das técnicas eficazes no manejo agrícola.** 2020.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. Rome, p. 150. 2002.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Status of the World's Soil Resources, p. 620. 2015.

FREIRE, Maria Betânia Galvão dos Santos; PESSOA, Luiz Guilherme Medeiros; GHEYI, Hans Raj. **Métodos de análises químicas para solos afetados por sais** (2016). In: GHEYI, Hans Raj; DIAS, Nildo da Silva; LACERDA, Claudivan Feitosa de; FILHO, Enéas Gomes. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 504 p. 2016.

GHEYI, Hans Raj; DIAS, Nildo da Silva; LACERDA, Claudivan Feitosa de; FILHO, Enéas Gomes. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados.** INCTSal, Fortaleza, v. 2 p. 504. 2016.

GONÇALVES, Maria Conceição; MARTINS, J. C.; RAMOS, Tatiane Rogelio. A salinização do solo em Portugal. Causas, extensão e soluções. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 574-586, 2015.

GONÇALVES, Maria Conceição, CASTANHEIRA, Nádia, FARZAMIAN, M., PAZ, Ana Marta, RAMOS, Tatiane Rogelio; ALEXANDRE, Carlos. Evolução da salinidade do solo no perímetro de rega do Roxo. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 45, n. 4, 2022. GUARÇONI M, A.; DA SILVA, J. G. F. **Solos afetados por sais e qualidade da água para irrigação.** 2013.

HARDIE, Marcus & DOYLE, Richard, Plant Salt Tolerance: Methods and Protocols, Methods and Molecular Biology, vol. 913,

HOLANDA, Francisco Sandro Rodrigues; MARCIANO, Claudio Roberto; PEDROTTI, Alceu; AGUIAR, Jason Franca de; SANTOS, V. P. **Recuperação de áreas com problemas de salinização. Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 210, p. 57-61. 2001.

LIMA, Thaise Alves de. **Determinação da condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação do solo a partir da CE em extratos solo/água na relação 1:5.** TCC (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, PE, 22 f., 2021.

MEDEIROS, José Francismar de. Método alternativo de campo para avaliar a salinidade do solo em estufa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996, Bauru. Anais...Bauru: SBEA, 1996.

MOLIN, José Paulo; GIMENEZ, Leandro M.; PAULETTI, Volnei; SCHMIDHALTER, Urs; HAMMER, Jens. **Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 420 - 426, 2005.

MOLIN, José Paulo; RABELLO, Ladislau Marcelino. **Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo**. Engenharia Agrícola, v. 31, p. 90-101, 2011.
OLIVEIRA, Maurício de. **Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais**. 1997.

OLIVEIRA, Francisco de A.; MEDEIROS, José F. de; DUARTE, Sérgio N.; SILVA JÚNIOR, Manoel J. da; CAMPELO, Charles M. **Calibração de extratores providos de cápsula porosa para monitoramento da salinidade e da concentração de íons**. Engenharia Agrícola, v.31, p.520 528, 2011.

PEDROTTI, Alceu; CHAGAS, Rogério Moreira; RAMOS, Victor Callegari; PRATA, Ana Paula do Nascimento; LUCAS, Ariovaldo Antônio Tadeu; SANTOS, Priscila Barbosa; Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEREIRA, F. A. M.; FERNADES, M. B.; ETCHEVERS, J. D. & GHEYI, H. R. Efeito da relação solo-água na condutividade elétrica. **Agropecuária Técnica**, v.2, p.148-154, 1981.

PEREZ-MARIN, Aldrin Martin; CAVALCANTE, Arnóbio de Mendonça Barreto; MEDEIROS, Salomão Sousa de; TINOCO, Leonardo Bezerra de Melo; SALCEDO, Ignacio Hérnan. **Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica?** Parceria estratégica, v.17, n.34, p. 87-106, 2012.

QUEIROZ, José Elenildo; GONÇALVES, Antonio Carlos; SOUTO, Jacob Silva; FOLEGATTI, Marcos Vinicius. **Avaliação e monitoramento da salinidade do solo**. (1997). In: GHEYI, Hans Raj; DIAS, Nildo da Silva; LACERDA, Claudivan Feitosa de; FILHO, Enéas Gomes. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 504 p. 2016.

RABELLO, Ladislau Marcelino. **Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, p. 19. 2009.
RIBEIRO, M. R. **Origem e classificação dos solos afetados por sais**. In: GHEYI, Hans Raj.; DIAS, Nildo da Silva; LACERDA, Claudivan Feitosa de (Orgs.) Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, p.12-19. 2010.

RATH, Kristin M.; ROUSK, Johannes. Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: a review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 81, p. 108-123, 2015.

RICHARDS, Lorenzo Adolf. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, USDA, Agriculture Handbook 60, 160p. 1954.

RHOADES, J.D.; MANTEGHI, N.A.; SHOUSE, P.J.; ALVES, W.J. Estimating Soil Salinity from Saturated Soil-Paste Electrical Conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 2, p. 428-433. 1989.

ROCHA, Marlon Gomes da; SANTOS, Luiz Gustavo Ramos dos; PEQUENO, Roniedson Fernandes da Silva; OLIVEIRA, Pablo Teixeira Leal de; SOUSA, José Sebastião Costa de. **Efeito da salinidade do solo nas leituras de umidade realizadas com sensor resistivo**. Jornada de Iniciação Científica e Extensão, v. 18, n. 1, 2023.

SOUZA, Edivan Rodrigues de; FREIRE, Maria Betânia Galvão dos Santos; CUNHA, Karina Patrícia Vieira da; NASCIMENTO, Clístenes Williams Araújo do; RUIZ, Hugo Alberto; LINS, Cíntia Maria Teixeira. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 82, p. 20-27, 2012.

SOUZA, Edivan Rodrigues de; MELO, Hidelblandi F. de; ALMEIDA, Brivaldo G. de; MELO, Diego V. M. de. Comparação de métodos de extração da solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 510-517, 2013.

TAVARES, Silvio Roberto & FREIRE, Marco José. Comparação de métodos de extração da solução do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.5, p.510-517,. 2013.

TEIXEIRA, Paulo César; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

APÊNDICES

Quadro com valores brutos das análises de CE para as amostras nos diferentes tratamentos.

Amostra	CE E.A-S. (mS/cm)					
	CE P.S.	1:1,5	1:2	1:2,5	1:3	Novo modelo
1	1,296	1,142	0,961	0,788	0,665	1,831
2	1,261	1,253	0,989	0,834	0,703	2,022
3	0,969	0,815	0,566	0,572	0,480	1,267
4	0,822	0,750	0,583	0,425	0,420	1,156
5	1,337	1,279	1,099	1,026	0,856	2,066
6	1,343	1,533	1,159	0,990	0,883	2,503
7	2,277	1,293	1,007	0,855	0,777	2,090
8	1,102	0,861	0,716	0,619	0,520	1,347
9	2,610	1,436	1,170	0,917	0,819	2,336
10	2,380	1,329	1,010	0,791	0,698	2,152
11	0,960	1,536	1,216	0,813	0,726	2,509
12	2,810	1,081	0,866	0,755	0,672	1,726
13	4,320	1,570	2,046	1,176	1,075	2,567
14	7,520	3,190	3,030	2,810	2,930	5,354
15	2,550	1,456	1,088	0,234	0,771	2,371
16	2,760	1,386	1,165	0,902	0,809	2,250
17	3,820	2,420	2,058	1,655	1,385	4,029
18	1,861	0,994	0,782	0,625	0,591	1,576
19	2,610	1,526	1,279	1,021	0,899	2,491
20	2,520	1,398	1,066	0,904	0,772	2,271
21	7,480	4,980	4,090	3,390	2,980	8,434
22	3,380	1,896	1,420	1,122	0,980	3,128
23	2,080	1,356	0,947	0,848	0,837	2,199
24	4,960	3,190	2,640	2,010	1,732	5,354
média	2,710	1,653	1,373	1,087	0,999	2,710
mediana	2,450	1,392	1,094	0,878	0,793	2,261

Análise de correlação de Spearman entre valor da correlação (diagonal esquerda) e nível de significância da correlação (diagonal direita).

	CE P.S.	1:1,5	1:2	1:2,5	1:3
CE P.S.		6,58E-09	3,88E-11	1,36E-09	1,39E-11
1:1,5	0,88879		8,37E-16	5,95E-13	5,02E-12
1:2	0,93154	0,97469		4,80E-14	1,33E-13
1:2,5	0,90429	0,95361	0,96325		9,00E-16

1:3	0,9378	0,94345	0,95963	0,97452
------------	--------	---------	---------	---------

Análise descritiva do Teste da Componente Principal.

PC	Fator de escala	% variância
CE P.S	5,61002	95,181
1:1,5	0,221943	3,7655
1:2	0,038243	0,64884
1:2,5	0,014638	0,24835
1:3	0,009208	0,15623

Análise descritiva do teste de correlação de Spearman.

	CE P.S.	01:01,5	01:02	01:02,5	01:03
CE P.S.		6,58E-09	3,88E-11	1,36E-09	1,39E-11
01:01,5	0,88879		8,37E-16	5,95E-13	5,02E-12
01:02	0,93154	0,97469		4,80E-14	1,33E-13
01:02,5	0,90429	0,95361	0,96325		9,00E-16
01:03	0,9378	0,94345	0,95963	0,97452	

Estatística descritiva dos tratamentos

Estatística Descritiva								
	TIPO	N	Média	Erro-pa drão	Mediana	Desvio- padrão	Mínimo	Máximo
condutividade	1:1,5	24	1.653	0.193	1.392	0.944	0.750	4.98
	CE P.S.	24	2.709	0.373	2.450	1.828	0.822	7.52
	1:2	24	1.373	0.171	1.094	0.838	0.566	4.09
	1:2,5	24	1.087	0.147	0.878	0.721	0.234	3.39
	1:3	24	0.999	0.135	0.793	0.663	0.420	2.98