Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

Editores Técnicos

Paulo Ricardo Santos Cerqueira
Claudivan Feitosa de Lacerda
Gherman Garcia Leal de Araujo
Hans Raj Gheyi
Welson Lima Simões

AGRICULTURA IRRIGADA EM AMBIENTES SALINOS

Brasília, DF
Codevasf
2021

© 2021 Codevasf

É permitida a reprodução de dados e informações contidas nessa publicação, desde que citada a fonte.

Disponível em: https://www.codevasf.gov.br/Plone/acesso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha → Catálogo on-line

Disponível também em: https://www.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha/publicacoes

A Webinar "Agricultura irrigada em Ambientes Salinos" pode ser vista em: https://www.youtube.com/watch?v=y6cfXm6Fit4&t=42s

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – Codevasf
SGAN 601 – Conj. I – Ed. Deputado Manoel Novaes
CEP 70.830-019 Brasília - DF

Capa
Frederico Celente
Paulo Ricardo Santos Cerqueira

Fotos da capa
Gherman Garcia Leal de Araujo (Embrapa Semiárido)
Acervo Codevasf

Projeto gráfico
Nilva chaves

Normalização bibliográfica
Nilva Chaves
Diana Augusta Formiga da Luz

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Agricultura irrigada em ambientes salinos / editores técnicos, Paulo Cerqueira *et al.* – Brasília : Codevasf, 2021.
363 p : il.

ISBN 978-65-88380-06-2 - eBook

1. Agricultura biossalina. 2. Planta halófita. 3. Sustentabilidade. 4. Drenagem agrícola. 5. Solo e água - monitoramento. 6. Região semiárida. I. Lacerda, Claudivan Feitosa de. II. Araujo, Gherman Garcia Leal de. III. Gheyi, Hans Raj. IV. Simões, Welson Lima. V. Codevasf.

CDU: 631.587

CAPÍTULO 1

Estratégias metodológicas para o monitoramento e espacialização da salinidade e da sodicidade dos solos em projetos de irrigação

Paulo R. S. Cerqueira, A. M. Salviano, Tatiana A. Taura, Nelci Olszevski, Vanderlise Giongo, Tony J. F. da Cunha, Elson Fernandez

1.1 INTRODUÇÃO

A maior demanda na produção de alimentos em função do crescimento populacional mundial, com estimativa de alcançar 7 bilhões de pessoas em 2050 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2009), visando a segurança alimentar e o aumento da qualidade de vida das populações, torna premente a pesquisa por alternativas eficientes para a produção agrícola. Dentre estas, a agricultura irrigada se torna primordial por tornar viável a produção de alimentos em regiões antes pouco exploradas, em função do regime hídrico e do pouco conhecimento técnico disponibilizado, a exemplo do semiárido brasileiro. Porém, com a expansão das áreas irrigadas, cresce também a possibilidade de degradação dos recursos naturais, principalmente pela ocorrência de problemas relacionados à salinidade e à sodicidade do solo. Esses processos ocorrem principalmente em regiões áridas e/ou semiáridas, onde a precipitação anual não garante a lixiviação dos sais acumulados, podendo provocar problemas de ordem física, química e biológica no solo. Ainda, o uso intensivo dos solos na agricultura irrigada associado às excessivas aplicações de água, corretivos químicos e adubos minerais, bem como, arações profundas, gradagens e translocação de partículas físicas e orgânicas no perfil

(GHEYI; QUEIROZ; MEDEIROS, 1997), colabora ainda mais para alterações na qualidade geral do solo. O monitoramento dos impactos dos manejos realizados na agricultura irrigada sobre o solo é ponto primordial. A sua finalidade precípua é a avaliação e monitoramento contínuo de suas características e, caso necessário, a correção de eventuais alterações, reduzindo o risco de degradação, além do refinamento na aplicação de tecnologias de manejo do solo e da água. Segundo TAVARES (2015), citando estudos do Banco Mundial, os solos agrícolas do mundo vêm se degradando a uma taxa de 0,1 % ao ano, dados que corroboram com os estabelecidos pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Essa Organização aponta a perda de cinco milhões de hectares de terras aráveis por ano devido às práticas agrícolas aplicadas sem o devido cuidado, à secas e à pressão do crescimento populacional, além de inúmeras ações antrópicas de exploração inadequada dos recursos naturais (BALIEIRO; TAVARES, 2008; CODEVASF, 2014). Para a condução de sistemas sustentáveis de produção agrícola irrigada, ou seja, ambientalmente corretos, economicamente viáveis e socialmente justos, trazendo melhoria de qualidade de vida para as famílias dos agricultores, são necessárias, dentre outras, avaliações constantes e detalhadas da salinidade e da sodicidade dos solos. Esse monitoramento visa conciliar o alcance da maior produtividade dos cultivos com resultados econômicos positivos e preservação dos recursos naturais. No entanto, a crescente expansão das atividades de agricultura irrigada sem a manutenção desses planos de monitoramento da qualidade do solo, podem promover degradação ambiental e insucessos econômicos e sociais. Os custos dos investimentos realizados pelos agricultores em projetos de agricultura irrigada são, geralmente, muito altos, sendo, portanto, imprescindível que o manejo intensivo da área agricultada leve em consideração a sua sustentabilidade, não só do ponto de vista agroeconômico como também socioambiental. O termo "Sustentabilidade" significa tornar as coisas permanentes, disponíveis ou duráveis,

assim, a busca do desenvolvimento sustentável em projetos irrigados significa discutir a permanência ou durabilidade da estrutura de funcionamento de todo o processo produtivo, onde cada elemento deve ser considerado prioritário na tomada de decisões, fazendo com que as ações sejam baseadas numa estratégia de "antecipar e prevenir" possíveis problemas (BASTOS, 2004; MERICO, 1996; ZHOU, 1998). O desenvolvimento sustentável também sugere que os recursos naturais sejam utilizados pelas gerações atuais, mas preservado-os para gerações futuras. Assim, visando a sustentabilidade dos sistemas agrícolas irrigados, o monitoramento da qualidade dos solos nos agroecossistemas deve englobar suas propriedades químicas, físicas, morfológicas e biológicas, de forma a associar suas alterações às práticas de manejo utilizadas. Para isso, podem ser utilizadas características qualitativas e quantitativas, visando fomentar a escolha de medidas educativas preventivas (custos menores) e, caso necessário, a implementação de medidas corretivas (custos mais elevados), evitando a instalação de processos de degradação, perdas ambientais, sociais e econômicas (CORDEIRO, 1988).

1.2 FUNDAMENTAÇÃO LEGAL

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (BRASIL, [2016]) no seu Capítulo VI – Do Meio Ambiente, define no Art. 225 que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Define, ainda, no § 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público: IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade; VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio

ambiente; § 3º As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados. Segundo a Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013 (dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação) (BRASIL, 2013) no seu artigo 36 incisos II e IV, colocam como obrigações do agricultor irrigante em Projetos públicos de Irrigação: Adotar práticas e técnicas que promovam a conservação dos recursos ambientais, em especial do solo e dos recursos hídricos, ademais deve colaborar com a fiscalização das atividades inerentes ao sistema de produção e ao uso do solo, prestando, em tempo hábil, as informações solicitadas às instituições demandantes. Ademais, para obtenção dos licenciamentos ambientais, na intenção de organizar o Estado para garantir os direitos ambientais previstos na constituição de 1981, a lei 6938/81 (BRASIL, 1981) criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, uma estrutura estatal de gestão ambiental descentralizada, formada por órgãos e entidades com atribuições e objetivos definidos. Para atender a renovação das licenças de operação alguns institutos do Meio Ambiente e Recursos Hídricos dos estados têm exigido, como condicionantes ambientais, a apresentação de um programa de monitoramento da salinidade e da sodicidade, bem como de sua qualidade física e química, visando definir e difundir aos agricultores programas de educação ambiental e difusão de tecnologias para o manejo adequado do solo e água por meio de práticas agrícolas adequadas.

A manutenção da qualidade do solo é a base de qualquer sistema de produção sustentável, pois este é responsável por diversos serviços ecossistêmicos e ambientais. Sua avaliação auxilia na determinação do status das funções do solo e na avaliação dos riscos associados às práticas de produção, principalmente em longo prazo, sendo que diversos resultados de pesquisas mostram o efeito negativo do uso inadequado do solo, nas suas propriedades (AZIZ; MAHMOOD; ISLAM, 2013;

SILVA; FELIZMINO; OLIVEIRA, 2015). Assim, conhecer a dimensão dessas alterações nos atributos do solo, causadas pelo cultivo agrícola, pode subsidiar a escolha de práticas de manejo que permitam manter ou incrementar a qualidade do solo, aumentando o rendimento das culturas, garantindo a sustentabilidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos do solo, como ciclagem de nutrientes, capacidade de armazenar água e de disponibilizar nutrientes para as culturas. Para isso, faz-se necessário a utilização de programas de monitoramento da qualidade do solo, ou seja, a avaliação, que pode ser contínua ou periódica, das suas características químicas, físicas e biológicas, escolhidas em função das características do sistema de produção e edafoclimáticas da região. A manutenção da qualidade do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, com custos mais elevados, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos. Por meio do monitoramento da qualidade do solo, além da identificação das áreas com impactos negativos provenientes de práticas de manejo inadequadas, é possível fazer estimativas de produtividade, monitorar mudanças na qualidade ambiental e auxiliar agricultores e agências governamentais a formular e avaliar políticas agrícolas de uso das terras (CONAMA, 2009).

1.3 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

Um Programa de Monitoramento de Solos deve ser fundamentado em dados previamente fornecidos pelos agricultores irrigantes (maiores interessados), integrados com instituições públicas ou privadas de desenvolvimento regional, de pesquisa e de ensino. Para o estabelecimento inicial do banco de dados devem ser resgatadas informações já existentes nas propriedades rurais e utilizadas no manejo das adubações dos cultivos. A partir deste banco inicial e das características da propriedade, devem ser estabelecidos os atributos do solo a serem monitorados, a

periodicidade, a profundidade de coleta, o número de amostras e a localização mais estratégica. Uma das técnicas de amostragem muito importante é a geoespacialização dos indicadores de qualidade referentes à salinidade e sodicidade dos solos, utilizando-se técnicas geoestatísticas e/ou imagens de satélites. Esses resultados visam orientar o trabalho de planejamento da extensão rural, além de fornecer e difundir, entre os agricultores da região, as recomendações técnicas de manejo do solo e água que mitiguem os impactos negativos do sistema de produção avaliado. A instituição que irá gerir o banco de dados deverá ser escolhida em consenso entre os participantes do programa de monitoramento.

1.4 PROCESSOS ENVOLVIDOS NA SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO DOS SOLOS: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

A agricultura irrigada nas regiões áridas e semiáridas tem o elemento sódio como um inconveniente muito contundente, tanto pela fitotoxicidade, quando presente em excesso na solução do solo, como pela sua ação de dispersão das argilas, reduzindo a quantidade e a estabilidade dos agregados do solo, e consequentemente, alterando propriedades físico-hídricas do solo. Dentre os impactos negativos do acúmulo de sódio no solo podemos citar a baixa permeabilidade reduzindo a infiltração e a baixa condutividade hidráulica e, consequentemente o armazenamento da água para posterior suprimento reduzindo o armazenamento da água no solo para posterior suprimento às raízes, afetando o rendimento dos cultivos e a renda dos agricultores (AYERS; WESTCOT 1989; AMARAL, 2011, p. 55). Em locais de clima semiárido é comum a ocorrência de solos com elevadas concentrações de sais, sendo que alguns deles apresentam-se salinizados, independentes da ação antrópica, ou seja, são decorrentes de processos naturais. Isso ocorre quando as condições do ecossistema são propícias,

seja pela natureza do material de origem (rochas ricas em sais), pelas altas taxas de evapotranspiração potencial e pelo déficit hídrico em, pelo menos, uma parte do ano; pela drenagem deficiente no perfil do solo; pelas águas subterrâneas enriquecidas por sais e pela posição do solo na paisagem. Assim, a salinização pode ocorrer na presença de um ou de vários destes fatores associados. A concentração salina da solução do solo antes da ação antrópica, é definida como salinização primária e seus efeitos dependem basicamente das condições pedoclimáticas. Por outro lado, a salinização pode ocorrer também devido ao manejo inadequado do solo e da água pelos agricultores, definida assim como salinização induzida ou salinização secundária. Os processos de salinização e/ou sodificação secundária podem ocorrer em uma ou mais das seguintes condições: uso de solos já salinizados de origem; uso de solos rasos; uso não eficiente da água na irrigação; uso de água de irrigação com alto teor de sais; elevação do nível de água subterrânea e/ou do lençol freático possibilitando a ascensão de sais das camadas profundas; adição de sais ao solo pelo uso de grandes quantidades de fertilizantes químicos; ausência ou deficiência de sistemas de drenagem nos projetos de agricultura irrigada; perda de água por infiltração nos canais e reservatórios e/ou acumulação de água de irrigação nas partes mais baixas do terreno (GHEYI; QUEIROZ; MEDEIROS, 1997; LIMA JÚNIOR; SILVA, 2010; SANTOS, 1995). Embora, sob condições naturais, a intemperização dos minerais primários seja a fonte principal de quase todos os sais solúveis no solo, a fonte direta desses sais em áreas irrigadas é a própria água usada na irrigação e/ou o lençol freático (RICHARDS, 1954). Assim, mesmo em solos com boas características e com adoção de práticas conservacionistas adequadas, o processo de salinização pode acontecer quando há o manejo inadequado da água de irrigação. Nesse sentido, por exemplo, uma água considerada de boa qualidade com condutividade elétrica de 0,75 dS m^{-1} (deciSiemens por metro), intermediária entre as classes C1 e C2 de salinidade, quando aplicada num volume anual de

20.000 m^3 ha^{-1}, que corresponde ao requerido de culturas como acerola, adiciona ao solo cerca de 10 toneladas de sais por ano (SMEDEMA; SHIATI, 2002). Em áreas com drenagem deficiente, o processo de salinização poderá ser acelerado. Na realidade, a concentração de sais nos solos irrigados apresenta relação direta com a precipitação pluviométrica total anual, com as características físicas do solo e com as condições de drenagem. Sob condições favoráveis, esses sais poderão voltar ao rio ou ao aquífero de origem (PEREIRA; MATIAS FILHO; ANDRADE, 1986; BEN-HUR *et al,* 2001). Se o manejo é deficiente, se não existe fração de lixiviação e de drenagem, naturalmente haverá um acúmulo de sais que, em médio prazo, pode comprometer a sustentabilidade dos cultivos irrigados. Na medida em que o conteúdo total de sais aumenta, os problemas do solo e das culturas se agravam, o que requer o uso de práticas especiais de manejo, para manter rendimentos aceitáveis. Isto ocorre em razão da elevação do potencial osmótico da solução do solo, por efeitos tóxicos dos íons específicos e alteração das condições físicas e químicas do solo (LIMA, 1998). Desta forma, o excesso de sais dissolvidos na solução do solo reduz a disponibilidade da água para as plantas, pelo efeito osmótico, reduz a qualidade físico-hídrica do solo, pela capacidade dispersante do sódio, afetando a produtividade e a rentabilidade das culturas. Esta redução pode alcançar uma magnitude tal que as raízes das plantas não recebem suficiente água entre as irrigações. Ocorre toxicidade de íons específicos de sódio, cloreto e boro contidos no solo ou na água que se acumulam nas plantas em concentrações consideradas fitotóxicas, reduzindo os rendimentos das culturas mais sensíveis, bem como a qualidade dos produtos. O aparecimento de manchas nas frutas ou na folhagem, causados pela salinidade, prejudicam a comercialização dos produtos e reduzem seu valor de mercado. Além disso, a corrosão excessiva dos equipamentos de irrigação aumenta os custos de manutenção e reparos. O excesso de alguns

elementos químicos na solução do solo pode ainda deprimir a absorção de outros, causando desbalanços nutricionais e consequente queda de produtividade.

1.5 MONITORAMENTO DA SALINIDADE E DA SODICIDADE DO SOLO: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

O monitoramento da salinidade e da sodicidade dos solos requer a aplicação de técnicas adequadas de amostragem, coleta de dados no campo, avaliação de parâmetros, análise e difusão dos dados, análises das amostras para obtenção dos indicadores escolhidos, análise do banco de dados, conforme valores de referência de qualidade pré-definidos, e difusão dos resultados. A avaliação tem como objetivo identificar os fatores que contribuem e/ou estão contribuindo para aumentar o grau de salinidade e sodicidade dos solos, definir um sistema de amostragem adequado e classificar os resultados conforme a magnitude dos dados. Uma das classificações da concentração de sódio mais utilizadas é a do Laboratório de Salinidade dos EUA, que utiliza a condutividade elétrica (CE), a percentagem de saturação por sódio trocável (PST) e o pH (H). Os solos são classificados como: normais (não salinos) (CE < 4, PST < 15 e pH < 8,5); Salinos (CE > 4, PST < 15 e pH < 8,5); Salinos-sódicos (CE > 4, PST > 15 e pH < 8,5) e Sódicos (CE< 4, PST > 15 e pH > 8,5). A variável "CE" corresponde à condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, medida em dS/m; PST (PST=100 Na/ T) é a percentagem de saturação por sódio em relação à capacidade de troca de cátions (T=Ca+Mg+K+Na+H+Al). Outra classificação utilizada, quanto à sodicidade, define a sodicidade em cinco classes distintas: Não Sódicos (PST<7); Ligeiramente Sódicos (7<PST<10); Medianamente Sódicos (10<PST<21); Fortemente Sódicos (21<PST<30) Excessivamente Sódicos (PST>30). (AMARAL, 2011; PIZARRO, 1978).

No Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2018) também são utilizadas algumas classificações relativas à salinidade e sodicidade. O solo tem

caráter Sálico quando a CE for igual ou maior que 7 dS/m (a 25 °C), em alguma época do ano; Salino quando a CE > 4 dS m^{-1} e < 7 dS/m (a 25 °C), em alguma época do ano (ESTADOS UNIDOS, 1951, 1954; EMBRAPA, 2018); Sódico é usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentem PST ≥ 15% em alguma parte da seção de controle que defina a classe (ESTADOS UNIDOS 1954; 1999; EMBRAPA, 2018) e Solódico é usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentem 6% <PST> 15% em alguma parte da seção de controle que defina a classe (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015; EMBRAPA, 2018).

Todos os sistemas de classificação apresentados utilizam apenas as variáveis CE, PST e pH, sendo necessária a determinação em laboratório das características abaixo listadas e descritas, sendo importantes na composição do plano de monitoramento.

Condutividade Elétrica (CE): A condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é uma medida indireta da salinidade do meio, estando relacionada aos constituintes iônicos totais na solução, ou seja, com a soma de cátions ou ânions determinados quimicamente e com os sólidos dissolvidos. A CE de um solo pode ser determinada por meio de um extrato de uma pasta de solo saturado ou em suspensão mais diluída. Porém, para preparação da pasta de saturação, há necessidade de um bom adestramento técnico e certas precauções com a textura do solo. (AMARAL, 2011; LIMA JÚNIOR; SILVA, 2010).

Teores de cátions trocáveis: Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} nas amostras de TFSA são determinadas por espectrofotometria de absorção atômica após extração com KCl 1 mol L^{-1} e de K^{+} e Na^{+} por fotometria de chama após extração por Mehlich-1. Esses resultados serão utilizados para o cálculo da CTC e da PST.

Acidez potencial (H+Al): Determinada por titulometria de neutralização com NaOH após extração por acetato de cálcio tamponado a pH 7,0. Esse resultado será utilizado no cálculo da CTC e da PST.

Capacidade de Troca de Cátions (Valor T): É a quantidade total de cátions retida por unidade de peso do solo e representa o poder que o solo tem de reter em sua matriz os cátions necessários ao desenvolvimento da planta, impedindo a perda por lixiviação profunda (T=Ca+Mg+K+Na+H+Al) (AMARAL, 2011).

Porcentagens de Sódio Trocável (PST): Porcentagem de sódio trocável (PST), representa a porcentagem do sódio em relação aos demais cátions adsorvidos no complexo sortivo do solo (T). Seu valor é calculado pela Equação: PST=(Na/T) x 100

pH em água (1:2,5): O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de uma solução ou dispersão. No caso do solo, a faixa de pH considerada normal vai de 5,0 a 7,0. Valores fora dessa faixa podem criar desequilíbrios de nutrição ou induzir a elevação da concentração de íons tóxicos. O pH de uma solução aquosa é o logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio. É uma medida adimensional. O pH do solo é influenciado pela composição e natureza dos cátions trocáveis, composição e concentração dos sais solúveis e a presença ou ausência do gesso e carbonatos de cálcio e magnésio. (AMARAL, 2011; LIMA JÚNIOR; SILVA, 2010).

1.6 ETAPAS METODOLÓGICAS DE UM PROGRAMA DE MONITORAMENTO E ESPACIALIZAÇÃO DA SALINIDADE E SODICIDADE DOS SOLOS

Nesse item será listada uma sequência de ações e estratégias que, se colocadas em prática a contento, viabilizará um monitoramento da salinidade e

sodicidade dos solos em projetos irrigados que atenda aos interesses que se propõe.

1.6.1 Montagem da rede sociotécnica de participantes: diagnóstico

Nessa fase é realizada a identificação da atual situação ou do estado da arte do manejo dos solos e água praticados pelos agricultores. Para isso, deve ser verificada a situação da fertilidade do solo (teores de macro e micronutrientes, pH, Na, PST e CE) com o resgate de análises químicas e físicas realizadas ao longo do tempo. Ainda, a avaliação de quais as práticas de manejo foram e estão sendo realizadas para correções, adubações, manejo da matéria orgânica, avaliação do sistema de drenagem, avaliação dos sistemas de irrigação e de manejo da água. Devem ser consultados laboratórios regionais e identificadas instituições públicas e privadas de desenvolvimento regional, ensino e pesquisa, profissionais liberais, lideranças de comunidades, associações, cooperativas e agricultores que já possuam dados e realizam trabalhos de boas práticas em manejo de água e solo e da matéria orgânica. Este trabalho inicial visa obter um marco zero do monitoramento e difusão entre os agricultores da situação atual dos solos e identificação de experiências bem-sucedidas. O resgate junto aos agricultores de todos os laudos de análises laboratoriais realizadas visa à reconstituição do histórico de uso e da saúde do solo para composição de um banco de dados parametrizado, que ficará disponível a todos os envolvidos. As informações geradas a partir da análise do banco de dados subsidiarão a escolha das práticas de manejo do solo e da água a serem adotadas pelos agricultores, políticas públicas, o estabelecimento de parcerias público privadas para desenvolvimento de trabalhos técnico-científicos com Instituições de Ensino e de Pesquisa.

1.6.2 Montagem do banco de dados parametrizado

O custo referente às análises de solo para formação e alimentação do banco de dados é atribuído aos agricultores e representa um custo indireto, visto que as mesmas são realizadas para o planejamento da adubação dos cultivos. Em geral, os agricultores fazem uma amostragem de solo composta, nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, para determinação de características químicas como condutividade elétrica, sódio trocável, capacidade de troca de cátions, pH, fósforo, matéria orgânica, alumínio, magnésio, cálcio, potássio, sódio, H+Al, Boro, ferro, molibdênio, cobre, manganês e zinco. A densidade do solo, propriedade física de relevância para avaliação da compactação do solo, deve ser incluída entre as variáveis a serem determinadas em laboratório. Esses dados têm sido pouco explorados por falta de uma rotina de coleta, planilhamento parametrizado, análises, avaliação, espacialização e utilização para atendimento aos condicionantes ambientais e manejo da salinidade e sodicidade dos solos. Para início da montagem do banco de dados deve ser realizada uma reunião técnica participativa entre os vários atores envolvidos no processo: Agricultores, ATER, órgão ambiental, órgãos de desenvolvimento regional, agentes financeiros, instituições de Ensino e Pesquisa da região. O objetivo da reunião é o planejamento com definição de responsabilidades, objetivos e metas, de forma a garantir o envolvimento e comprometimento de instituições locais, a obtenção de contribuições e alinhamentos necessários para execução conjunta do programa de monitoramento no território.

1.6.3 Análises dos dados e espacialização no território

A avaliação do banco de dados, por meio de análises dos padrões de normalidade e utilização de padrões de referência de qualidade do solo, subsidiará o tipo e o grau de intervenção do manejo. Os resultados devem ser espacializados

no território e na grade fundiária, por meio de análise espacial com a utilização de técnicas de geoprocessamento e geoestatística. O Banco de Dados deve ser inserido no Sistema de Informações Geográficas, realizando a conversão dos pontos amostrados em formato vetorial. Sugere-se a aplicação de técnicas computacionais para a espacialização das variáveis (CE e PST) com aplicação de procedimentos estatísticos com o interpolador geoestatístico krigagem. Os dados geralmente são interpolados através dos semivariogramas com base nos dados amostrados para cada profundidade, e estimados por toda a área de estudo. Além disso, para a produção de mapas com alto grau de precisão, estudos preliminares devem ser feitos para definição do número mínimo de amostras necessárias, bem como para melhor distribuição dos pontos de coleta dentro da área a ser monitorada, garantindo assim a representatividade estatística da amostragem na área de estudo. Os planos de monitoramento também devem ser conduzidos com repetibilidade ao longo do tempo para avaliar de forma mais adequada a variabilidade espaço-temporal das áreas em estudo.

1.6.4 Difusão dos resultados e das recomendações de manejo da salinidade aos agricultores e instituições envolvidas

Realizar uma reunião conjunta com os atores envolvidos, uma vez por ano, visando apresentação dos resultados das análises referente à salinidade e sodicidade dos solos, bem como das recomendações de intervenção e alterações no manejo do solo e da água e no sistema de drenagem. Nessa mesma oportunidade, os agricultores receberão treinamento sobre técnicas de controle da salinidade e sodicidade dos solos (Quadro 1) e técnicas de drenagem. Para divulgação entre os agricultores das técnicas aos agricultores sugerem-se realizações de convênios com as Universidades locais e órgãos ambientais para estabelecimento de uma rotina de estágios de extensão de alunos de graduação e

pós-graduação. Ademais, sugere-se que os resultados das análises e recomendações de manejo sejam enviados aos agricultores, quando possível, via celular. Também pode ser montada uma rede de pontos focais, com acesso à internet, com a responsabilidade de disponibilizar as informações relativas ao monitoramento.

Quadro 1 - Principais ações preventivas e corretivas para difusão aos agricultores para manejo da salinidade e sodicidade dos solos.

Ações	Sódico	Salino	Sódico/ Salino
Preventivas	Capacitar o irrigante para o manejo correto da irrigação e da aplicação de fertilizantes; Monitorar a qualidade da água de irrigação; Manter drenos limpos e em funcionamento adequado; Realizar análises das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos e manejo da matéria orgânica; Medir produtividade dos cultivos por setores.		
Corretivas	Executar todas as ações preventivas; Aplicar corretivos, como calcário, gesso e enxofre elementar, de acordo com recomendação técnica para cada tipo de solo; Manejo de irrigação adequado; Utilizar variedades resistentes e tolerantes a sodicidade.	Executar todas as ações preventivas; Instalar ou reformar sistema de drenagem superficial e subterrâneo para drenar sais lixiviados e evitar a ressalinização por fluxo de água subterrânea ou lençol freático; Aplicar água em volume suficiente para dissolver e lixiviar os sais do solo; Utilizar variedades resistentes e tolerantes a salinidade.	Executar todas as ações preventivas; Executar as ações corretivas para solos sódicos e salinos.

1.7 ESTUDO DE CASO: MONITORAMENTO E ESPACIALIZAÇÃO DA SALINIDADE E DA SODICIDADE DOS SOLOS NOS PROJETOS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO NILO COELHO E MARIA TEREZA

Tendo em vista a importância social e econômica da atividade agrícola nas áreas dos projetos públicos de irrigação no semiárido brasileiro, são de fundamental importância para sustentabilidade, a avaliação e o monitoramento da qualidade dos solos por meio de indicadores químicos, físicos e biológicos relacionados ao processo de salinização ou sodicidade. Assim, no presente tópico será demonstrado como pode ser estruturada a atividade de monitoramento por meio do uso de técnicas de espacialização para geração de mapas de distribuição da CE e da PST nas áreas irrigadas, utilizando como exemplo dados coletados em dois perímetros irrigados. Aprofundando elementos de análise, a ferramenta pode ser muito útil para distinguir processos relacionados à salinização primária (de origem pedogenética) e secundária (de origem antrópica), avaliar o manejo da irrigação e funcionalidade da rede de drenagem e traçar estratégias de prevenção e/ou mitigação de curto, médio e longo prazo.

1.7.1 Informações gerais sobre os Projetos Públicos de Irrigação

Apresenta-se a seguir características dos projetos públicos de irrigação onde foram realizados estudos demonstrativos de análises que podem ser incorporados aos planos de monitoramento da salinidade e sodicidade dos solos, como proposto aqui.

1.7.1.1 Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho (SNC)

O projeto irrigado Senador Nilo Coelho localizado no Estado de Pernambuco, à margem esquerda do rio São Francisco, se estende desde a Barragem de Sobradinho, no município de Casa Nova - BA, até o município de Petrolina - PE, que possui cerca de 80 % da área no perímetro. Está localizado entre

as coordenadas geográficas de 09°20' e 09°18' de latitude sul e entre 40° 43' e 40° 25' de longitude oeste, com altitude de aproximadamente 420 m. A área do projeto é de 18.563 ha, sendo que os lotes familiares representam 67% da área (12.520 ha) e os lotes empresariais 33% da área com 6.043 ha. O projeto irrigado SNC está em funcionamento desde o ano de 1984 e seu acesso se dá pelas rodovias BR-407, BR-128 e BR-235 a partir de Petrolina, sendo as duas primeiras mais utilizadas. As distâncias são: Petrolina (PE): 10 km, Juazeiro (BA): 15 km, Recife (PE): 776 km, Salvador (BA): 610 km. O sistema de irrigação implantado é por aspersão e microaspersão tendo como fonte hídrica o rio São Francisco. Os principais cultivos agrícolas são uva, manga, acerola, coco, maracujá e banana. Podem ser encontrados, também, os cultivos de mandioca, milho e feijão. (CODEVASF, 2014).

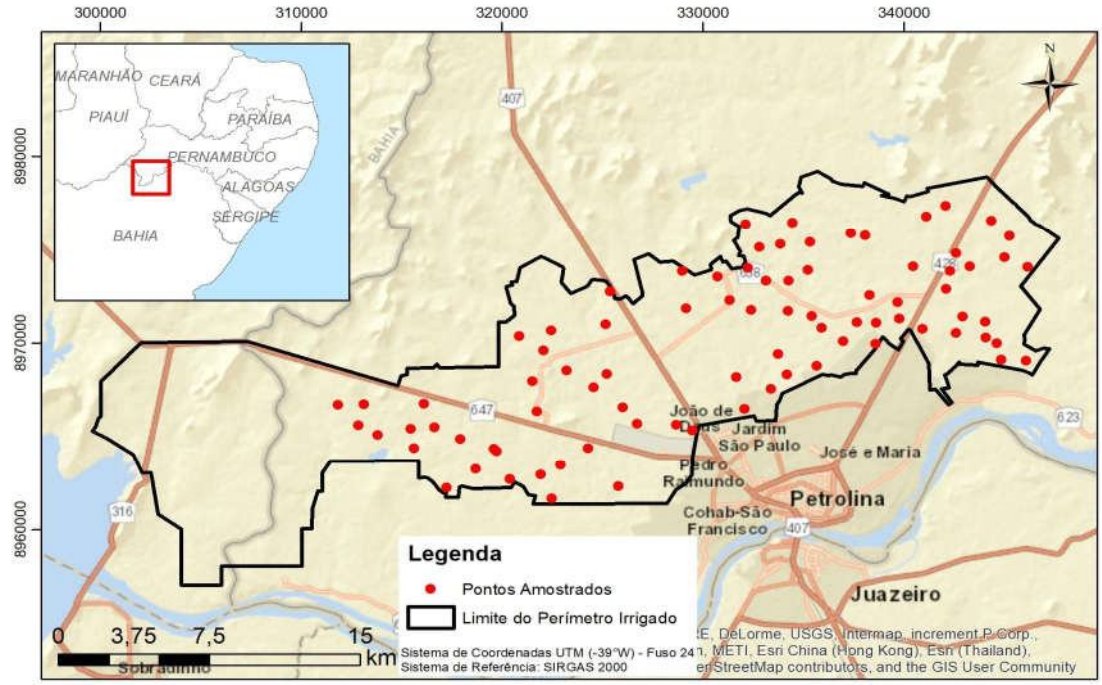
1.7.1.2 Perímetro Público de Irrigação Maria Tereza

O projeto irrigado Maria Tereza é uma extensão do Projeto Irrigado Senador Nilo Coelho e está localizado no estado de Pernambuco, à margem esquerda do rio São Francisco, município de Petrolina – PE, entre as coordenadas geográficas 09°07’ e 09°22’ latitude sul e entre 40°50’ e 40°56’ de longitude oeste, com altitude de 420 m. A extensão do Projeto Irrigado Maria Tereza é 5.446,83 ha, atendendo 48 grandes empresas, 20 pequenas e médias empresas e 550 pequenos produtores. Os lotes familiares ocupam 2.971,29 ha (54,6%) e os lotes empresariais 2.475,54 ha (45,4%). O acesso ao projeto irrigado Maria Teresa é realizado pelas rodovias BR-407 e BR 428, a partir de Petrolina. As distâncias ao projeto são: Petrolina (PE): 30 km, Juazeiro (BA): 45 km, Recife (PE): 776 km, Salvador (BA): 610 km. Os sistemas de irrigação implantados são por aspersão, microaspersão e gotejamento. A fonte hídrica para irrigação também é o Rio São Francisco e os cultivos agrícolas que predominam são a uva, a manga e a banana. (CODEVASF; 2014).

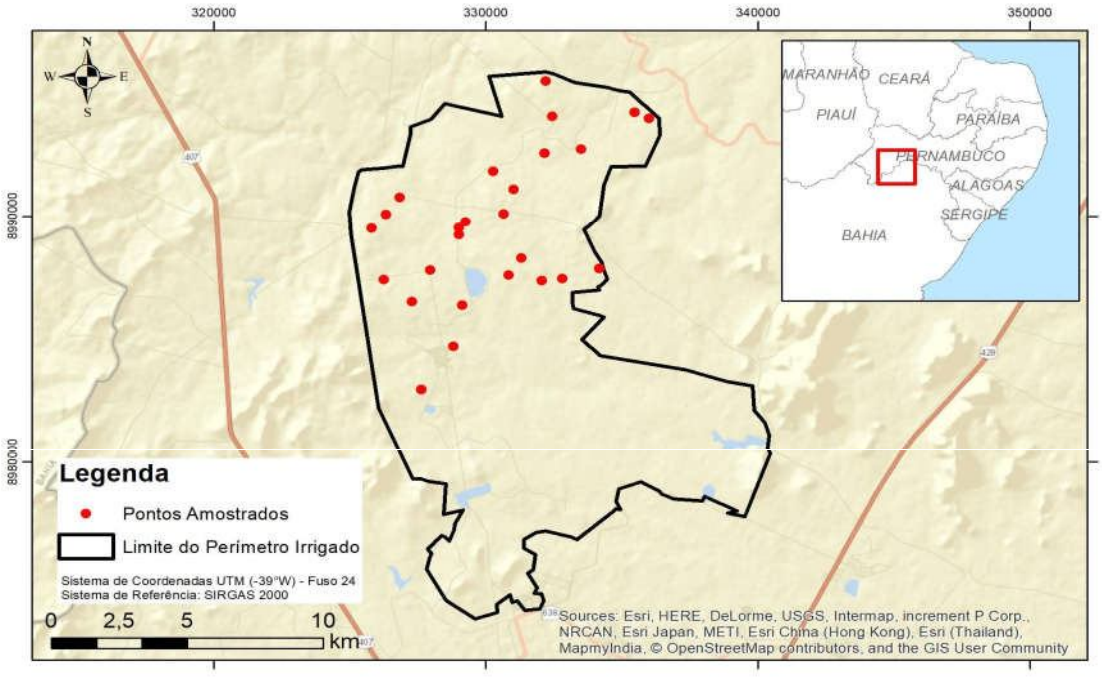
1.7.2 Metodologia

Para a elaboração demonstrativa das análises estatísticas e da espacialização da salinidade e da sodicidade dos solos em mapas, foi utilizada uma área de 13.793 ha (Figura 1). Utilizaram-se dados do banco de dados montado na campanha realizada em 2013 pela CODEVASF (2014), realizada em 111 lotes, 84 em Nilo Coelho e 27 em Maria Tereza, onde foram analisadas amostras de solos nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm, totalizando 2.220 amostras simples que compuseram 444 amostras compostas. Cada amostra composta foi resultante de cinco amostras simples, coletadas em diferentes pontos dos lotes nas quatro profundidades referidas e o ponto central de cada lote foi georreferenciado.

Como estratégia para elaboração da espacialização e para as análises estatísticas dos dados, se recorreu à expertise de técnicos que atuam no mesmo território onde estão inseridos os projetos públicos referidos e que fazem parte da Codevasf, da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e da Embrapa Semiárido.



(a)



(b)

Figura 1 - Mapa de localização geográfica dos projetos públicos de irrigação Senador Nilo Coelho e Maria Tereza com os pontos de amostragem.
a) Senador Nilo Coelho; (B) Maria Tereza.

Fonte: Adaptado de CODEVASF, 2014.

Como forma de avaliar a qualidade química do solo e determinar quais características químicas poderiam estar relacionadas com a salinidade do solo, foram determinadas pH em H_2O e em $CaCl_2$; teores de Ca^{2+}, de Mg^{2+}, de K^+, de Na^+, acidez potencial (H + Al) e condutividade elétrica no extrato de saturação (CE_{es}). A partir desses dados foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (T) e as porcentagens de saturação por bases (V) e por sódio (PST).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, análise de variância multivariada e à regressão linear múltipla, utilizando a CE como variável dependente e as características químicas do solo como variáveis independentes.

Para os resultados das variáveis CE e PST organizados em um banco de dados geográfico foram analisados sua variabilidade espacial por profundidade. Esta análise foi por meio da geoestatística utilizando-se de construção de variogramas com base na autocorrelação espacial destas variáveis entre os vizinhos. Após a verificação da correlação espacial, foi executada a interpolação pelo método krigagem. Por fim, foram gerados mapas representando a variabilidade espacial de cada variável por profundidade, e, para fins comparativos entre as profundidades de uma mesma variável, foi aplicada a mesma legenda de cores. As cores variam do verde menores valores encontrados nas amostras, e os vermelhos maiores valores. Todo o processo de análise, modelagem e construção dos mapas foi em um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) pela plataforma ArcMap da *Esri,* módulos *Geostatistical Analysis e Spatial Analysis* e ferramentas de cartografia. (GREGO *et al.*, 2011; MACHADO *et al.*, 2004; SILVA, *et al.*, 2013).

1.7.3 Resultados

A seguir são apresentados, para os dois projetos públicos utilizados no estudo de caso, os resultados das análises de solo efetuadas nas amostras em diferentes profundidades estudadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 (cm): análise da

variação da salinidade e da sodicidade do solo com as características químicas do solo; análise dos parâmetros estatísticos descritivos para os valores de CE (dS/m) e PST (%); equações lineares múltiplas para CE (dS/m) em função de características químicas das amostras de solo e a espacialização em mapa da condutividade elétrica (dS/m) e da PST (%) do solo.

1.7.3.1 Análise da variação da salinidade e da sodicidade e relação com as características químicas do solo

Os resultados da análise estatística descritiva dos dados de CE e PST e para as características químicas nas amostras de solo coletadas em diferentes profundidades nos Projetos Públicos de Irrigação Nilo Coelho e Maria Tereza podem ser observados nas tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

Para o Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho (Tabela 1), em geral, as médias de PST e CE foram baixas, não configurando riscos elevados de sodicidade e salinidade. A PST aumentou com a profundidade, sendo que o valor mínimo encontrado em todas as amostras analisadas foi 0,28 % na camada de 0-20 cm e o valor máximo de 12,10 % na camada de 60-80 cm. No entanto, deve-se ressaltar que 95,23% do total das amostras dessa profundidade apresentaram PST < 5 %. As médias da PST, por profundidade, foram 1,11; 1,26; 1,34 e 1,27 % para as camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. O comportamento da CE, em profundidade, foi contrário ao da PST, com valor mínimo encontrado em todas amostrado foi de 0,04 dS/m^{-1}, nas maiores profundidades, e o valor máximo de 7,25 dS/m na camada de 0-20 cm, com 96,43% das amostras analisadas para essa profundidade apresentando CE < 2 dS/m. Isso mostra a participação de outros íons, como o K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, cloretos, nitratos, sulfatos etc, na salinidade do solo e a importância da inclusão de outras variáveis nos planos de monitoramento, determinando-as também em amostras de solução do solo e/ou extrato de saturação (íons solúveis).

As médias de CE por profundidade foram 0,41; 0,21; 0,23 e 0,21 dS/m para as camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm respectivamente.

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos descritivos para os valores de CE (dS/m) e PST (%) em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Nilo Coelho, Petrolina-PE.

Variáveis	n	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV (%)	IF 1 (%)	IF 2 (%)	IF 3 (%)
		0-20 cm							
PST (%)*1	84	1,11	0,28	8,47	1,25	165,71	96,43	3,57	0,00
C.E. (dS/m)*2	84	0,41	0,07	7,45	0,89	456,00	96,43	2,38	1,19
		20-40 cm							
PST (%)	84	1,26	0,39	7,25	1,19	121,46	96,43	3,57	0,00
C.E. (dS/m)	84	0,21	0,05	1,30	0,23	180,09	100,00	0,00	0,00
		40-60 cm							
PST (%)	84	1,39	0,42	12,16	1,62	177,55	97,62	2,38	0,00
C.E. (dS/m)	84	0,23	0,04	1,46	0,30	277,42	100,00	0,00	0,00
		60-80 cm							
PST (%)	84	1,53	0,41	12,10	1,82	193,70	95,23	3,57	1,19
C.E. (dS/m)	84	0,21	0,04	1,47	0,24	210,44	100,00	0,00	0,00

* 1 IF1 CE<2 dS/m ; IF2 2<CE<4 dS/m; IF3 CE>4 dS/m

* 2 PST: PST<5 %; 15>PST>5 %; PST> 15 %

A variação dos parâmetros estatísticos descritivos para as características químicas das amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Nilo Coelho, por meio da média, valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação (CV), pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros estatísticos descritivos para as características químicas das amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho, Petrolina-PE

	n	Média	Valor mínimo	Valor máximo	Desvio padrão	CV (%)
pH (água)	336	6,30	3,60	8,40	0,94	14,95
pH ($CaCl_2$)	336	5,67	0,00	7,90	1,00	17,61
K^+	336	0,34	0,05	2,14	0,30	87,09
Ca^{2+}	336	1,89	0,20	7,50	1,11	58,49
Mg^{2+}	336	0,86	0,10	5,90	0,72	83,50
Na^+	336	0,06	0,02	0,64	0,08	146,38
Al^{3+}	335	0,07	0,00	1,90	0,21	318,44
H+Al	336	1,09	0,00	3,60	0,74	67,67
SB	336	3,15	0,53	13,52	1,94	61,52
t	336	3,22	0,79	13,52	1,90	58,86
T	336	4,24	1,29	14,82	1,91	45,01
CTCr	336	53,56	13,09	377,14	50,52	94,33
V	336	72,61	16,03	100,00	17,76	24,46
m	336	3,34	0,00	65,16	10,14	303,92
PST	336	1,32	0,28	12,16	1,49	112,97
M.O.	336	0,93	0,10	4,50	0,79	84,77
P	336	62,60	0,50	937,20	123,17	196,74
S	336	9,91	0,90	167,40	16,25	164,02
P-rem	336	55,99	30,20	69,60	7,11	12,70
C.E.	336	0,27	0,04	7,45	0,50	189,09
B	336	0,41	0,10	3,60	0,52	127,14
Cu	336	1,84	0,20	11,30	1,62	87,90
Fe	336	61,92	7,60	595,40	75,74	122,32
Mn	336	28,04	1,10	179,00	28,28	100,84
Zn	336	6,13	0,10	112,20	16,67	271,77
Argila	336	11,90	0,00	35,00	7,04	59,19

Para o Projeto Público de Irrigação Maria Tereza (Tabela 3), os níveis de sodicidade foram semelhantes aos do Nilo Coelho, enquanto a salinidade foi menor.

O valor mínimo de todas as amostras PST foi 0,35 % na camada de 0-20 cm e o valor máximo 12,25 % na camada 20-40 cm. Entretanto, 96,27% do total das amostras analisadas para essas profundidades apresentaram PST < 5 %. As médias da PST, por profundidade, foram 1,26; 1,87; 1,34 e 1,27 % para as camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. O comportamento da CE foi semelhante ao da PST, reduzindo com a profundidade com médias de 0,23; 0,23; 0,19 e 0,17 dS/m para as camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, respectivamente. O valor mínimo encontrado nas análises foi de 0,03 dS/m, na profundidade de 40-60 cm e o valor máximo de 1,05 dS/m na camada de 20-40 cm, sendo que 100% das amostras coletadas neste distrito apresentaram CE < 2 dS/m.

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos descritivos para os valores de CE (dS/m) e PST (%) em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Maria Tereza, Petrolina - PE

Variáveis	n	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV (%)	IF 1 (%)	IF 2 (%)	IF 3 (%)
	0-20 cm								
PST (%)*1	27	1,26	0,35	10,94	1,98	257,74	96,27	3,73	0,00
C.E. (dS/m)*2	27	0,23	0,06	0,76	0,18	98,95	100,00	0,00	0,00
	20-40 cm								
PST (%)	27	1,87	0,49	12,25	2,27	188,19	96,27	3,73	0,00
C.E. (dS/m)	27	0,23	0,04	1,05	0,24	218,50	100,00	0,00	0,00
	40-60 cm								
PST (%)	27	1,34	0,49	5,38	0,98	87,59	96,27	3,73	0,00
C.E. (dS/m)	27	0,19	0,03	0,74	0,16	117,84	100,00	0,00	0,00
	60-80 cm								
PST (%)	27	1,27	0,43	4,24	0,92	91,03	100,00	0,00	0,00
C.E. (dS/m)	27	0,17	0,04	0,80	0,17	137,25	100,00	0,00	0,00

IF: intervalo de frequência (%)

* 1 IF1 CE<2 dS/m; IF2 2<CE<4 dS/m; IF3 CE>4 dS/m

* 2 PST: PST<5 %; 15>PST>5 %; PST> 15 %

A variação dos parâmetros estatísticos descritivos para as características químicas das amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Maria Tereza, por meio da média, valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação (CV), pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros estatísticos descritivos para as características químicas das amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Maria Tereza, Petrolina-PE.

Variáveis	n	Média	Valor mínimo	Valor máximo	Desvio padrão	CV
pH (água)	108	6,00	3,80	8,40	1,15	19,15
pH ($CaCl_2$)	108	5,39	3,50	7,80	1,13	20,90
K^+	108	0,43	0,07	2,31	0,46	107,32
$Ca2^+$	108	1,95	0,30	9,70	1,30	66,55
$Mg2^+$	108	0,87	0,20	4,70	0,72	83,35
Na^+	108	0,07	0,02	0,64	0,10	145,21
$Al3^+$	106	0,17	0,00	1,70	0,34	196,32
H+Al	108	1,24	0,00	3,60	0,79	63,87
SB	108	3,32	0,71	14,67	2,22	66,83
t	108	3,48	1,11	14,67	2,10	60,31
T	108	4,56	2,40	14,97	1,90	41,77
CTCr	107	47,39	11,53	207,88	37,96	80,12
V	108	68,84	24,95	100,00	20,85	30,29
m	108	7,67	0,00	58,34	14,65	190,92
PST	108	1,43	0,35	12,25	1,65	114,78
M.O.	108	1,02	0,20	7,00	1,01	98,90
P	108	57,45	0,60	914,60	172,00	299,39
S	108	11,08	1,20	53,50	11,80	106,51
P-rem	108	55,56	30,80	74,50	8,18	14,72
C.E.	108	0,21	0,03	1,05	0,19	92,02
B	108	0,46	0,10	3,10	0,47	101,00
Cu	108	0,93	0,20	3,90	0,55	59,88
Fe	108	81,75	14,40	345,00	86,11	105,33
Mn	108	23,42	0,90	120,50	26,39	112,71
Zn	108	4,08	0,20	81,90	10,66	261,30
Argila	108	13,20	0,00	30,00	6,27	47,48

As características químicas que mais contribuíram para o aumento da CE, independente da profundidade de coleta das amostras, no Projeto Público de Irrigação Nilo Coelho, foram os teores de Na, K e Mg trocáveis e de S disponível, exceto na camada mais superficial (0-20 cm) onde o Mg contribui reduzindo os valores de CE. Isso se deve, provavelmente, ao uso de fertilizantes químicos, principalmente os potássicos, tanto na forma de cloretos quanto de sulfatos, que além do potássio, contém sódio na sua composição. Além disso, há contribuição da água de irrigação, independente da qualidade, para o incremento de sais no solo. Souza (2016) avaliando o uso de água salina, fontes de potássio e biofertilizante na produção de maracujazeiro amarelo, observaram que, independente da CE da água utilizada (0,35 e 4 dS/m), a irrigação elevou o caráter salino do solo. No entanto, a salinidade do solo foi reduzida após o período chuvoso. Outra fonte de sais no solo é a dissolução de minerais primários presentes, que pode ser acelerada em sistemas irrigados de produção.

No distrito de irrigação Maria Tereza os teores de Na, K e Mg também foram as características químicas mais expressivas, aparecendo também a contribuição da CTC. Os teores de Ca e o S apresentaram contribuições menos significativas. Tabela 5.

Tabela 5 - Equações lineares múltiplas para CE (dS/m) em função de características químicas de amostras de solo coletadas em diferentes profundidades nos Projetos Públicos de Irrigação Nilo Coelho, Maria Tereza, Petrolina - PE.

Distrito de irrigação	Prof. (cm)	Equação	R^2
Nilo Coelho	0-20	CE= 0,012 + 0,034S + 1,204Na - 0,226Mg + 0,463K	0,935*
	20-40	CE= -0,115 + 0,020S + 0,002V + 0,112K + 0,019Mg	0,895*
	40-60	CE= -0,015 + 0,005S + 1,542Na + 0,351K + 0,361pHCaCl$_2$ - 0,334pHH$_2$O + 0,016T	0,806*
	60-80	CE= -0,006 + 0,007S + 0,208Mg + 0,315K + 0,750Na - 0,046T	0,732*
Maria Tereza	0-20	CE= 0,257 + 0,840Na + 0,121K + 0,031Mg + 0,132pHCaCl $_2$- 0,148pHH$_2$O	0,879*
	20-40	CE= -0,508 + 0,068T + 0,829Na + 0,011S - 0,019K - 0,055Mg + 0,089pHCaCl $_2$-0,93Ca	0,960*
	40-60	CE= 0,046 + 0,012T + 0,006S + 0,224K - 0,004V + 0,099Ca + 0,423Na	0,817*
	60-80	CE= -0,610 + 0,125T + 0,008S - 0,010V + 0,160pHCaCl $_2$-1,078Na	0,665*

* Equações de regressão significativas pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

1.7.3.2 Espacialização da condutividade elétrica (dS/m) e da percentagem de saturação de sódio nas áreas dos Projetos Públicos de Irrigação

Os mapas de distribuição espacial das variáveis CE e PST, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, nos solos dos Perímetros Irrigados Senador Nilo Coelho e Maria Tereza podem ser observados nas Figuras 2, 3, 4 e 5. As áreas em verde representam os menores valores encontrados na totalidade das amostras analisadas de CE (Figuras 2 e 4) e PST (Figuras 3 e 5) e em vermelho os maiores valores analisados.

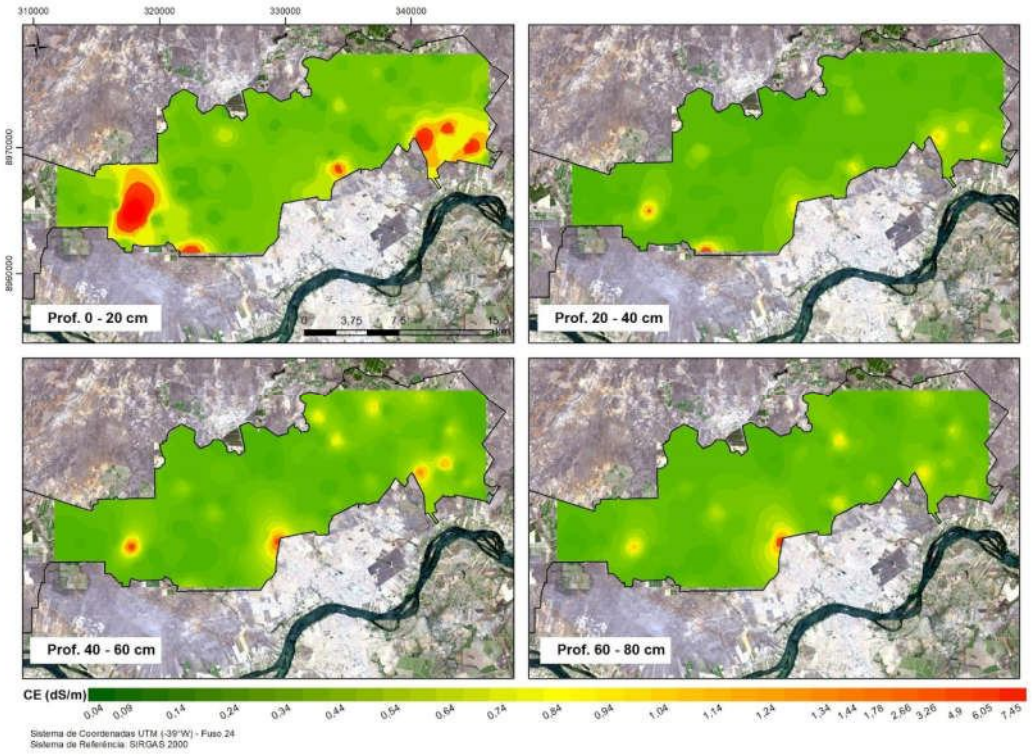


Figura 2 - Espacialização dos valores de Condutividade Elétrica (dS/m) em amostras de solos coletadas em diferentes profundidades (cm) no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Petrolina-PE.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir do banco de dados de CODEVASF (2014)

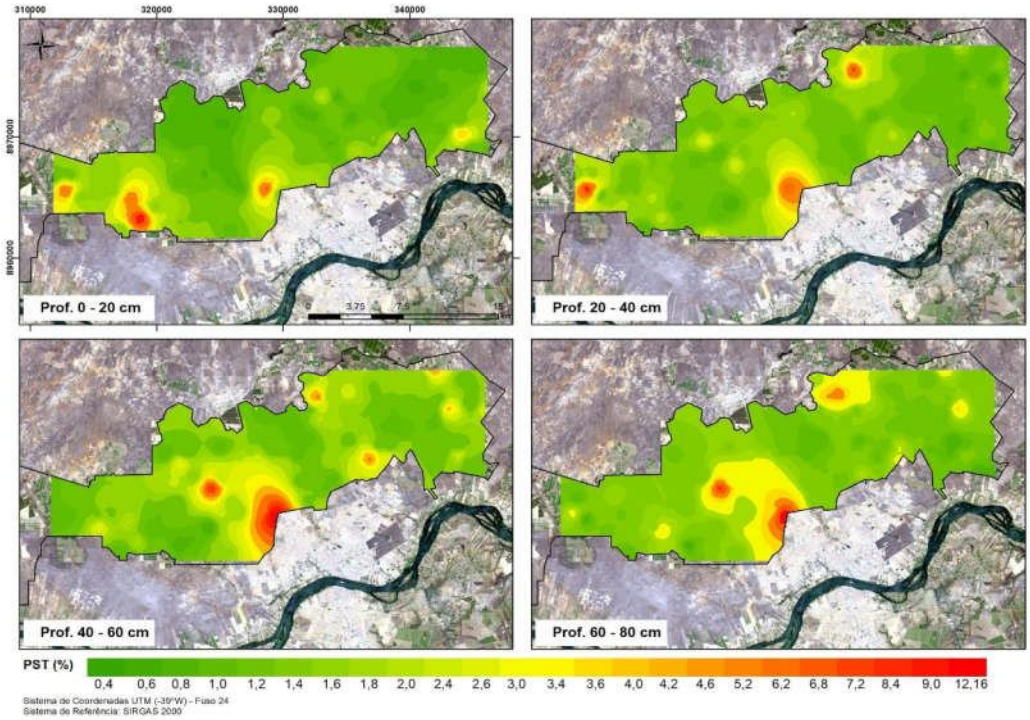


Figura 3 - Espacialização dos valores de PST (%) em amostras de solos coletadas em diferentes profundidades (cm) no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho. Petrolina-PE.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir do banco de dados de CODEVASF (2014)

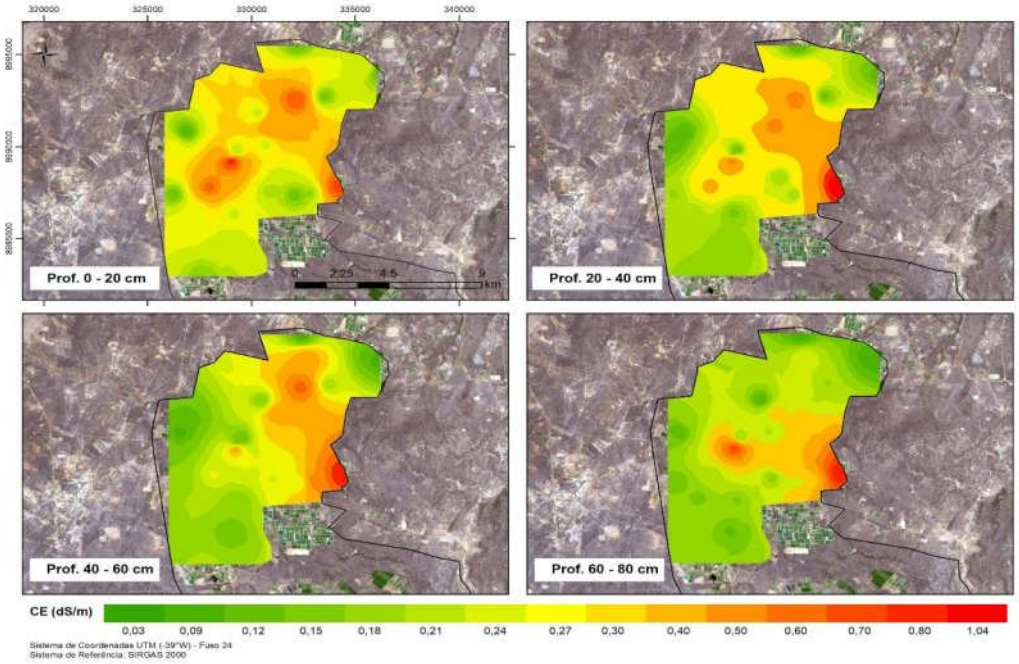


Figura 4 - Espacialização dos valores de Condutividade Elétrica (dS/m) em amostras de solos coletadas em diferentes profundidades (cm) no Perímetro Irrigado Maria Tereza, Petrolina-PE.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir do banco de dados de CODEVASF (2014)

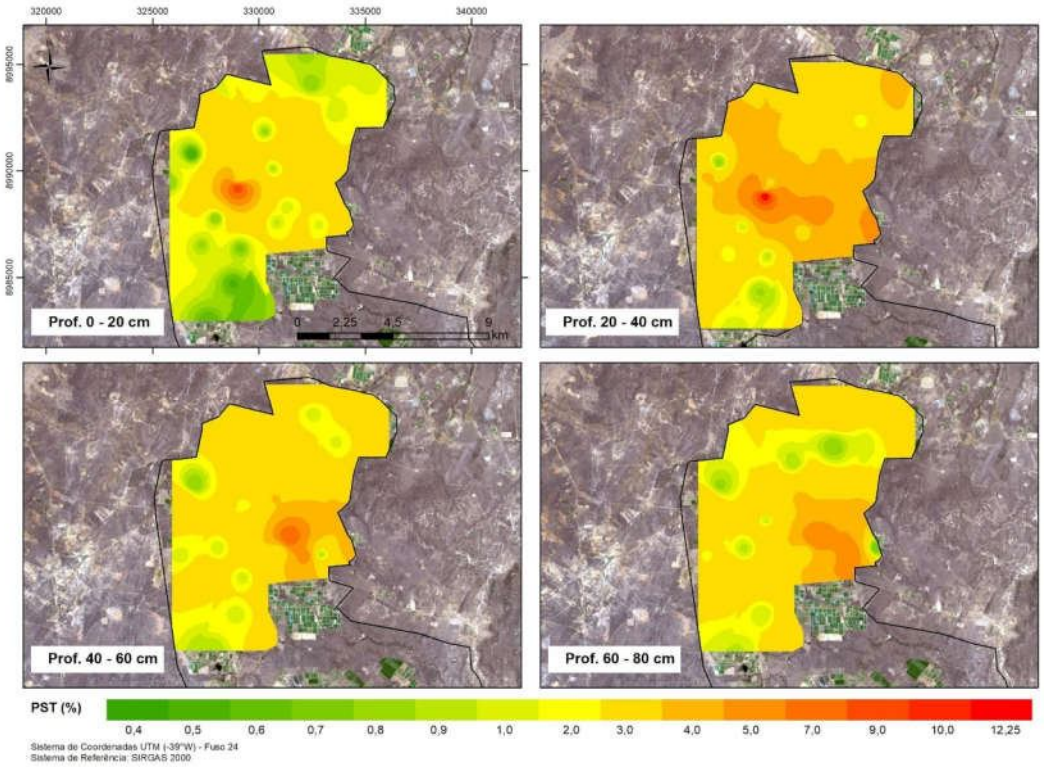


Figura 5 - Espacialização dos valores de PST (%) em amostras de solos coletadas em diferentes profundidades (cm) no Perímetro Irrigado Maria Tereza. Petrolina-PE

Fonte: Elaborada pelos autores a partir do banco de dados de CODEVASF (2014).

Os maiores valores encontrados nas amostras de CE no Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho foram observados na camada mais superficial e estão localizadas nas áreas de limite do perímetro. A distribuição espacial da PST apresenta as mesmas áreas de acúmulo de salinidade representadas pela CE. No entanto, o padrão de distribuição em profundidade é inverso, corroborando que apesar da maior contribuição do Na para os valores de CE estimados pelas equações lineares múltiplas ajustadas, outras variáveis estão envolvidas, como a composição química da solução do solo (cátions e ânions solúveis), a textura, condutividade hidráulica, CTC, teores de K, Ca e Mg trocáveis, presença de camadas de solo mais adensadas etc, para melhor entendimento dos processos envolvidos. Ressalta-se que a salinização secundária, em escala regional e local, bem como as interelações

estabelecidas a partir da salinidade primária constituem um desafio de realização de mais pesquisas para fundamentar e contribuí com o manejo das áreas irrigadas no Semiárido brasileiro.

No Distrito de Irrigação Maria Tereza, a área que apresenta valores mais elevados de CE encontrados nas amostras é mais abrangente nas camadas mais superficiais (0-20 e 20-40 cm), reduzindo com a profundidade. No entanto, os valores máximos obtidos, de acordo com a escala localizada na parte inferior da figura é de 1,05 dS/m, não sendo considerado salino. A área de abrangência com valores mais altos de PST no distrito de Maria Tereza aumenta também com a profundidade. O valor máximo analisado no total das amostras de PST na escala de espacialização foi de 12,25%, apresentando maior abrangência para os valores entre 2 e 7 %, representada pela escala de cor amarela a vermelho claro, sendo, portanto, classificadas, no máximo, como solódicas.

As áreas em amarelo e vermelho, tanto nos mapas de variabilidade espacial da CE quanto da PST, em ambos os distritos de irrigação, são ambientes que devem ser monitorados para melhor entendimento das características ou fragilidades pedológicas e geoambientais, bem como das características de manejo do solo que podem estar envolvidas no processo. A interação de características pedológicas, geoambientais e de manejo faz com o potencial produtivo de solos salinizados seja reduzido por diferentes mecanismos, tanto direto quanto indiretos, podendo-se citar, por exemplo, as interações dos sais com o ciclo de nitrogênio, a estrutura das comunidades de microrganismos do solo, a ciclagem de nutrientes e a dinâmica de carbono no solo.

O uso desses mapas de distribuição, como exemplificado e demostrado neste trabalho, pode ser uma ferramenta importante para auxiliar na tomada de decisão dos agricultores e da equipe técnica, principalmente quando se utiliza a superposição com mapas planialtimétricos, granulométricos e de classes de solos

para melhor entendimento dos padrões de distribuição, subsidiando as ações preventivas e/ou corretivas da salinidade e sodicidade, manejo da irrigação, drenagem e adubação. Dependendo do interesse da equipe técnica e das características das áreas a serem monitoradas, outras variáveis podem ser utilizadas em conjunto, facilitando o alcance dos objetivos pré-estabelecidos pelo estudo.

1.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de abordagem integrada à análise sistêmica, o presente capítulo sumariza a gênese e o componente antrópico do processo de salinização e sodificação do solo em Projetos de Agricultura Irrigada no Semiárido brasileiro, propondo estratégias adaptativas e mitigatórias, incluindo o monitoramento geoespacializado de indicadores de qualidade do solo/indicadores de salinidade como ferramenta de análise e tomada de decisão.

O uso de mapas de distribuição espacial em projetos de irrigação pode ser uma ferramenta eficiente para monitoramento da variabilidade espaço-temporal da salinidade e da sodicidade do solo, principalmente quando associados com características geoambientais. Os resultados podem subsidiar agricultores na prevenção e tomada de decisões, a extensão rural na assessoria técnica aos agricultores avaliando e definindo com maior precisão áreas para possíveis correções e redefinição de manejos de solo e água além de atender a condicionantes ambientais.

O trabalho integrado em rede de técnicos e instituições de desenvolvimento regional, ensino, pesquisa e instituições representativas de agricultores, integrando técnicas, tecnologias, metodologias e expertises. Potencializam a importância do monitoramento e espacialização da salinidade e sodicidade dos solos nos territórios em projetos irrigados e diminui os custos da

avaliação dos monitoramentos para os agricultores irrigantes e instituições, além de fortalecer as instituições de ensino e pesquisas com utilização dos dados para publicações e qualificação de técnicos ao nível de mestrados e doutorados.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Fernando Cézar Saraiva do. (ed.). **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na região semiárida**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos: Codevasf, 2011.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. California (USA): FAO Irrigation and Drainage Paper, 1989.

BALIEIRO, F.C; TAVARES, S. R. L. **Curso de recuperação de áreas degradadas:** a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228 p.

BASTOS, D. C. O. **Manejo de salinidade em irrigação localizada:** análise da alternativa de lixiviação incompleta. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004. 92 p.

BEN-HUR, M.; LI, F. H.; KEREN, R.; RAVINA, I.; SHALIT, G. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. **Soil Science American Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 191-198, Jan. 2001.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF , 2 set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 09 jun. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nºs 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nºs 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 14 jan. 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12787.htm. Acesso em: 10 jun.2021.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília-DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 5 abr. 2021.

CAUSAPÉ, J.; QUÍLEZ, D.; ARAGUÉS, R. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 70, n. 3, p. 211-18, dez. 2004.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA - CODEVASF. **Monitoramento de Solos da 3ª Superintendência Regional em Petrolina-PE. Relatório de campanha Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho/Maria Tereza**, conforme contrato nº 0.058.00/2012, de 24/04/2013, entre CODEVASF e Reserva Engenharia Consultoria e Gestão Fundiária Ltda. 2014. 176 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA**.** Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, n. 249, 30 dez. 2009. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620. Acesso em: 5 de abr. 2021.

CORDEIRO, G. G. **Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do projeto de irrigação São Gonçalo (2ª Etapa).** Petrolina-PE: EMBRAPA-CPATSA, 1988. 57 p. Documento 54.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 355 p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil survey manual**. Washington, DC, 1951. 503 p. (USDA. Agriculture handbook, 18).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Soil and Water Conservation Research Branch. Salinity Laboratory Staff. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture handbook, 60).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy:** a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Washington, DC, 1999. 869 p. (USDA. Agriculture handbook, 436).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy:** a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, DC, 1975. 754 p. (USDA. Agriculture handbook, 436).

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura:** estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.

GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. **Prevenção, manejo e recuperação dos solos salinos e sódicos.** Curso de Especialização em Irrigação e Drenagem. Mossoró: ESAM, 1991. 56 p. Apostila.

GREGO, C. R.; RABELLO, L. M; BRANCALIÃO, S. R.; VIEIRA, S. R.; OLIVEIRA, A. I. **Geoestatística aplicada a condutividade elétrica do solo e altitude do solo cultivado com cana-de-açúcar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 245-248.

IUSS WORKING GROUP WRB. World Reference Base for Soil Resources. **International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO, 2015. 192 p.

LIMA, V. L. A. **Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem.** 1998. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

LIMA JÚNIOR, J.; SILVA, A.L. Estudos do processo para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n .11, 2010. 21 p.

LOPES, J. F. B; ANDRADE, E. M; CHAVES, L. C. G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na bacia do Acaraú. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 182010.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais** [...]. Piracicaba: ESALQ, 2004.

MERICO, L. F. K. **Introdução à economia ecológica**. Blumenau: FURB, 1996. 160 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World population prospects**: the 2008 revision population database. New York, 2009.

PEREIRA, O. J.; MATIAS FILHO, J.; ANDRADE, E. M. Variação do teor de sais no solo irrigado por aspersão e ação da chuva na sua lixiviação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 17, n. 1, p.61-65, jun. 1986.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madri: Ed. Agrícola Espanhola, 1978. 520 p.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J.S.; FOLEGATTI, M.V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. *In*: GHEY, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB: SBEA, 1997. cap. 3, p. 69-111.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVEZ, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. **Avaliação e monitoramento da salinidade do solo usando ferramentas de geoestatística.** *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F de; FILHO, E. G. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 5, p. 51-63.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. 359 p.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D.C.: U.S. Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA Agriculture Handbook, 60).

SANTOS, R. V. **Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro Vigna (Vigna unguiculata L. Walp)**. 1995. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

SILVA, J. S. S.; MONTENEGRO, A. A.; SILVA, E. F. F.; ANDRADE, W. L.; SILVA, J. R. L. Distribuição Espacial da Condutividade Elétrica e Matéria Orgânica em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife. v. 6, n. 4, p. 764-776, 2013.

SMEDEMA, L. K.; SHIATI, K. Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. **Irrigation and Drainage Systems,** Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 161-74, maio. 2002.

SOUZA, J. T. A. **Água salina, potássio e biofertilizante no solo, crescimento, composição mineral e produção do maracujazeiro amarelo**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

TAVARES, L. R S. Recuperação de áreas degradadas e/ou contaminadas: um desafio para as ciências Agrárias. Simpósio de Ciências Agrárias da Amazônia, 2., 2015, Santarém. **Anais [...]**. Santarém: UFOPA, 2015.

ZHOU, C. GIS monitors out fragile Earth**. GIS World**, Fort Collins. v. 11, n. 10, 1998.