

LAERCIA DA ROCHA FERNANDES LIMA

TOPOSSEQUÊNCIA E DRENAGEM AMBIENTAL DE SOLOS: RELAÇÕES COM
A SALINIDADE EM PERÍMETRO IRRIGADO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RECIFE - PE
JULHO DE 2019

LAERCIA DA ROCHA FERNANDES LIMA

TOPOSSEQUÊNCIA E DRENAGEM AMBIENTAL DE SOLOS: RELAÇÕES COM
A SALINIDADE EM PERÍMETRO IRRIGADO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Agrícola da Universidade Federal
Rural de Pernambuco para obtenção do Título de
Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

Coorientadores: Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior

Pesquisador Dr. Magnus Dall'Igna Deon

RECIFE - PE
JULHO DE 2019

LAERCIA DA ROCHA FERNANDES LIMA

Tese apresentada em 30 de julho de 2019 ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Toposequência e drenagem ambiental de solos: relações com a salinidade em perímetro irrigado do semiárido brasileiro

Tese defendida em 30 de julho de 2019

Orientadora:

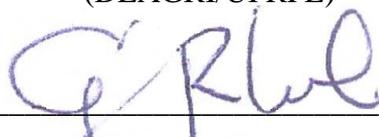


Prof.ª. Dr.ª. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida
CODAI/UFRPE

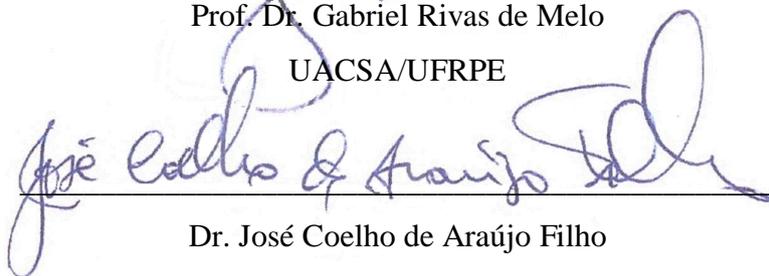
Examinadores:



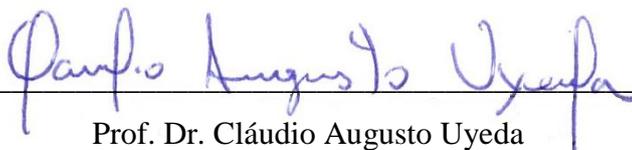
Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior
(DEAGRI/UFRPE)



Prof. Dr. Gabriel Rivas de Melo
UACSA/UFRPE



Dr. José Coelho de Araújo Filho
(EMBRAPA/Solos)



Prof. Dr. Cláudio Augusto Uyeda
(IFPE)

“A margem da estrada que palmilhas, planta sempre uma boa árvore, porque, por ela, poderás voltar.”

(Amâncio)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao Centro Espírita Deus Amor Luz e Caridade, as mães “sopeiras” e a todas as crianças e jovens da sua Juventude Espírita.

Aos meus irmãos: Luiz (in memoriam), João, Carlos Alberto, Edson, Marcus e suas respectivas esposas: Celia, Carmem, Carminha, Fátima e Izabel.

Aos filhos: Ênio Ricardo, Vildemar Romero, Ronaldo e Rodolfo.

Aos meus queridos sobrinhos representados por Edson Júnior, Luiz Júnior, Romenio e Davi.

Às minhas netas: Bruna, Laercia Giovana, Iasmin Valentina e ao meu neto Bernardo.

Às minhas sobrinhas: Virginia, Carmelita, Edfa Viviane, Juana Rosa, Erica Vanessa, Mayara, Enia Carla, Ramona, Laís Carla e sobrinhas netas: Maria Eduarda, Samara, Camilla, Beatriz, Leandra, Lara, Gabriela e Alice.

A minha professora primária Maria Helena Macedo França.

As amigas irmãs: Lúcia Maria da Silva, Lúcia Ângela Macedo França, Maria da Conceição Leal, Maria das Dores Leal e Regina Maria Sobral Loureiro Amorim.

As mães inspiradoras: Margarida Aniceta de Souza Leal (99 anos), Isabel da Silva Freire (92 anos), Janete Maria Barbosa dos Santos (86 anos), Francisca Generosa Barros e Silva (82 anos) e Maria Dolores Pereira da Silva (in memoriam).

As irmãs Pereira: Amara Maria, Ivanilde, Madalena, Juanita (in memoriam) e Marta Maria (in memoriam).

As Filhas do coração Simone Maria da Conceição e Quitéria Alves da Silva.

As mulheres “noras” que corajosamente apoiam meus filhos: Ingrid, Kátia e Simone Vitória.

A Mônica Maria de Lucena Macedo, minha admiração.

Enfim, a todas as mulheres que vivenciam a terceira idade ...

Que este trabalho exemplifique às suas vidas

Muita paz muita luz...

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que pela sua infinita misericórdia, permitiu-me estar nesta transição milenar e vivenciar esta pátria encantadora, resiliente e com a certeza de que tudo passa... Brasil.

**Aos meus pais, nesta jornada, José Lins da Rocha e Carmelita Xavier da Rocha
(*in memoriam*) minha eterna gratidão.**

À Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE e ao programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola- PGEA pela oportunidade.

Aos professores e amigos Manassés Mesquita da Silva e José Amilton Santos Júnior pela amizade, impulso, credibilidade... “professora não posso entender por que a senhora não faz o doutorado” eis aí o início desta história...vocês foram o maior estímulo para esta jornada... meu carinho e minha gratidão eterna.

À professora Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida... ao longo desta existência Deus sempre disponibilizou anjos para orientar a caminhada... neste ciclo que ora encerra, Ele dispôs um anjo “cuidador” ... ora meiga, ora severa... ora mãe, ora filha... com sua elegância e a frase nos lábios “... oi Laercia..” ...soube ouvir, soube falar .. mostrou caminhos ...permitiu cair, permitiu levantar ... chegamos! Os méritos são seus os não méritos são meus... seu pai estava inspirado quando a denominou de *CERES*, o nome da deusa Romana da Agricultura. Obrigada por este reencontro e aceitar o desafio...muita paz muita luz...

Ao Engenheiro Agrônomo Manuel de Jesus Batista (CODEVASF) pelos ensinamentos práticos e amizade.

Ao Dr. Julian Martinez Beltran (FAO) pelo estímulo a aprendizagem nos meandros da drenagem agrícola tanto no Brasil como na Espanha, pela amizade e dedicação..

Ao Eng. Demócrito de Souza Faria pela amizade, conhecimentos e por ter-me apresentado o Vale do submédio do Rio São Francisco.

Ao Engenheiro Agrônomo Valdiney Bezerra Amorim pela amizade e por ter disponibilizado sua experiência na sugestão do tema estudado, mantendo apoio constante nas diversas fases deste trabalho.

À Maria da Penha Rodrigues pela amizade, apoio e estímulo em todas as fases desta jornada, pelo alojamento de pessoas e depósito de solos e materiais em seu apartamento, assim como pelo apoio a gestão do trabalho em campo como representante da CODEVASF minha eterna gratidão.

À Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco, Parnaíba, Mearim e Itapecuru (CODEVASF), 3ª Superintendência Regional – Petrolina-PE, pelo apoio logístico, técnico e fornecimentos de informações e dados para realização desta pesquisa em campo nas pessoas: Eng. Civil Aurivalter Cordeiro Pereira da Silva-Superintendente; Eng. Agrônomo Natércio Melo – assessor da Superintendência; Eng. José Costa Barros-Gerente de Irrigação; Eng.^a Agrônoma Aline Carneiro Camargo; Eng. Agrônomo Marcelo Carlos Ramos Mergulhão; Eng. Agrônomo Tiago Cavalcante; Eng. Agrícola Douglas Oliveira Nunes; Eng. Agrônomo Juvenilson Rodrigues de Andrade; Motoristas: Adauto Francisco Moraes Neto e Irineu Elias do Nascimento das Secretárias: Maria de Fatima Santana Gama e Swanny Angélica Rodrigues Ribeiro.

À Embrapa do Semiárido – CPATSA, Petrolina-PE; Laboratório de Solo e Tecido Vegetal pela cooperação e apreço: Ao Pesquisador Dr. Magnus Dall'Igna Deon; a analista Jacqueline Nascimento Sousa, aos assistentes: Adalberto Alves da Silva; Emanuel Bezerra Siqueira; Hélio Brasileiro Barbosa; Jose Alexandre dos Santos, Luiz Antônio Alves e os estagiários Caroline Dias da Silva e Carlos Maciel Santana da Silva.

A EMBRAPA Solos- UEP Recife, por meio de seus pesquisadores Maria Sonia Lopes da Silva, José Coelho de Araújo Filho e Manoel Batista de Oliveira Neto.

Ao Distrito de Irrigação do projeto Senador Nilo Coelho-DINC pelo fornecimento de dados na pessoa do seu Gerente o Administrador Paulo Henrique Pessoa de Sales.

A PROJETAR IRRIGAÇÃO Ltda - Petrolina PE pelo apoio material e amizade na pessoa do Eng. Jáson Leite e Eng. Francisco Fernandes da Costa.

A DRENOVALE PROJETOS E SERVIÇOS Ltda- Petrolina PE, pelo apoio material e amizade na pessoa do Eng. José Josias de Lucena Melo.

Aos produtores agrícolas do Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho pela cessão de suas áreas, proteção aos materiais e equipamentos instalados: Antônio Rosa da Silva Neto; Edson Tadashi Nakahara, Eduardo Shoiti Nakahara e Norberto Gomes de Oliveira Sobrinho, bem como pessoal de apoio, Eng. Cássio de Souza Costa Santos e os encarregados Domingo Pereira Damasceno e José Alberto Barranova da Silva.

Ao técnico Gilmar de Brito Dias e a Sra. Maria das Dores Gonçalves Brito, pelo esforço e dedicação aos trabalhos de campo, mas, acima de tudo pela paixão por este trabalho ao lado do meu filho Ronaldo da Rocha Fernandes Lima e sua esposa Katia Cristina Barros Fernandes Lima, que não mediram esforços, mesmo com sol a pino ou um carro sem bateria na escuridão da noite, minha eterna gratidão.

Ao Eng. Urbano da Costa Lins pelas sugestões e apoio na construção de equipamentos de campo.

À Prof^a Dr^a Maria de Fátima Barros pela amizade, apoio e estímulo em todas as fases desta jornada, mas acima de tudo pelo exemplo de força, dedicação e coragem como educadora e pesquisadora.

Ao Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida pela amizade e apoio a testes de campo.

Aos Professores Dr. Gabriel Rivas Melo, Dr. Antonio Samuel Alves da Silva e o doutorando José Raliuson Inacio Silva pelo carinho, dedicação e apoio nas sugestões e análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. Cláudio Augusto Uyeda (IFPE) pela dedicação, apoio e sugestões neste trabalho.

À Dr^a. Keila Jerónimo Jiménez que cruzou o hemisfério em busca de conhecimento e nos deu exemplo de coragem, firmeza de caráter e capacidade de construir amizade e ter amor ao próximo. Minha gratidão não apenas pelo apoio em todas as fases desta caminhada, mas por este reencontro.

À Eng. Agrônoma Rebeca Neves Barbosa; ao Ms. Valentin Rubén Orcón Zamora; ao Ms. Evanilson Paulino da Silva e à Eng. Florestal Nayla Pamella da Silva Cavalcanti Coelho pela dedicação e cooperação nos trabalhos de campo.

À Graduanda de Engenharia Agrônômica Gisely Moreira Vitalino e ao graduando em Licenciatura em Pedagogia Saulo Rocine Xavier Barbosa pela dedicação e cooperação nos trabalhos na UFRPE.

À Dr^a. Andrea Avelino da Silva (coralista) pela amizade, dedicação e disponibilidade na fase final deste trabalho... e a pergunta... “professora precisa de ajuda?” minha gratidão.

Aos agricultores do Núcleo 6 do projeto Senador Nilo Coelho: Antônio Henrique filho, Maria de Lurdes Rodrigues Henrique, Paulo Henrique Rodrigues e Maria Aparecida Rodrigues Henrique pelas gentilezas, apoio nos trabalhos em campo e pelo exemplo de dedicação e resiliência a agricultura irrigada do Semiárido.

A Rodolfo da Rocha Fernandes Lima e sua esposa Ingrid Critovan da Rocha pelo estímulo, cooperação e carinho dedicados, a todo o momento, neste trabalho.

Ao Programa de Irrigação do Nordeste -PROINE- início desta história; ao professor Ronaldo Gonçalves Lins pela confiança e estímulo; aos professores e amigos Geraldo de Araújo Barreto Campelo, Jenner Ramos Pinto e Ronaldo Freire de Moura pelos ensinamentos e amizade (*in memoriam*).

Aos docentes do PGEA por colocar pérolas neste velho colar Abelardo Antônio de Assunção Montenegro; Edivan Rodrigues de Souza; Elvira Maria Régis Pedrosa; Ênio Farias de França e Silva; Geber B. Albuquerque Moura; Gerônimo Ferreira da Silva; Mário Monteiro Rolim; João Audifax C. Albuquerque Filho e a secretaria nas pessoas de Manuel Monteiro Cunegundes Capano e Nádia Soares Lins Cassemiro.

Aos amigos do PGEA pelos ensinamentos, cooperação, estímulo e carinho, “vocês mudaram minha vida”: Adiel Felipe da Silva Cruz; Ailton Alves de Carvalho; Andrey Thyago Cardoso Santos Gomes da Silva; Ângela Jessyka Pereira Brito Fontenele; Ana Karina dos Santos Oliveira; Antônio José Tadeu Figueirôa; Antônio Travassos Sobrinho; Breno Leonan de Carvalho Lima; Carolina de Lima França; Celia Silva dos Santos; Daniel da Costa Dantas; Daniel Rodrigues Cavalcante Feitosa; Daniella Pereira dos Santos; Diego Arruda Huggins de Sá Leitão; Diego Cezar Dos Santos Araújo; Diego Henrique Silva de Souza; Douglas Alberto de Oliveira Silva; Fernanda Helena Nascimento de Andrade, Fred Mikhail Carneiro Valério de Assis; Frederico Abraão Costa Lins; Iug Lopes; Jhon Lennon Bezerra da Silva; Jose Edson Florentino de Moraes; José Eustáquio Campos Júnior; José Diórgenes Alves Oliveira; Juliana Maria Medrado de Melo; Matheus Phelippe Santos Tolêdo; Monalisa Soares Costa; Pedro Francisco Sanguino Ortiz; Wanderson José de Oliveira; Hammady Ramalho e Soares; Allysson Lyra Costa; Nadielan da Silva Lima; Pedro Henrique Dias Batista; Raguiára Primo da Silva; Roberta Queiroz Cavalcanti; Ronaldo Alves de Oliveira Filho; Sirleide Maria de Menezes; Péricles Miller Barros Mendes; Robertson Valério de Paiva Fontes Júnior; Thais Fernanda da Silva Vicente e Uilka Elisa Tavares e a todos os recém ingresso no Programa na pessoa de Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim... muito obrigado.

Aos estagiários à docência pela dedicação e apoio na disciplina de graduação Irrigação e Drenagem: Alan Henrique Santos Silva; José Ediclécio Barbosa dos Santos; Laís Barreto Franco; Raphaela Revoredo Bezerra e Salimo Macoto Henrique Muchecua.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola pela atenção, cooperação, carinho, estímulo e a frase “quando é que defende”: nas pessoas dos docentes: Antônio Alves Neto; Ana Virgínia Marinho Silveira; Cristiane Guiselini; Daniella Amorim; Gabriela Vieira Lima; Gledson Luiz Pontes de Almeida; Héilton Pandorfi; Hernande Pereira; Ítalo Ataíde Notaro; Juliana Pinheiro Dadalto; Marianne de Lima Barboza; Renato Laurenti; Romero Falcão Bezerra de Vasconcelos; Veronildo Souza de Oliveira e

técnicos administrativos: Ana Maria Pequeno Maciel; Antônio Plínio de Souza; Bruno Laete dos Santos; Francly Laura Correia Gomes dos Passos; Jonathan Joaquim dos Santos Reis; José da Luz Freire e Luiz Carlos da Silva Lins.

Aos diversos Departamentos da UFRPE pela cooperação e estímulo nas pessoas dos docentes e pesquisadores: Andrea Chaves Fiuza Porto; Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos; Dimas Menezes; Flavio José Rodrigues Cruz; José do Egito de Paiva; José Vargas de Oliveira; Leocádia Terezinha Cordeiro Beltrame; Manoel Vieira de França; Maria Betânia Galvão dos Santos Freire; Maria do Rosário de Fátima Padilha; Neide Kazue Sakugawa Shinohara; Rosimar Santos Musser; Soraya Giovanetti El Deir; Vicente de Paula Silva; Victor Casimiro Piscoya do Técnico em Agrimensura Antonio Costa Granja Júnior e do estudante de Geografia Wagner Rodolfo de Araújo.

À diretoria da Associação de Docentes da UFRPE - ADUFERPE pela confiança, credibilidade e estímulo nas pessoas de sua presidenta Erica Suruagy Assis de Figueiredo e demais membros: Antônio Carlos da Silva Miranda; Eduardo Jorge Souza da Silva; Hélcio José Batista; Isabelle Maria Jacqueline Meunier; João Batista Martins de Moraes; Marcia Felix da Silva Cortez; Tarcísio Augusto Alves da Silva e Flávio Dantas Albuquerque Melo.

À Associação dos Amigos da Rural pelo carinho e estímulo nas pessoas de seu presidente Murilo Salgado Carneiro e demais membros nas pessoas de Waldecy Fernandes Pinto; Dalva Moura Xavier do Bomfim; Crinauro de Oliveira Velloso e João Baptista Oliveira dos Santos (*in memoriam*).

Ao Coro da UFRPE pelo alento espiritual e cooperação nas pessoas dos regentes: Evani Barbosa dos Santos e Alexandre Tavares Avelar e aos coralistas nas pessoas de Eunice Freire Busato; Paulo de Tarso Duarte de Souza e Ana Maria da Hora.

Aos amigos “filhos” da CPPD Selma Carneiro do Nascimento e Celio Barbosa do Nascimento por todo carinho e dedicação.

A Iraci da Luz Freire (Nenzinha), Joana D’Arc Oliveira dos Santos e Marilene da Silva (Erica) pelo cuidado, dedicação, preocupação pela saúde e a deliciosa pergunta: “... quer um cafezinho...?”.

Ao Grupo de Estudos Espíritas da UFRPE nas pessoas de Maria do Carmo Giaquinto (Kika), Gileno Antonio Araújo Xavier e Francisco Monteiro Rocha pela amizade, dedicação e apoio na manutenção da tarefa.

Ao Grupo Yoga pela amizade e fraternidade nas práticas de relaxamento e concentração, fundamentais para o equilíbrio físico, mental e emocional durante este trabalho e no exemplo de perseverança do instrutor Gibson Pereira de Castro e os alunos Carlos Alberto Alves da Silva; Cleone Maria Oliveira da silva; Edilsa Ribeiro Braga e Raquel Calorindo Clemente.

Muito grata!

SUMÁRIO

RESUMO.....	2
ABSTRACT.....	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS.....	5
1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 Objetivo Geral	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3. HIPÓTESES	21
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	22
4.1 Agricultura irrigada e suas implicações	22
4.2 Topossequência e sua influência na drenabilidade do solo.....	23
4.3 Indicadores de solos afetados por sais.....	25
4.4 Drenagem agrícola na prevenção da salinização.....	28
4.5 Diagnóstico de necessidade de drenagem	31
4.6 Sustentabilidade da agricultura irrigada e drenagem agrícola.....	33
4.7 Condutividade hidráulica e suas Funções de Pedotransferência	33
4.8 Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho	36
4.9 Cultura da Manga (<i>Mangifera indica</i> L.) no Vale do submédio do São Francisco	37
4.9.1 Produtividade e Área colhida	37
4.9.2 Importância Econômica da Mangicultura.....	38
4.9.3 Salinidade do solo na produtividade da manga	39
4.9.4 Irrigação e drenagem para a cultura da manga	39
5. MATERIAL E MÉTODOS	41
5.1 Localização e descrição da área de estudo.....	41
5.2 Critérios de seleção dos lotes e topossequência dos solos.....	42
5.3 Balanço Hídrico no Solo dos lotes	45
5.4 Georreferenciamento das áreas de estudo	46
5.5 Locação e implantação dos poços de observação	47
5.6 Monitoramento do lençol freático	50
5.7 Características físico-hídricas do solo.....	51
5.8 Caracterização química e de salinidade do solo	56
5.9 Produtividade da cultura e irrigação	57
5.10 Análises Estatísticas.....	57
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58

6.1 Salinidade em Nível do Lençol Freático.....	58
6.2 Salinidade do Solo	65
6.3 Produtividade da manga em topossequência.....	70
6.4 Correlação entre parâmetros físico-hídricos	70
7. CONCLUSÕES	75
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
APÊNDICE A.....	88
APÊNDICE B.....	89

RESUMO

Durante sucessivos anos a relação entre a irrigação e a necessidade de drenagem tem sido adotada como regra para o controle da degradação do solo em culturas irrigadas. Com o objetivo de avaliar a influência da topossequência e da presença e ausência de drenagem subsuperficial na prevenção da salinização de um Argissolo irrigado no Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho, Petrolina no Estado de Pernambuco, Brasil, foram instalados poços de observação para monitorar a flutuação semanal do lençol freático e mensalmente determinar suas características químicas durante o período seco e chuvoso, por 18 meses. Para a caracterização físico-química do solo, foram coletadas amostras nas profundidades 0-30, 30-60 e 60-90 cm, no início do experimento, final do período seco e aos seis e dezoito meses depois, correspondentes ao final do período chuvoso. Os dados obtidos foram interpretados por meio da análise de variância utilizando o teste F de Snedecor e t de student, por meio de Modelos Lineares Gerais (MLG), tendo como variável de resposta a condutividade hidráulica, e um conjunto de covariáveis fixas (textura do solo, densidade do solo, macroporosidade e umidade saturada), o critério de akaike (AIC) permitiu selecionar os modelos. As variáveis condutividade elétrica, porcentagem de sódio trocável (PST), razão de adsorção de sódio (RAS), capacidade de troca de cátions (CTC) e potencial hidrogeniônico (pH) foram analisados por meio do teste de Tukey de comparações múltiplas entre período de coleta, profundidade e a topossequência. A topossequência influenciou a condutividade elétrica do extrato de saturação, o pH em água, a razão de adsorção de sódio e o percentual de sódio trocável, apresentaram tendência de acúmulo no lote baixo. Portanto, não se verificou tendência de salinização e/ou sodificação nos lotes situados nas cotas mais altas da topossequência. Os modelos propostos para estimar a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) podem ser aplicados com razoável precisão a partir do conteúdo de areia, conteúdo de silte, densidade do solo, macroporosidade e umidade de saturação, sendo que o modelo exponencial proporcionou melhor resultado quando comparado com os modelos linear e quadrático.

Palavras-chave: Irrigação, Sodicidade, Lençol freático, Condutividade Hidráulica, Argissolo.

ABSTRACT

During successive years the relationship between irrigation and drainage needs has been adopted as a rule for controlling soil degradation in irrigated crops. In order to evaluate the influence of toposquence and the presence and absence of subsurface drainage in the prevention of salinization of an irrigated Argissolo in the Senador Nilo Coelho Public Irrigation Project, Petrolina in Pernambuco State, Brazil, observation wells were installed to monitor weekly the groundwater fluctuation and monthly determine its chemical characteristics during the dry and rainy period for 18 months. For soil physicochemical characterization, samples were collected at depths 0-30, 30-60 and 60-90 cm, at the beginning of the experiment, at the end of the dry season and at six and eighteen months later, corresponding to the end of the rainy season. The obtained data were interpreted by analysis of variance using the F test of Snedecor e student t, by General Linear Models (MLG), having as response variable the hydraulic conductivity, and a set of fixed covariates (soil texture, soil density, macroporosity and saturated moisture), the akaike criterion (AIC) allowed to select the models. The variables electrical conductivity, exchangeable sodium percentage (PST), sodium adsorption ratio (RAS), cation exchange capacity (CTC) and hydrogen potential (pH) were analyzed by Tukey test of multiple comparisons between collection period, depth and the topossequence. The topossequence influenced the electrical conductivity of the saturation extract, the pH in water, the sodium adsorption ratio and the exchangeable sodium percentage, showed a tendency to accumulate in the low lot. Therefore, there was no tendency of salinization and / or sodification in the lots located in the highest topossequence quotas. The proposed models for estimating hydraulic conductivity saturated (K_{sat}) can be applied with reasonable accuracy from sand content, silt content, soil density, macroporosity and saturation moisture, and the exponential model provided better results when compared to linear and quadratic models.

Key words: Irrigation, Sodicity, Groundwater, Hydraulic conductivity, Argissolo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva típica de tolerância das culturas à salinidade.	26
Figura 2. Limites de tolerância à salinidade das culturas.	27
Figura 3. Produtividade histórica de manga no PPI Senador Nilo Coelho, no período de 2011 a 2017 em áreas de produção UPF e AP.	37
Figura 4. Localização geográfica do Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho no município de Petrolina, Estado de Pernambuco, Brasil.	41
Figura 5. Imagem da Topossequência em planta, perfil e distribuição dos lotes na topossequência no Núcleo 6 do Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho.	43
Figura 6. Localização e cotas dos poços de observação nos lotes 659, 679 e 685 respectivamente.	48
Figura 7. Procedimentos no campo para instalação dos poços de observação (PO) e amostragem de solo. a) tradagem para instalação dos poços b) coleta de amostras não deformadas c) identificação da presença de mosqueado.	49
Figura 8. Instalação e referenciamento do poço de observação	50
Figura 9. Medição da profundidade do lençol freático. a) poço aberto para instalação do PO com presença de lençol freático; b) plopler; c) uso do ploper no poço.	50
Figura 10. Dinâmica do lençol freático em março, abril e maio de 2017	58
Figura 11. Dinâmica do lençol freático em junho, julho e agosto de 2017.	60
Figura 12. Dinâmica do lençol freático em setembro, outubro e novembro de 2017	62
Figura 13. Dinâmica do lençol freático em dezembro de 2017, janeiro e fevereiro de 2018.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação de solos afetados por sais segundo Richards (1954).	25
Tabela 2. Níveis de tolerância à salinidade do solo e da água e rendimento potencial em diferentes culturas.	27
Tabela 3. Custos de implantação do sistema de drenagem subterrânea (espaçamento = 21 m/17,50 m)	30
Tabela 4. Classificação de drenabilidade de solos em função de impedimento ao fluxo, presença de lençol freático e ocorrência de sais. - CHESF/CODEVASF.	32
Tabela 5. Parâmetros para avaliação da classe de drenabilidade pobre em função da condutividade hidráulica (K_{sat}) e da profundidade da barreira.	32
Tabela 6. Núcleo e lotes selecionados no Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho	44
Tabela 7. Profundidade da camada de impedimento (CI) em função da topossequência.	45
Tabela 8. Balanço hídrico no solo dos lotes dispostos em topossequência. Petrolina-PE, 2017.	46
Tabela 9. Valores de α sugeridos por Elrick, Reynolds, Tan (1989), em função da macroporosidade e textura do solo	55
Tabela 10. Caracterização físico-hídrica do solo dos lotes estudados.	59
Tabela 11. Valores médios de condutividade elétrica no extrato de pasta saturada (CEes, $dS\ m^{-1}$) nas camadas 0-30 e 30-60cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018).....	65
Tabela 12. Valores médios de pH (água) nas camadas 0-30 e 30-60 cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018)	67
Tabela 13. Valores de CTC nas camadas 0-30 e 30-60 cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018)	68
Tabela 14. Relação de adsorção de sódio (RAS) nas camadas 0-30 e 30-60 cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018)	68
Tabela 15. Valores médios de PST nas camadas 0-30 e 30-60 cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018)	69
Tabela 16. Correlação entre a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) e parâmetros físico-hídricos do solo pelo coeficiente de correlação de Pearson (r)	71
Tabela 17. Avaliação dos parâmetros dos modelos linear, quadrático e exponencial	72
Tabela 18. Comparação do ajuste entre os modelos linear (Modelo 1), exponencial (Modelo 2) e quadrático (Modelo 3).....	73

1. INTRODUÇÃO

As áreas agricultáveis no mundo enfrentam problemas de alagamento e salinidade, e dentre as causas para o alagamento destacam-se a infiltração excessiva em canais de distribuição de água, altas precipitações e aplicação excessiva de lâminas de irrigação, associada à baixa eficiência de drenagem interna do solo.

Em regiões com alta variabilidade espaço-temporal da precipitação, associada a elevados índices de evapotranspiração, próprios de regiões semiáridas, o balanço hídrico é sistematicamente negativo ao longo do tempo. O que condiciona, para uma agricultura rentável, na necessidade de reposição artificial da lâmina evapotranspirada via irrigação. Nesse sentido, teve início à política dos Perímetros Públicos Irrigados a nível mundial, visando à inserção de áreas antes não produtivas e consequente verticalização da produtividade.

No semiárido brasileiro, açudes, rios e poços têm sido utilizados como mananciais para implantação deste modelo de produção, baseado na agricultura irrigada. Entretanto, as condições de drenagem natural dos solos, quando insuficiente, associado a qualidade da água e como consequência da geologia, fisiografia, de suas propriedades físicas e químicas e presença de camada de impedimento, próxima à superfície do solo, favorece a flutuação do lençol freático e a processos de salinização do solo.

Na região do Vale do submédio do Rio São Francisco, inserida neste semiárido, está implantado o mais importante pólo de produção de frutas sob irrigação. No estado de Pernambuco dois dos principais Projetos Públicos de Irrigação (PPI), Senador Nilo Coelho e Bebedouro, foram implantados sob a gestão da então Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF. O que faz o município de Petrolina deter a maior produção de manga, uva e goiaba e ser terceiro produtor de banana do estado (CODEVASF, 2018).

O PPI Senador Nilo Coelho tem por base pequena e média empresas, assim como, as culturas de ciclo curto, predominantes no início de sua ocupação. No entanto, ao longo do tempo, essas culturas foram substituídas pelas frutíferas como a manga, uva, coco, banana, goiaba, acerola, caju e a recém-introdução das exóticas caqui, maçã e pera. Esta substituição de culturas tornou o município de Petrolina – PE líder no ranking de produção de frutíferas, com participação de 2,8% no total do valor da produção nacional (IBGE, 2015).

O cultivo da mangueira (*Mangifera indica L*) ocupa 39,3% da área do projeto (CODEVASF, 2018) expandindo sua produção, por ocupar o segundo lugar, em volume, no ranking das frutas exportadas pelo Brasil em 2017 (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018). A produção de manga irrigada no Vale do submédio do Rio São Francisco ocupa posição de destaque no mercado nacional e internacional pela qualidade dos frutos, a intensidade de suas cores, a diversidade das cultivares e as safras anuais permitidas pelo uso da tecnologia de indução floral, o que torna a mangicultura, importante em área cultivada. Esta produção responde por mais de 93% das exportações brasileiras de manga (CEPEA, 2015) especialmente a cv. Tommy Atkins, considerada então a mais plantada da região. De acordo com o ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI (2019), 50% da área colhida corresponde a cv. Palmer, e a cultivar Tommy Atkins ocupa o segundo lugar com 30%, seguida das cv. Keitt, Kent, Haden, Rosa e outras.

No nordeste o maior estado produtor é a Bahia, com uma área plantada de 21.370 hectares e uma safra de 353.689 toneladas, o estado de Pernambuco ocupa o segundo lugar, com produção 230.381 toneladas colhidas em uma área de 11.014 hectares, com uma tendência de expansão na ordem de 3% da área total plantada nestes dois estados (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018).

Entretanto, o desconhecimento das relações solo-água-plantas-clima, necessárias para o uso racional da tecnologia de irrigação tem contribuído para a degradação dos solos. Além disso, a intensidade de precipitação no período chuvoso e as infiltrações nos canais de distribuição, por falta de manutenção, têm promovido a elevação do lençol freático e a conseqüente salinização, causando redução da produtividade e prejuízo aos produtores.

A implantação de sistemas de drenagem superficial e subterrânea tornaram-se prioridades dos órgãos públicos envolvidos para evitar a degradação dos solos e recuperar áreas já degradadas, viabilizando uma agricultura sustentável. A técnica de drenagem, portanto despertou o interesse dos produtores na recuperação e/ou prevenção de áreas salinizadas como garantia de plena produção e elevada produtividade.

Ao longo das últimas décadas, a associação entre a sustentabilidade da agricultura irrigada em regiões semiáridas e implantação de sistemas de drenagem tem sido consolidada no meio técnico e científico. Por sua vez, o financiamento agrícola bancário tem vinculado à necessidade das duas tecnologias, o que eleva os custos de produção e,

em alguns cenários, inviabiliza a prática agrícola, especialmente, para o pequeno produtor.

No entanto, desde o início das atividades do PPI Senador Nilo Coelho-PE, têm-se observado situações nas quais o uso da técnica de irrigação, desvinculada da drenagem, não tem contribuído para degradação dos solos. Tal fato gerou a motivação em investigar a necessidade da implantação de sistemas de drenagem em solos irrigados deste projeto.

Logo, os estudos topográficos, das propriedades físicas e químicas do solo, do grau de drenabilidade e da salinidade da água subterrânea, poderiam subsidiar a decisão de desvincular o uso da irrigação associada à drenagem, como um conceito geral, e tratá-lo com as particularidades de cada caso.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Compreender a influência de uma topossequência e da drenagem subterrânea na prevenção da salinização no contexto do Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho, Petrolina, PE, Brasil.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar o gradiente hidráulico da área;
- Determinar a direção das linhas de fluxos nos cenários com e sem drenagem subterrânea implantada;
- Estudar a dinâmica da condutividade elétrica do lençol freático nos períodos chuvosos e de estiagem, sob irrigação;
- Caracterizar o perfil do solo quanto à profundidade da camada de impedimento e presença de mosqueado;
- Avaliar o solo quanto à drenabilidade por meio da análise físico-hídrica e química do solo, na topossequencia;
- Relacionar a produtividade dos cultivos com as propriedades físico-hídricas do solo e de salinidade;
- Determinar o acúmulo de sais no solo durante o período experimental.
- Correlacionar os parâmetros físico-hídricos na topossequência para a estimativa indireta da condutividade hidráulica saturada.

3. HIPÓTESES

- Em áreas com topossequência, sob o mesmo regime de irrigação, o acúmulo de sais será influenciado pela declividade, independente da presença da drenagem subterrânea;
- Na cota mais elevada da topossequência o acúmulo de sais será menor do que no ponto mais baixo, independente da presença de drenagem subterrânea.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Agricultura irrigada e suas implicações

As civilizações antigas sempre tiveram uma relação mística com os rios, diante dos benefícios ou dos danos causados, por não compreender o seu comportamento. Neste contexto, os povos da Mesopotâmia, do Egito, da Palestina e os Romanos deram início ao controle das águas e da produção agrícola, sendo denominadas de Civilizações Hidráulicas (DOWNS e GREGORY, 2014). Para o controle do escoamento fluvial e prática de irrigação já utilizavam métodos de uso e manejo, como construção de represas, drenos de irrigação, drenagem de terras e desvios de cursos d'água (ALMEIDA e CARVALHO, 2010).

Em meados do século XX, a ocorrência da Revolução Verde modificou a prática agrícola nos países em desenvolvimento, devido à ampliação do poder de produção vegetal em função da inserção de tecnologias, tais como, uso de fertilizantes químicos, defensivos agrícolas, controle de água de irrigação e da drenagem. Além disso, o poder público incentivou a difusão das tecnologias por meio de políticas de preços, subsídio agrícola e investimento em infraestruturas de drenagem, irrigação e transporte (MAZOYER e ROUDART, 2010).

A área mundial irrigada no decorrer de cinquenta anos, mais que duplicou e atingiu 301 milhões de hectares, nos dias atuais 277 milhões deste total representa apenas 20% da área total cultivada e esta contribui aproximadamente com 40% do total da alimentação produzida no mundo. Portanto, a produtividade em áreas irrigadas é aproximadamente três vezes maior que em áreas de sequeiro. Vale ressaltar que, 40% da área irrigada no mundo se encontram em regiões áridas e semiáridas (FAO, 2006, 2016). Estudos recentes apontam para o ano de 2050 uma população de 9,1 bilhões de pessoas e que acarretará numa demanda de alimentos e fibras em torno de 70% da produção mundial (FAO, 2017).

No Brasil, o estímulo à agricultura irrigada teve início na década 60 com implantação de perímetros públicos irrigados, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS e a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF, principalmente nas regiões semiáridas (BRASIL, 1999). De acordo com a ANA (2017), em 55 anos a área irrigada aumentou de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares até o ano de 2015 com possibilidade de incremento em

torno de 45% até 2030. Na condição de detentor de 12% das águas doce superficial planetária, esta demanda implica em produzir com responsabilidade e dentro dos preceitos de sustentabilidade.

Diante deste cenário promissor a prescrição de Hilgard (1886), para alcançar uma irrigação agrícola sustentável, é tão válida no século 21 quanto no século XIX. Os problemas de salinidade e drenagem na Califórnia e em outros lugares surgem e persistem em grande parte por: irrigação excessiva, drenagem inadequada e falta de um programa de manejo regional. A técnica de irrigação quando não acompanhada de um manejo do sistema solo-água-plantas adequado, eleva a concentração de sais no solo e reduz a produtividade dos cultivos, com consequências drásticas, econômicas, ambientais e sociais (BARROS, 2004; SANTOS et al. 2013a; ARAUJO; COSTA; MATEOS, 2019)

A área total de solos afetados por sais no mundo é de aproximadamente 831 milhões de hectares (BELTRAN; MANZUR, 2005), sendo que de acordo com FAO (2006), 20 a 25% das áreas irrigadas já apresentavam problemas com sais.

Na região semiárida do nordeste brasileiro aproximadamente 9,0 milhões de hectares de solos são afetados por sais (LEITE et al., 2012), onde aproximadamente 25% das áreas irrigadas encontram-se salinizadas (GHEYI, 2000; BARROS et al., 2004). Em Pernambuco, de acordo Magalhães (1995) 20% dos solos dos perímetros irrigados já se encontravam afetados por sais.

Dentre os fatores que contribuem para a salinização destacam-se as propriedades físicas do solo, as condições de drenagem natural, a geologia, o balanço de água e de sais na zona radicular (SOUZA, 2014), o manejo inadequado de água-solo via irrigação (GHEYI, 2000; BARROS et al., 2004), além da aplicação inadequada de fertilizantes químicos, associado à lâmina de irrigação incorreta (PEDROTTI et al., 2015).

4.2 Toposequência e sua influência na drenabilidade do solo

O termo topossequência vem sendo empregado pelos pedólogos, quando da ocorrência de variação de solos em função da sua posição no relevo ou paisagem, que consiste na análise dos solos por trincheiras ao longo de uma vertente, em pontos diferentes do topo, meia encosta e sopé (MAGALHÃES; CUNHA; NÓBREGA, 2016). Deressa et al. (2018) estudaram a formação e uso sustentável do solo em seis perfis representativos, nas altitudes alta, média e baixa, como consequência dos processos pedológicos, suas propriedades e classificação do solo. Estudos nesta linha também

foram realizados por Gollany e Elnaggar (2017) na região do Oregon, EUA em seis posições da paisagem sobre mudanças de carbono orgânico do solo. O reconhecimento dessas unidades de paisagem e a sua posição em relação aos compartimentos geomorfológicos em escala regional, amparados pelos documentos cartográficos e pelas análises de campo e laboratório, permitiram a compreensão das formas de vertentes e suas respectivas coberturas pedológicas.

Nos períodos mais chuvosos, a presença de horizontes coesos subsuperficiais nos solos de tabuleiro localizados nas partes mais altas do declive restringe o fluxo vertical da água, ocorrendo a formação de lençol freático suspenso acima dos horizontes coesos e favorecendo o interfluxo no sentido do declive, em direção aos solos localizados nas partes mais baixas do relevo. Nessa perspectiva, estudos têm sido realizados buscando entender o comportamento e sua pedogênese, face à influência do relevo como fator de formação dos solos (REIS et al., 2007). Estes autores verificaram que a intensidade pedogenética diferenciada em função da declividade e da forma da vertente, provoca variações na constituição granulométrica e orgânica do solo, ao longo dos perfis e da topossequência. Variações nas propriedades orgânicas, físicas e químicas foram identificadas em cinco posições da paisagem em um transecto e nos perfis dos solos (IBRAHIM; LAL, 2014).

Os atributos físicos e químicos (MEIRELES et al., 2012) bem como atributos morfológicos dos solos, quando em topossequência, apresentam dependência com as formas do relevo (NÓBREGA; LOPES, 2018). Mudanças na condutividade hidráulica saturada estão mais relacionadas a alterações nas propriedades físicas do solo e posição no relevo do que nas alterações das coberturas vegetais ao longo da topossequência (MARQUES et al., 2008).

Como consequência no sopé de encosta, em suaves pendentes dos terrenos, onde os solos são menos profundos e recebem água de irrigação das partes mais elevadas, ocorre maior risco de salinização (RIBEIRO et al., 2016). A topossequência foi base nas pesquisas de Khalil e Loynaciant (1994), para determinar a influência da drenabilidade do solo, a distribuição e abundância de fungos micorrizos em ecossistemas naturais. O conceito de topossequência também é utilizado para estudos de diversos atributos do solo numa menor escala como nos trabalhos de Lyra, Rolim e Silva (2003) e em nível de parcela irrigada nas pesquisas de Amaral e Tavares (2006).

4.3 Indicadores de solos afetados por sais

Os sais solúveis quando presente na água e na solução do solo podem formar soluções muito concentradas e os poucos solúveis precipitam. Quando o conteúdo de sais solúveis e ou sódio trocável, alcança níveis prejudiciais ao desenvolvimento dos vegetais interferindo no resultado da produção, diz-se que este solo está afetado por sais (BARROS et al., 2009; RIBEIRO et al., 2016).

Os solos têm sido classificados quanto à salinidade e sodicidade, considerando seus efeitos sobre o desenvolvimento dos vegetais. Com base na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), da percentagem de sódio trocável (PST) ou da relação de adsorção de sódio (RAS) e da atividade hidrogeniônica (pH). A condutividade elétrica (CE) é o parâmetro mais utilizado para medir o teor total de sais solúveis, pela facilidade de sua determinação, sua dimensão é expressa, na comunidade científica, em decisiemens por metro (dS.m^{-1}) que equivale a mmho.cm^{-1} . Richard (1954) classifica os solos afetados por sais como salinos, salino-sódicos e sódicos, apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de solos afetados por sais segundo Richards (1954).

Solos	C.E. (dS.m^{-1})	PST (%)	pH
Normais	< 4	< 15	< 8,5
Salinos	> 4	< 15	< 8,5
Salinos sódicos	> 4	> 15	< 8,5
Sódicos	< 4	> 15	> 8,5

Considerando que os cultivos apresentam diferentes níveis de tolerância à salinidade, Maas e Hoffman (1977) afirmam que há uma relação linear entre produtividade de uma cultura e a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), e que um aumento da salinidade afeta proporcionalmente a produção a partir de um ponto infinitesimal onde o cultivo começa a apresentar os efeitos deletérios da salinidade. O valor deste ponto no modelo estabelecido, expresso em CE, é denominado salinidade limiar:

$$Y (\%) = 100 - b*(CEes - SL), \text{ com } CEes < SL$$

Onde:

Y: rendimento agrícola relativo (produção potencial) à máxima produção obtida em condições ótimas (%); CEes: salinidade da zona radicular media, expressa em condutividade elétrica no extrato de saturação do solo a 20 °C (dS m^{-1}); SL: salinidade limiar (dS m^{-1}); b: inclinação ou perda de rendimento por incremento unitário da CEes (dS m^{-1}).

O modelo acima é representado graficamente na Figura 01 é expressa a relação linear entre a salinidade do solo em níveis crescentes (CEes) e o rendimento relativo (Y) ao obtido em condições ótimas de cultivo.

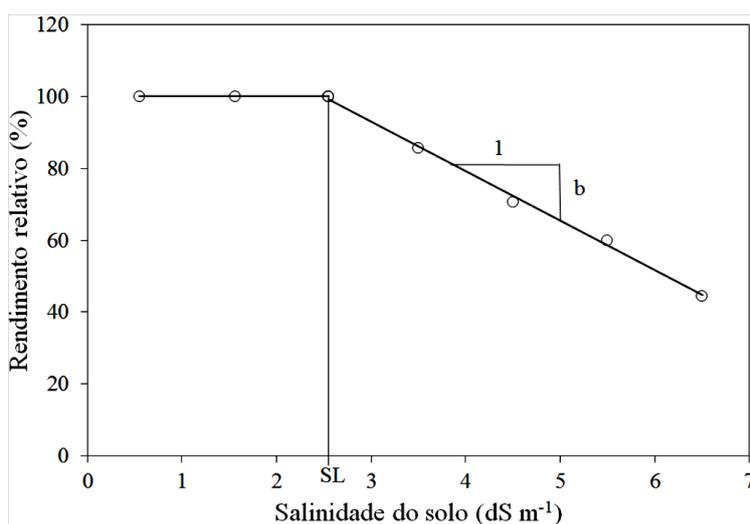


Figura 1. Curva típica de tolerância das culturas à salinidade.

Fonte: Maas e Hoffman (1977).

A tolerância das plantas à salinidade é um valor relativo porque depende das condições ambientais e do vegetal, pois espécies consideradas muito tolerantes nas últimas fases fenológicas podem ser sensivelmente afetadas pelos sais durante a germinação. Nobrega e Lopes (2018) investigou a qualidade fisiológica de sementes de 5 cultivares de gergelim sob diferentes níveis de salinidade, constatou, que existe diferentes níveis de tolerância dos cultivares quando submetido a estresse salino.

Mass (1984) apresenta limites de tolerância relativa à salinidade das culturas com a condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes) em dSm^{-1} à 25° C e a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) em dSm^{-1} à 25° C e classifica as culturas como sensível, moderadamente sensível, moderadamente tolerante e tolerante como pode ser observado na Tabela 2 e na Figura 2.

Tabela 2. Níveis de tolerância à salinidade do solo e da água e rendimento potencial em diferentes culturas.

Cultura	Redução de rendimentos										Tolerância relativa
	100		90		75		50		0		
	CEes	CEa	CEes	CEa	CEes	CEa	CEes	CEa	CEes	CEa	
Laranjeira (<i>Citrus sinensis</i>)	1,7	1,1	2,4	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2	8	5,3	S
Pessegueiro (<i>Prunus Persica</i>)	1,7	1,1	2,2	1,5	2,9	1,9	4,1	2,7	6,5	4,3	S
Videira (<i>Vitis spp.</i>)	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	12	7,9	MS
Melão (<i>Cucumis melo</i>)	2,2	1,5	3,6	2,4	5,7	3,6	9,1	6,1	16		MS
Cebola (<i>Allium cepa</i>)	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,5	5	S
Mangueira (<i>Mangifera indica</i>)	1,7	1,1	2,4	1,6	3,4	2,2	4,9	3,3	8,0	5,4	S

S: Sensível; MS: Moderadamente Sensível.

Fonte adaptado de: Mass e Hoffman (1977) e Mass (1984)

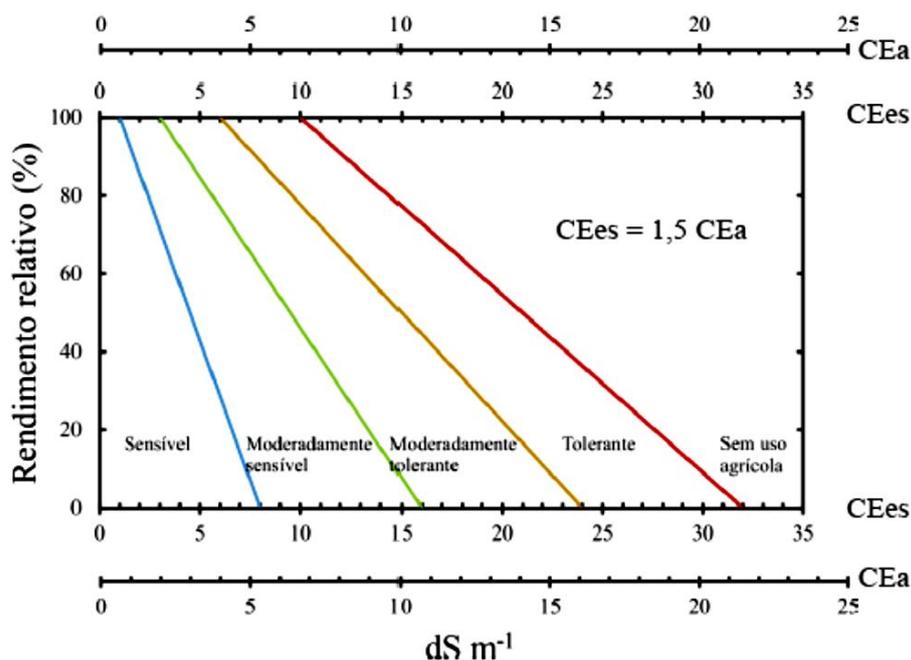


Figura 2. Limites de tolerância à salinidade das culturas.

Fonte: Maas (1984).

Quando o teor de sais da solução do solo atinge a salinidade limiar, o manejo da água de irrigação deve manter o conteúdo de umidade alto no solo, próximo à capacidade de campo, irrigando com mais frequência e menor intensidade. Isto permite que o processo de absorção da água pelas plantas, que depende do potencial total de umidade do solo, nesta condição, dado pela soma dos potenciais matriciais e osmótico, não seja afetado pela salinidade (AYERS; WESTCOT, 1999). Existe uma relação direta

entre a salinidade e o potencial osmótico do solo, que incide diretamente sobre a disponibilidade de água para os cultivos.

Carvalho et al. (2016), em experimento com cultura de pimentão em casa de vegetação sob diferentes níveis de CE da água de irrigação, observaram que os níveis mais baixos de condutividade elétrica ($CE < 1dS\ m^{-1}$) proporcionaram um maior consumo hídrico e isto foi associado aos melhores índices de produtividade (massa seca de caule, folha, raiz e fruto) sendo estes índices reduzidos com o incremento da CE da água de irrigação. Algumas espécies de plantas sob influencia de altas taxas de evapotranspiração pode alterar o balanço hídrico do solo e contribuir para a acumulação de sais solúveis na camada próxima ao sistema radicular dos vegetais (AHMAD et al., 2003).

Em áreas irrigadas a evapotranspiração é apontada com a causa principal de presença de sais no solo (CORWIN et al., 2007). A concentração dos sais da solução do solo implica nas necessidades totais de água de irrigação e nas perdas por percolação. E quando da ocorrência de horizontes adensados do tipo fragipã e duripã associada ao manejo incorreto da irrigação, eleva o nível do lençol freático e do risco de salinização dos solos a exemplo dos Argissolos dos projetos Públicos de irrigação Brígida e Caraíbas (AMARAL et al., 2007) e os projetos Públicos Bebedouro e senador Nilo Coelho, inseridos no Vale do submédio do rio São Francisco (AGUIAR NETTO et al., 2006).

Para evitar o efeito da salinização dos solos irrigados sobre a produção, deve-se manter o controle da CE na solução do solo, abaixo dos limites de tolerância dos cultivos. Para tanto é necessário que a recarga do lençol freático, devido à percolação, seja igual ou inferior a descarga via drenagem natural, para minimizar a ascensão dos sais à zona das raízes (RHOADES et al., 2000). Assim a aplicação da água deve atender as necessidades de consumo dos cultivos, reduzir a recarga do lençol freático e por tanto a necessidade de drenagem artificial (BELTRAN, 1986).

4.4 Drenagem agrícola na prevenção da salinização

O excesso de água da superfície do solo gera problemas de encharcamento dificultando as práticas agrícolas, principalmente mecanizadas, como semeadura e colheita (TORRES; GUTIERREZ; BELTRAN, 2017). A drenagem dessas águas permite o desenvolvimento da atividade agrícola em solos hidromórficos e várzeas e

pode representar uma opção de expansão da fronteira agrícola. Quando o perfil do solo não apresenta boa drenabilidade, para remover o excedente de água, e propiciar condições favoráveis de umidade, aeração, manejo agrícola, prevenir a salinização ou remover excesso de sais solúveis e/ ou incremento de sódio a drenagem subterrânea é uma prática a ser adotada (BATISTA et al., 2002; PINTO et al., 2015).

Algumas espécies cultivadas adaptam-se em condições de elevada umidade na camada superficial do solo. No entanto, a maioria das espécies vegetais de interesse comercial exige a implantação de um sistema de controle do lençol freático. Em sua pesquisa, Mingoti et al. (2006) buscaram determinar os efeitos do encharcamento do solo nas variáveis fenológicas e na produtividade da alface e verificaram elevada sensibilidade desta cultura pois, na maior velocidade de rebaixamento de lençol testada, a produtividade reduziu em 50%.

A drenagem é uma prática antiga, porém foi aplicada de forma artesanal e intuitiva, até o surgimento dos estudos de Henry Darcy na França em meados do século XIX (1856) quando se tornou ciência aplicada. Entretanto, no século XX cientistas como Donnan, Hooghoudt, Ernest, Glover, Dumm, van Beers, Schilfgaarde, Hammad, Kirkham e Boussinesq desenvolveram ou ajustaram equações para dimensionamento de sistemas de drenagem subterrânea (ILRI, 1978; PIZARRO, 1985; BELTRÁN, 1986; DUARTE et al., 2015; SUGUINO e BARROS, 2016).

O estudo da dinâmica da água no solo é fundamental no planejamento de sistemas de irrigação e drenagem, no processo de lixiviação, poluição do solo e da água subterrânea e deve-se ainda incluir a capacidade de armazenamento e fluxos tanto na superfície quanto em profundidade (PINHEIRO; TEIXEIRA; KAUFMANN, 2009). O relevo, a pendente e a posição fisiográfica devem ser considerados, pois contribuem para a variação de umidade em diferentes áreas dentro de uma região de mesmo clima (NOVAIS et al., 2016).

Sistemas de drenagem superficial e subterrâneo têm sido instalados em muitas áreas irrigadas no mundo, especialmente, em projetos de larga escala para recuperar solos afetados por sais e prevenir a salinidade, como por exemplo, na maioria das áreas do Delta do Nilo, no Egito (BELTRÁN, 2016; MANGUERRA e GARCIA, 1997). No Brasil especialmente na região semiárida, esta técnica tem sido implantada nos projetos públicos irrigados, com destaque o vale do submedio do Rio São Francisco em Pernambuco onde está implantado o Projeto Senador Nilo Coelho (AMORIM, 1995).

Esta técnica, no entanto tem custo elevado e em muitos casos superando o valor da terra, além de reduzir a área de cultivo, quando da implantação de drenos a céu aberto. Mingoti et al. (2006), consideram o custo de implantação, principal fator pelo qual os sistemas de drenagem, mesmo em solos rasos e de permeabilidade reduzida, não são utilizados, pois torna o sistema antieconômico. O custo médio atual de implantação de drenagem em um lote parcelar com área média de 6,0 ha está apresentado na Tabela 03, onde pode ser observado que 75,00% do valor total referem-se aos itens 2; 3; 4; 7 e 9, principais elementos da implantação referentes aos drenos entubados (TAVARES et al., 2015). Acrescentem-se ainda os custos relativos aos estudos antecedentes: topográficos, hidrológicos e edáficos.

Tabela 3. Custos de implantação do sistema de drenagem subterrânea (espaçamento = 21 m/ 17,50 m)

Ítem	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade prevista	Preço unitário US\$*	Preço total US\$	%
1.	Levantamento topográfico e projeto executivo de drenos	m	5.250	0.21	1,093.75	4,72
2.	Escavação de material de 1ª e 2ª categorias	m	5.250	0.88	4,632.35	20
3.	Tubo de drenagem corrugado flexível em PEAD, DN-65 mm	m	5.250	1.18	6,176.47	26,66
4.	Manta geotêxtil, 100% poliéster	m	5.250	0.42	2,187.50	9,44
5.	Tubo liso, esgoto leve, DN-75 mm, para pontos de descarga	m	75	3.06	229.78	0,99
6.	Linhas de nylon, 0,60 mm, para envelopamento espiralado	m	31.500	0.005	154.41	0,67
7.	Envelopamento manual de tubos	m	5.250	0.22	1,158.09	5
8.	Regularização de valas e assentamento orientado de tubos	m	5.250	0.21	1,093.75	4,72
9.	Reaterro manual parcial e mecânico final de valas	m	5.250	0.61	3,191.18	13,78
10.	Estruturas de desague em solos cimento, traço 1:10	Unid.	25	41.54	1,038.60	4,48
11.	Escavação de dreno coletor, material de 1ª e 2ª categoria	m ³	1.217	0.93	1,134.12	4,9
12.	Espalhamento e regularização do material escavado	m ³	1.217	0.60	731.20	3,16
13.	Mobilização-desmobilização	VB	1	343.14	343.14	1,48
Total					23,164.22	100

* 1.00 US\$ = R\$ 4,08

VB: Verba de mobilização

*Fonte: Adaptado de Drenovale, Projetos e Serviços. Petrolina-PE, 2018.

Entretanto, não se pode supervalorizar o custo de implantação e manutenção de um sistema de drenagem, em detrimento à recuperação de uma área anteriormente produtiva (DUARTE et al., 2015). Em contrapartida no Perímetro Irrigado Califórnia-SE, Resende et al. (2014) nos seus estudos apontaram que, apesar da prática da

agricultura irrigada intensiva por longo período, o processo de acumulação de sais não foi significativo, e que tal fato deve-se principalmente à predominância da textura franca, a qual favoreceu a eficiência da drenagem natural do solo e conseqüentemente a maior lixiviação dos sais. No entanto Amaral e Tavares (2006) chama atenção para a necessidade de instalação de sistemas de drenos subterrâneos, no terço inferior da vertente de um lote, com solos de textura arenosa sob irrigação, face ao acúmulo de sais presente. Isto demonstra que não se pode desprezar a influência da topografia na superfície e subsuperfície do solo mesmo em pequenas áreas.

Assim, o estudo da drenagem interna natural do solo e a necessidade ou não de instalação de um sistema de drenagem, compõem o conjunto de indicadores para o diagnóstico de solos afetados por sais.

4.5 Diagnóstico de necessidade de drenagem

A determinação da eventual demanda de retirada de água e sais do solo envolve aspectos da atmosfera, da superfície do solo, da água superficial, da zona radicular e da água subterrânea. Quando a entrada de umidade na zona radicular por infiltração de água de irrigação, da chuva ou por elevação capilar excede as perdas por evapotranspiração, o conteúdo de água no solo aumenta até alcançar o ponto de capacidade de campo, percolando o excesso de umidade até as camadas mais profundas do solo, compondo assim um ciclo agrohidrológico (BELTRAN, 1986; MEDEIROS et al., 2016).

Dentre as características indicativas de drenabilidade do perfil do solo destacam-se a profundidade da barreira, presença de mosqueado, cores indicativas de condições de oxidação-redução e a presença de concreções, bem como a sua permeabilidade expressa em condutividade hidráulica (K_{sat}). Estas características embasam a indicação de classes de drenabilidade para o semiárido, elaborada e apresentada nas Tabelas 04 e 05 (BATISTA et al., 2002). Quanto ao indicador, presença de concreções deve ser observado que estas podem ocorrer em paisagens com boa drenabilidade, como, por exemplo, em bordas de chapadas, ou seja, não pode ser considerada isoladamente.

Tabela 4. Classificação de drenabilidade de solos em função de impedimento ao fluxo, presença de lençol freático e ocorrência de sais. - CHESF/CODEVASF.

Classes de Drenabilidade	Camada impermeável*	Rocha	Mosqueado	Concreções	Lençol freático (m)	Salinidade (dS m ⁻¹)
Boa	>1,8	> 2,0	>1,30	> 1,50	> 1,50	Não detectável visualmente
Restrita	≤1,80 > 1,4	≤2,0 >1,60	0,8 ≤ 1,30	≤ 1,50	≤ 1,50	
Pobre	≤ 1,40 > 1,00	≤1,60 >1,20	≤ 0,80**	-	-	Visível ou CE ≥ 1,5 dS m ⁻¹
Crítica ou descartável	≤ 1,00	≤ 1,20	-	-	-	Solo sódico ou solódico

* Impermeável escavável (horizonte plânico ou vértico); ** Comum a abundante; distinto a proeminente (matiz com cores de redução).

Fonte: Batista et al. (2002)

Pode ser observado que na classe de drenabilidade “Pobre” onde o mosqueado a uma profundidade igual ou menor que 0,80m é um forte indicativo de necessidade de drenagem, somando-se uma salinidade visível ou uma condutividade elétrica (CEs), igual ou maior que 1,5 dSm⁻¹. Esta classe sofre um desdobramento, apresentado na Tabela 5, quanto a sua drenabilidade, ao serem introduzidos os parâmetros de condutividade hidráulica e a profundidade da barreira, ampliando assim o uso da terra.

Tabela 5. Parâmetros para avaliação da classe de drenabilidade pobre em função da condutividade hidráulica (K_{sat}) e da profundidade da barreira.

Prof. da barreira (m)	Ksat (m dia ⁻¹)	Drenabilidade
≥ 4,0	≥ 0,20	Drenável
	< 0,20	Descartável
≥ 3,0 < 4,0	≥ 0,25	Drenável
	< 0,25	Descartável
≥ 2,5 < 3,0	≥ 0,30	Drenável
	< 0,30	Descartável
≥ 2,0 < 2,5	≥ 0,40	Drenável
	< 0,40	Descartável
≥ 1,5 < 2,0	≥ 0,80	Drenável
	< 0,80	Descartável
≥ 1,2 < 1,5*	≥ 1,50	Drenável
	< 1,50	Descartável
≥ 1,0 < 1,5**	≥ 1,50	Drenável
	< 1,50	Descartável

*Rocha / duripan ** Escavável

Fonte: Batista et al. (2002).

4.6 Sustentabilidade da agricultura irrigada e drenagem agrícola

O princípio da sustentabilidade em agricultura irrigada requer que a irrigação não contribua para o acúmulo de sais no solo, ou seja, o aporte de sais via água de irrigação deve ser igual ou menor do que a quantidade que pode ser exportada da área. Assim, para manutenção desse princípio, os sistemas de drenagem tornam-se componentes imprescindíveis em projetos de irrigação (JENSEN et al., 2001; AGUIAR NETTO et al., 2007). Entretanto outros fatores interferem na degradação dos solos sob irrigação, tais como, o uso da terra, geologia, qualidade da água, drenagem natural do solo e condições climáticas (WICHELNS; CONE; STUHR, 2002). A presença de lençol freático promovida pelo excesso de irrigação, com água de baixa qualidade, em condições de alta evapotranspiração, foram fatores fundamentais para elevar a salinização dos solos em oásis áridos (HAJ-AMOR et al., 2017).

A drenagem artificial tem sido colocada como instrumento de prevenção e dessalinização dos solos irrigados nas regiões semiáridas, entretanto esta técnica sem os estudos necessários tem levado a consequências ambientais não favoráveis quanto à conservação e poluição das águas superficiais (SKAGGS; FAUSEY; EVANS, 2012). Estudos têm sido desenvolvidos para a reutilização destes excedentes de água com a técnica de drenagem de controle (TOLOMIO; BORIN, 2019). Nas áreas drenadas do PPI Senador Nilo Coelho, tem-se verificado que apesar dos altos custos de implantação dos sistemas de drenagem há uma tendência dos agricultores em abandonar sua manutenção e conservação, tanto nos drenos entubados como nas valas coletoras. a céu aberto. A aparente recuperação inicial sem considerar o aspecto cíclico do processo pode levar à degradação do solo (BELTRAN, 1986).

4.7 Condutividade hidráulica e suas Funções de Pedotransferência

No solo a velocidade de deslocamento da água é governada pelas forças de gravidade e ou capilaridade e pela permeabilidade do solo, que é a facilidade com que o solo conduz ou transporta água. Esta habilidade do solo em permitir o movimento da água é denominada condutividade hidráulica (K) que é o coeficiente de proporcionalidade entre o fluxo e o gradiente hidráulico da Lei de Darcy e tem as dimensões de uma velocidade (ILRI, 1978; PIZARRO, 1985). A sua medição e interpretação são fundamentais na análise e elaboração de projetos como na avaliação

de sistemas de drenagem para fins agrícola ou de engenharia (OLIVEIRA et al., 2003) uma vez que integra a maioria dos modelos para quantificar fluxo subterrâneo e dimensionar espaçamento, diâmetro e profundidade de drenos subterrâneos, (BELTRAN, 1986; SUGUINO; BARROS, 2016).

Diversos métodos indiretos de determinação foram desenvolvidos, como aqueles em que se calcula o valor de K em função das características dos solos. É possível também, realizar medições em laboratório com aparelhos de carga constante para análise de uma amostra (LIMA, 1986; LIMA; FARIAS; BORGES JÚNIOR, 2016; ALMEIDA, 2017), e com equipamentos para análises em série de amostras vertical ou horizontal (HILLEL, 1972; ILRI, 1978), as medições em campo podem ser obtidas pelos métodos do Auger-Hole, conhecido como Hooghoudt (PIZARRO, 1985) ou Furo do trado em presença de lençol freático e ainda o método do inverso do Auger-Hole quando em ausência do lençol freático além do método do Piezômetro, do infiltrômetro e o permeâmetro de Ghuef (BELTRAN, 1986; BATISTA, 2002; SCHERPINSKI, 2010; IBRAHIM; ALIYU, 2016; LIMA; FARIAS; BORGES JÚNIOR, 2016).

O valor da condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) é influenciado pelas características do solo, do fluido e do ambiente e é função dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, quando a água move-se através do mesmo. A geometria do espaço poroso, incluindo forma e distribuição de poros, tortuosidade, conectividade e superfície específica oferecem resistência ao movimento do fluido. Estas propriedades do meio poroso estão relacionadas a vários processos de movimento da água como infiltração, retenção e drenagem (GABRIEL et al., 2019; TREVISAN et al., 2009). Nesse contexto, de acordo com Carter e Ball (1993) e Dalmago et al. (2009), os macroporos estão relacionados com a circulação de água e os mesoporos com a retenção de água no solo.

A distribuição do tamanho de poros é em parte função da textura, entretanto, solos de textura similar pode apresentar K_{sat} diferente (BATISTA, 2002). A salinidade e/ou sodicidade quando presentes no solo podem afetar a porosidade (PEDROTTI et al. 2015), devido à dispersão das partículas, expansão das argilas e destruição dos macroporos (GHILBERTO et al., 2007). Em estudos, na região do semiárido, Lima (1986) verificou que dentre as propriedades físicas do solo, a macroporosidade apresentou melhor correlação entre os métodos de campo e de laboratório com amostras não deformadas.

Montenegro e Montenegro (2006) estudando a correlação entre diferentes classes texturais com a infiltrabilidade e a salinidade do solo verificaram a existência de correlação espacial entre a textura do solo e a condutividade hidráulica, bem como entre a textura e a condutividade elétrica (CE). A variabilidade das propriedades do solo é considerada um dos mais importantes problemas no estudo do movimento da água no solo sob condições de campo (LIMA, 1986) e que mesmo em pequenas áreas não se pode dispensar a variabilidade espacial que é inerente a complexidade do sistema solo-água e do ambiente (SOUZA et al., 2008). Conseqüentemente, surge a imprecisão na avaliação de Ksat em condição de campo, independe das técnicas empregadas para sua determinação. Esta variabilidade vai refletir nos custos das medições, em função da densidade de amostragem, da disponibilidade de mão de obra e sua relação com o custo do sistema de drenos (MESQUITA; MORAES, 2004; DUARTE et al., 2015; IBRAHIM; ALIYU, 2016).

Diante da complexidade que envolve a determinação de Ksat em campo, pesquisas têm sido desenvolvidas para obter modelos matemáticos, que permitam informações indiretas sobre Ksat, obtidas a partir de determinação das propriedades físicas do solo (ALMEIDA, 2017; SILVA, 2018; SOUZA, et al, 2014). Estes modelos são denominados de funções de pedotransferência (FPT), termo este proposto por Bouma (1989). Diversas são as FPT encontradas na literatura para este fim, tais como: Cosby et al. (1984); Saxton et al. (1986); Puckett et al. (1985); Dane e Puckett (1994); Wösten et al. (2001), com variabilidade de componentes e de formas (modelos - exponencial, linear, não linear).

Comparado às abordagens de métodos de campo com as relações empíricas entre propriedades físicas e propriedades hidráulicas estas receberam ampla preferência pela previsão de propriedades hidráulicas do solo (PATI; SINGH, 2016). Não obstante podemos generalizar as funções de pedotransferência como funções para prever propriedades físicas e químicas do solo onde se observa as relações entre as propriedades e processos do solo (SHEIN; ARKHANGEL'SKAYA, 2006).

O procedimento de modelagem de FTP recorre a análise de regressão (regressão estatística) onde as relações são equacionadas de diversas formas e comparadas por meio de métricas de avaliação como medidas de erros ou índices estatísticos, incluindo erro médio quadrático (RMSE), índice de concordância (d), erro absoluto máximo (EM), valor absoluto médio erro (MAE), coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente

de correlação (r), estas métricas foram utilizadas por diferentes pesquisadores para avaliar e validar FPT (PUCKETT; DANE; HAJEK, 1985).

A maioria das funções de FTP existentes foram desenvolvidas empiricamente, sua aplicabilidade estão limitadas aos dados usados para defini-las e seu uso em outros solos pode resultar em previsões não confiáveis (WÖSTEN et al., 2001). Nas últimas três décadas têm sido amplamente utilizadas, na ciência quantitativa do solo. As funções preditivas para estimar propriedades do solo são utilizadas, em especial, nas regiões temperadas enquanto que nos trópicos úmidos ainda há poucos trabalhos, das FPT empíricas. Destas 97 % são com base em regressão multilinear e polinomial, no Brasil os trabalhos tem sido desenvolvido no sul, sudeste e norte e correspondem a 26% (BOTULA; VAN RANST; CORNELIS, 2014) correspondendo solos na região amazônica (TOMASELLA; HODNETT, 1998) e dos estados de São Paulo (ARRUDA; JÚLIO; OLIVEIRA, 1987), Pernambuco (OLIVEIRA et al., 2002), Rio Grande do Sul (REICHERT et al., 2009).

4.8 Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho

O Projeto Público de Irrigação (PPI) Senador Nilo Coelho, incluindo a área Maria Tereza, está localizado na região do Vale do submedio do Rio São Francisco, entre as coordenadas geográficas 40°50' e 40°23' de Longitude Oeste e 09°14' e 09°27' de Latitude Sul. Está inserido na circunvizinhança da sede do Município de Petrolina no estado de Pernambuco, com 80% e suas áreas e o Município de casa Nova, norte do Estado da Bahia, onde é feita a captação de água na Barragem de Sobradinho. O projeto possui uma área total de 50.873,56 ha, dos quais 23. 449,42 ha são irrigáveis, subdivididos em 25 núcleos (N1 ao N25), distribuídos em 1961 lotes com áreas médias de 6,0 ha, para unidade parcelar familiar e 364 lotes destinados a média e grande empresa (CODEVASF, 2018).

No início do seu funcionamento no ano de 1984, os cultivos de ciclo curto foram predominantes, atualmente a fruticultura responde por 99% do valor comercializado pelos seus agricultores que superou a casa de R\$ 1,4 bilhões em 2017. Estima-se que este resultado corresponde a uma produção de frutas em torno de 700 mil toneladas, com participação expressiva das culturas; manga, uva, banana, goiaba, coco e acerola. CODEVASF, 2018).

4.9 Cultura da Manga (*Mangifera indica* L.) no Vale do submédio do São Francisco

4.9.1 Produtividade e Área colhida

A mangicultura do submédio do Vale do São Francisco atende ao mercado externo e interno, pela qualidade de seus frutos e capacidade produtiva da Região. Com adoção de tecnologias visando otimizar o manejo solo-água-plantas, como fertirrigação; uso de muda de boa qualidade, seleção de variedades com elevado potencial genético, podas, controle sanitários e uso de indutores florais, a produtividade tem oscilado em torno de $45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (AMARAL, 2011). A drenagem subterrânea tem sido associada à irrigação para atender o manejo de solo e água deste cultivos. Entretanto os dados apresentados na Figura 09 demonstram que a produtividade média anual nas áreas de (UPF), é de 21 t ha^{-1} e nas (AP) a média de 26 t ha^{-1} , atingido 30 t ha^{-1} no período de 2015 a 2017 (CODEVASF, 2018) abaixo da meta ideal de $45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

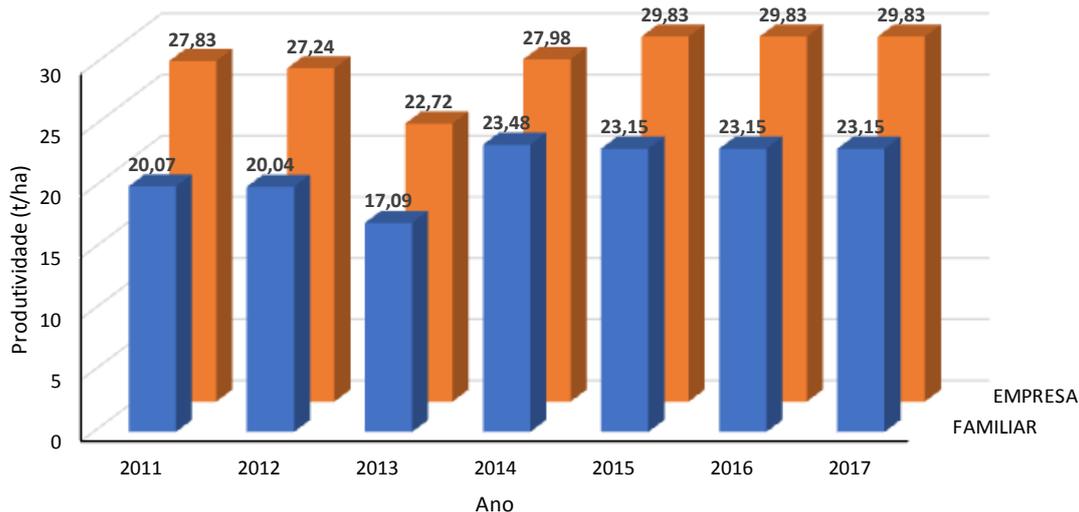


Figura 3. Produtividade histórica de manga no PPI Senador Nilo Coelho, no período de 2011 a 2017 em áreas de produção UPF e AP.

A manga tem sua origem no sudeste asiático nos bosques das montanhas do Himalaya e da Índia onde se encontram tipos de manga em estado silvestre, espécie frutífera da família Anacardiaceae, existem 14 espécies do gênero *Mangifera* de frutos

comestíveis. No Brasil o material de propagação desta fruta, chegou ao ano de 1646 pelos portugueses, enquanto a rota dos espanhóis distribuiu a manga das Filipinas ao México (CONAFRUT-INIA, 1998 apud APARICIO; DÍAZ, 2015).

A segunda rota da manga no Brasil ocorreu nos anos 60, da América do Norte (Florida) para a região sudeste e daí distribuída para as demais regiões fisiográficas. As variedades Americanas foram disseminadas no submédio do Vale do Rio São Francisco e tornaram-se atrativas nos mercados nacional e internacional pelas principais qualidades dos frutos produzidos, como baixo teor de fibra, elevados níveis de açúcares solúveis totais e boa coloração, embora exigentes em tecnologias. Dentre as cultivares mais produzidas na região destaca-se a Tommy Atkins, que ocupa 95% das áreas da mangicultura, seguida das Haden, Keitt, Kent, Palmer e as nacionais, Rosa e Espada manter (MOUCO, 2015).

4.9.2 Importância Econômica da Mangicultura

Mundialmente, o Brasil ocupa a posição de sétimo maior produtor de manga, tendo a Àsia como líder, na condição de detentora de 75 % desta produção, (FAO, 2015). Cultivada em todas as regiões fisiográficas do Brasil, a sua produção atende as necessidades de consumo interno e externo e assume a posição de maior exportador, com participação neste mercado em 2017, com um volume de 179,601 mil toneladas correspondente a 205.111 milhões de dólares. Os principais destinos são os Países Baixos (Holanda) atingindo 84,03 mil toneladas, seguido da Espanha com 21,48 mil toneladas (AGRIANUAL, 2019). A região semiárida com o cultivo da mangicultura irrigada, responde por 77% da produção nacional e o Vale do submédio do Rio São Francisco é responsável por 93% da exportação brasileira de fruta inatura desde 2014, (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI, 2019; MOUCO, 2015). Estes resultados estimularam os produtores em 2017, a uma expansão de 5,5% na área cultivada, na expectativa de um incremento positivo de produtividade em 2018, mesmo diante da escassez de água na bacia do rio São Francisco (CEPEA, 2017; ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018). A expansão da área cultivada, ao longo do tempo, vem contribuindo para o crescimento da mão de obra ativa conforme estudos de Araújo e Oliveira (2015) que destacam a geração de um emprego direto e três indiretos por cada hectare cultivado com mangueira sob irrigação.

4.9.3 Salinidade do solo na produtividade da manga

Embora a mangueira seja uma planta tolerante a seca, quando irrigada melhora em desenvolvimento e produtividade (APARICIO e DÍAZ, 2015), pois a baixa disponibilidade de água interfere no crescimento da parte aérea, no sistema radicular e na qualidade dos frutos (PRAKASH et al., 2015). A aplicação de lâmina de água via método localizado tem se expandido na região do Vale do Submédio do rio São Francisco, visando economia de água e incremento de produtividade. Outro aspecto deste método é a aplicação de fertilizantes à cultura via água de irrigação, que permite maior eficiência e economia para o mangicultor.

A mangueira é uma planta classificada como sensível ao estresse salino (MAAS, 1984), entretanto esta sensibilidade aos sais pode diferir entre cultivares. Diferença de tolerância aos níveis de sais (NaCl) em dois porta-enxertos foi verificada por Zuazo et al. (2004). Pesquisa com plântulas de dois porta-enxertos de manga sob estresse salino, induzido com solução aquosa contendo NaCl, conferiu diferença de tolerância à salinidade entre os porta-enxertos estudados (MAHOUACHI, 2018). O efeito do estresse salino produzido por sais nas doses 15; 30 e 45 mmol L⁻¹ de NaCl, nas cultivares de manga, Tommy Atkins, Palmer, Haden e Ubá, mostraram sensibilidade à concentrações maiores que 15 mmol L⁻¹ NaCl, entretanto cultivar Palmer foi a mais tolerante (LUCENA et al., 2012).

No Vale do Submédio do rio São Francisco um experimento com a cultivar de manga, Tommy Atkins, em pomar de onze anos, cultivada em Argiloso, submetida a duas fontes de sais, fertirrigada em arranjos com um micro aspersor por planta mostrou que o incremento salino elevou a condutividade elétrica do solo e que a maior produtividade obtida foi 23,1 t.ha⁻¹ (CARNEIRO et al., 2017).

4.9.4 Irrigação e drenagem para a cultura da manga

A mangueira apresenta bom desenvolvimento em solos de fertilidade e textura média, profundos e permeáveis, preferencialmente com pH entre 5,5 e 6,8. Porém, seu cultivo tem ocupado manchas de solos desde textura arenosa até muito argilosa como os Neossolos Quartzarênicos, Argissolos, Latossolos e Vertissolos na região do Submédio do Vale do São Francisco. Os solos de baixadas com possibilidade de encharcamento, não são recomendados para produção comercial, embora esta cultura suporte lençol

freático alto. Quanto ao relevo as áreas que permitam mecanização devem ser priorizadas (MATOS et al., 2000; MOUCO et al., 2015).

Embora a mangueira seja uma planta tolerante a seca, quando irrigada melhora em desenvolvimento e produtividade (APARICIO e DÍAZ, 2015), pois a baixa disponibilidade de água interfere no crescimento da parte aérea, no sistema radicular e na qualidade dos frutos (PRAKASH et al., 2015). A aplicação de lâmina de água via método localizado tem se expandido na região do Vale do Submédio do rio São Francisco, visando economia de água e incremento de produtividade. Outro aspecto deste método é a aplicação de fertilizantes à cultura via água de irrigação, que permite maior eficiência e economia para o mangicultor.

Os sistemas mais utilizados tem sido microaspersão e gotejamento, com possibilidades de diversos arranjos. Os arranjos de distribuição de água tem se tornado uma prática, dado as distintas vazões dos emissores e espaçamentos entre gotejadores disponíveis no mercado (MOUCO, 2015; CARNEIRO et al., 2017). Neste sentido SIMÕES et al. (2018), verificaram que o cultivo da mangueira cv. Keit, sob aplicação de vazão de 60 L h^{-1} com os arranjos: duas linhas de gotejo por planta, resultou em uma produtividade de 39 t ha^{-1} ; gotejo rabo de porco em 36 t ha^{-1} ; um micro aspersor por planta a produtividade foi de 33 t ha^{-1} e um micro aspersor entre plantas a produtividade atingiu 24 t ha^{-1} . Pode ser observado que a produtividade ficou acima da média da região, que é de 25 t ha^{-1} (LIMA et al., 2018) entre os arranjos rabo de porco no gotejo e um microaspersor por planta.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e descrição da área de estudo

O experimento foi conduzido no município de Petrolina - PE, localizada na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, realizado em três lotes com cultivo de manga (*Mangifera indica* L.) do Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho ($9^{\circ} 23' 55''$ S, $40^{\circ} 30' 03''$ W, e altitude de 376 m) (Figura 04) com solo Argissolo plúntico.

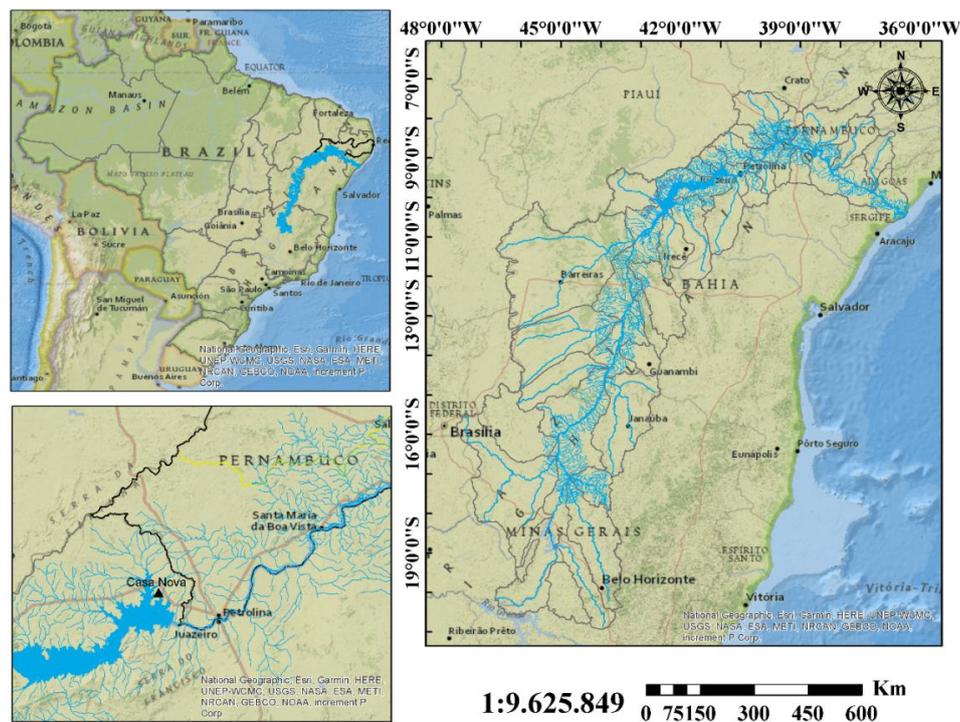


Figura 4. Localização geográfica do Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho no município de Petrolina, Estado de Pernambuco, Brasil.

Fonte: Adaptado da Codevasf (2018).

A classificação do clima da região, de acordo com Köppen (ALVARES et al., 2013), é do tipo BSh, semiárido com chuvas de verão, um período de seca de nove meses e eventos de precipitação concentrados de fevereiro a abril. As médias anuais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa da região são respectivamente, 479 mm, 25,2°C e 50,2 %, respectivamente (AZEVEDO et al., 2015).

5.2 Critérios de seleção dos lotes e topossequência dos solos

Visando obter uma maior uniformidade, possível, em campo foram estabelecidos critérios tendo por base Cartas de estudos pedológicos dos solos e plantas planialtimétrica fornecidas pela CODEVASF, 3ª SR. A seleção da área experimental levou em consideração: área de parcela familiar (APF), o tipo de solo, relevo, ausência e presença de drenagem subterrânea, sistema de manejo de irrigação e a cultura explorada.

A topossequência selecionada apresenta uma vertente com comprimento de 2.000 m, com declividade dominante de 0,7% no sentido da latitude, partindo do canal de condução e distribuição de água, CANAL “A”. O solo classificado como Argissolo Amarelo Plíntico (OLIVEIRA NETO et al., 2013), com textura média ou arenosa na superfície e argilosa em profundidade, de cor amarela a cinza com presença de mosqueados ou concreções ferruginosas ao longo do perfil. Imagens de satélite foram utilizadas para identificar e verificar posição dos lotes na paisagem do N6, a topossequência e suas coordenadas (Figura 05).

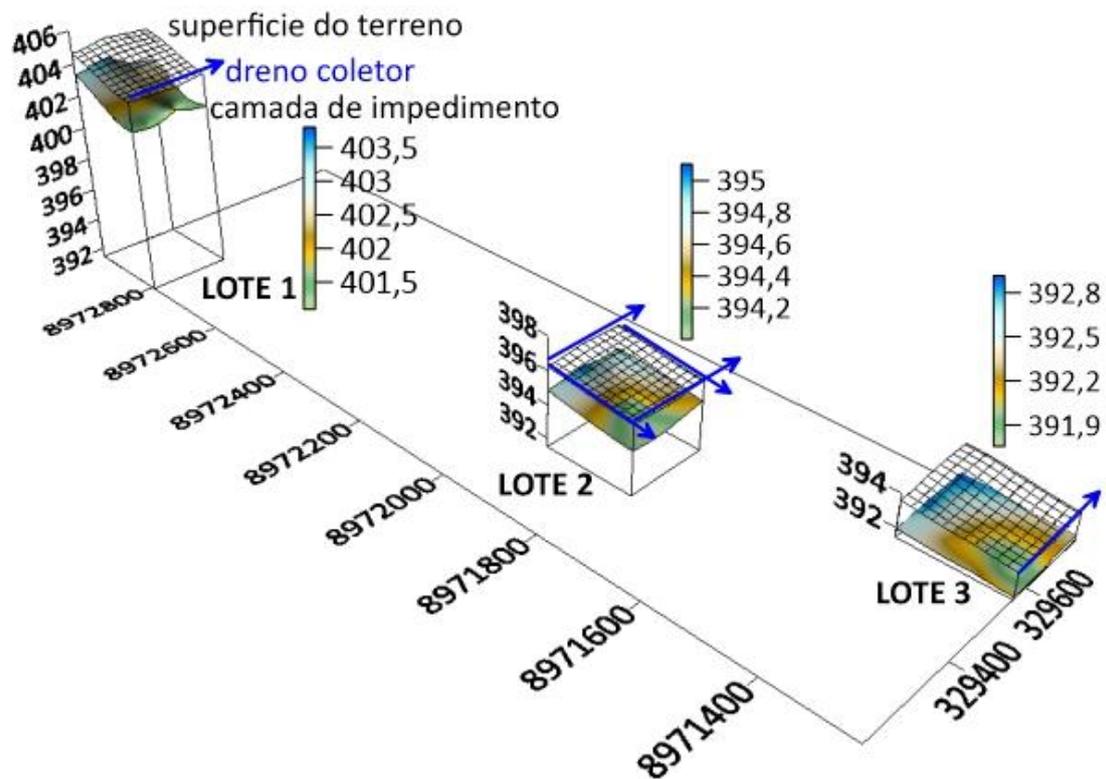
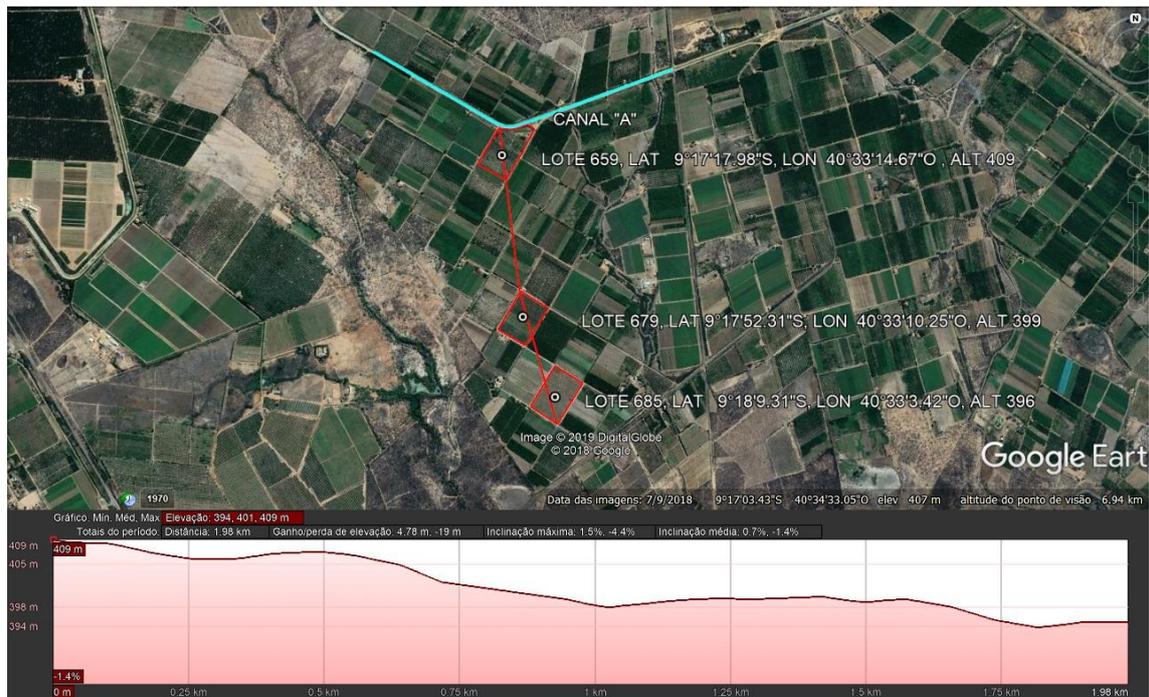


Figura 5. Imagem da Topossequência em planta, perfil e distribuição dos lotes na topossequência no Núcleo 6 do Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho.

Assim depois de identificadas as similaridades, mesmo tipo de cultura (*Mangifera indica* L.) cultivar Tommy, mesmo sistema e manejo de irrigação – microaspersão; e mesma adubação, uma vez que a água utilizada em todos os lotes provém do rio São Francisco. Foram selecionados três lotes no Núcleo seis (N 6), em três gradientes, topo, encosta e baixo, com declividade média inferior a 1%. Os lotes selecionados com seus pontos altimétricos extremos e respectivos gradientes constam na Tabela 6.

Tabela 6. Núcleo e lotes selecionados no Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho

Núcleo	Lote	Cota		Gradiente
		Superior (m)	Inferior (m)	
N6	659	406,0	402,5	Alto
N6	679	396,5	395,0	Intermediário
N6	685	394,0	392,5	Baixo*

*com drenagem

Durante as tradagens do solo foram identificadas alguns atributos na topossequência. No lote alto, o solo com textura média, franco argilo arenoso; camada de impedimento em torno de 2,00 m de profundidade, presença de mosqueado, plintita e alguns pontos ofereceram resistência a tradagem por presença de concreções a uma profundidade de média de 1,20 m (Tabela 7), sem presença do lençol freático. O solo do lote intermediário caracterizou-se por classe textural desde areia a argilo arenosa em profundidade, presença de mosqueado de leve a abundante a partir dos 0,50 m, plintita e concreções variando de 1,3 a 1,70 m e fragipan a 1,50 m e o lençol freático foi verificado a 0,55 m de profundidade. No lote baixo a predominância do solo é de classe textural areia franca e franco arenoso, bem como forte presença de mosqueado amarelo claro e cinza a partir de 0,43 m da superfície do solo. A camada de impedimento com fragipan e concreções foi identificada em dois pontos a uma profundidade média de 1,60m. Neste lote com drenagem subterrânea instalada, observou-se o lençol freático a uma profundidade de 0,90 m e a aparente falta de manutenção dos drenos coletores.

Tabela 7. Profundidade da camada de impedimento (CI) em função da topossequência.

Lote alto									
POÇOS	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	P 25	P 26	P 27
CT	403,51	404,26	405,01	403,46	404,06	404,72	403,29	403,89	404,52
CI	1,80	1,61	1,20	2,20	1,80	2,10	1,31	2,10	2,10
Lote intermediário									
POÇOS	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18
CT	395,75	395,98	396,44	395,62	395,90	396,29	395,50	395,74	396,17
CI	1,50	1,50	1,33	1,62	1,79	1,61	1,42	1,25	1,29
Lote baixo									
POÇOS	P 01	P 02	P 03	P 04	P 05	P 06	P 07	P 08	P 09
CT	393,24	393,32	393,82	392,96	393,28	393,84	392,87	393,28	393,72
CI	1,45	1,61	1,69	1,51	1,65	1,87	1,18	1,57	1,65

CT – cota do terreno (m); CI- profundidade da camada de impedimento (m).

5.3 Balanço Hídrico no Solo dos lotes

Os dados de precipitação e ETo (Tabela 8) foram obtidos com auxílio de uma estação meteorológica situada em Timbaúba Agrícola S/A (9° 14' 16,6''S e 40° 29'04,3''W, e 373 m altitude), Petrolina-PE, cerca de 10 km da área experimental. Os valores das lâminas de irrigação foram obtidos mediante a leitura dos hidrômetros do respectivo lote, transformado em milímetros em função da área irrigada. Os níveis de evapotranspiração de referência foram superiores ao volume precipitado durante todo o período analisado, o que indica balanço hídrico deficitário de março de 2017 a junho de 2018.

Tabela 8. Balanço hídrico no solo dos lotes dispostos em topossequência. Petrolina-PE, 2017

DATA	ETo (mm)	Chuva (mm)	Irrigação (mm)			Balanço hídrico (mm)		
			Topossequência			Topossequência		
			Lote alto	Lote intermediário	Lote baixo	Lote alto	Lote intermediário	Lote baixo
01/2017	195	0	94	250	105	-101	55	-90
02/2017	158	29	126	288	113	-3	159	-16
03/2017	164	52	117	211	76	5	99	-36
04/2017	152	3	80	109	73	-69	-40	-76
05/2017	136	6	64	85	74	-66	-45	-56
06/2017	127	0	85	139	105	-42	12	-22
07/2017	138	3	56	210	97	-79	75	-38
08/2017	149	3	63	115	73	-83	-31	-73
09/2017	170	17	91	127	90	-62	-26	-63
10/2017	211	1	94	134	96	-116	-76	-115
11/2017	175	7	104	136	113	-64	-32	-55
12/2017	169	44	45	118	68	-80	-7	-57
01/2018	166	26	60	128	87	-80	-12	-53
02/2018	119	75	80	127	76	36	83	32
03/2018	137	49	46	78	64	-42	-10	-24
04/2018	125	36	85	65	54	-4	-24	-35
05/2018	128	4	67	49	50	-57	-75	-74
06/2018	122	0	88	62	92	-34	-60	-30
07/2018	120	0	73	121	75	-47	1	-45
08/2018	150	0	106	230	89	-44	80	-61
09/2018	183	0	116	190	88	-67	7	-95

5.4 Georreferenciamento das áreas de estudo

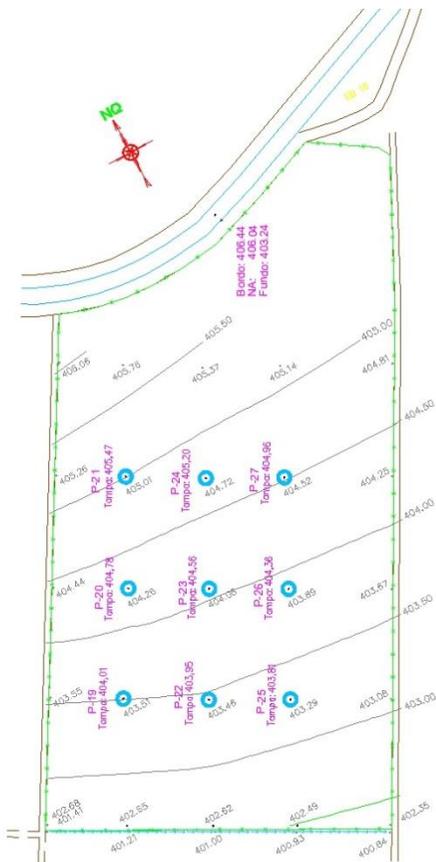
O estudo teve por base plantas planialtimétricas, em escala de 1:40000, fornecido pela CODEVASF 3ª Superintendência Regional (3ª SR). Ao centro de cada lote foi demarcado um eixo longitudinal com estacas e piquetes que serviu de referência para as seções transversais. Com a Estação Total foram obtidas cotas da superfície natural do terreno, como referência para as demais medidas. Cotas de topo e rasante do canal “A”

(na linha da topossequência) e dos drenos coletores existentes, em cada lote, foram determinadas para verificar nível de assoreamento.

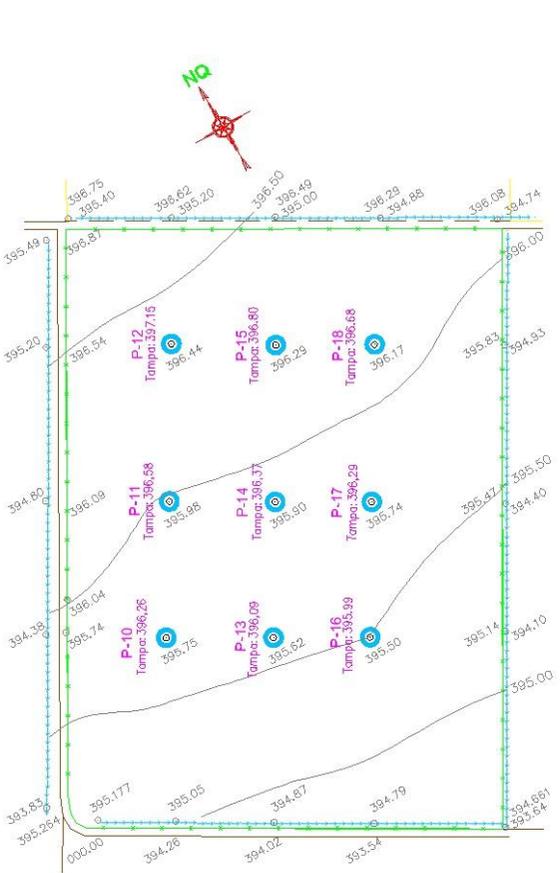
5.5 Locação e implantação dos poços de observação

Na metodologia utilizada para construção do poço de observação, foi utilizado o procedimento descrito por Beltrán (1986); Batista et al. (2002) e Lima, Farias e Borges Júnior (2016), com modificações. Uma malha retangular de nove (9) pontos, com espaçamento entre pontos de 50 m no eixo X e 75 m no eixo Y, foi implantada no sentido ascendente a partir do ponto zero, na parte baixa do lote. No lote de baixada os pontos foram locados no intermédio de dois drenos subterrâneos, onde ocorre a máxima curvatura do lençol freático e em todos os lotes foram observados pontos médios entre plantas (Figura 05). Em cada ponto foi aberto um poço com um trado, tipo holandês, com diâmetro de 7,62 cm, até atingir a camada do solo que oferecia resistência a tradagem denominada de camada de impedimento.

1 – Lote Alto
Sem drenagem



2 – Lote intermediário
Sem drenagem



3 – Lote Baixo
Com drenagem

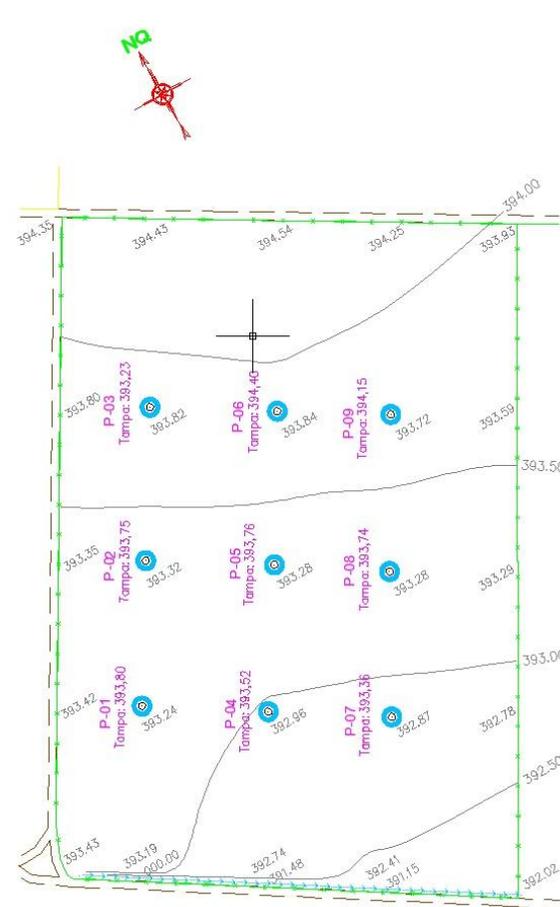


Figura 6. Localização e cotas dos poços de observação nos lotes 659, 679 e 685 respectivamente.

Um tubo de PVC de 32 mm, serrilhado no primeiro metro, a partir da extremidade inferior, sendo a parte serrilhada envolvida por uma manta sintética de poliéster, para evitar assoreamento e na extremidade superior teve acoplada uma luva de 32 mm, lisa e rosca (L/R) com um tampão de rosca externa (Figura 7a).



Figura 7. Procedimentos no campo para instalação dos poços de observação (PO) e amostragem de solo. a) tradagem para instalação dos poços b) coleta de amostras não deformadas c) identificação da presença de mosqueado.

O tubo assim preparado foi inserido no furo tradado, até atingir a camada resistente ou profundidade preestabelecida, deixando 0,50m acima do terreno natural, para facilitar a identificação e as leituras. Procedeu-se o preenchimento do espaço entre o diâmetro externo do tubo e a parede do furo, com material arenoso, coletado da tradagem do solo. Para evitar a possibilidade de erosão, causada por excedente de água, na superfície do solo, foi procedida uma compactação manual.

Assim, o poço de observação foi denominado de PO e sua numeração seguiu a orientação da malha de pontos. Para o referenciamento, cotas foram tomadas na superfície do solo e no topo de cada tubo (Figura 08).

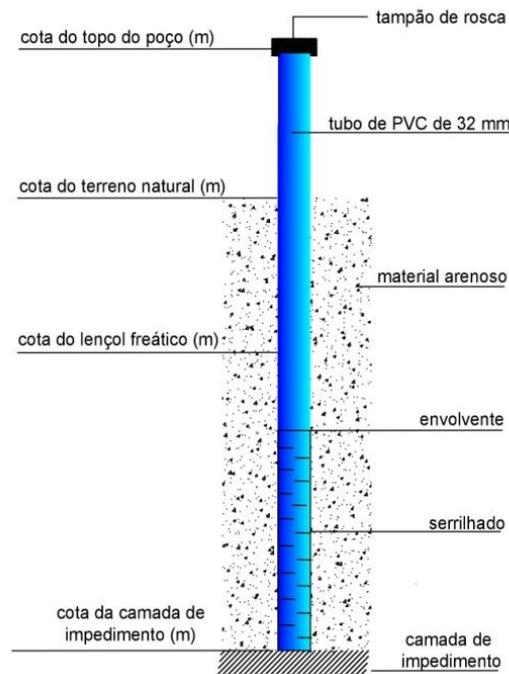


Figura 8. Instalação e referenciamento do poço de observação

Fonte: Adaptado de Amorim (1995)

5.6 Monitoramento do lençol freático

A profundidade do lençol freático (Figura 09a), em cada poço, foi medida pela diferença entre a cota do topo do poço e a leitura do nível do lençol, definida por um som emitido ao contato do “ploper” com a superfície da água (Figura 09b). O “ploper” equipamento constituído de uma fita métrica, fixada em um tubo de metal (com diâmetro de 12,7 mm e altura de ≈ 30 mm), fechado em uma extremidade e implantado um passador para fixar a trena. A base do tubo serve de zero para as leituras (Figura 9c).



Figura 9. Medição da profundidade do lençol freático. a) poço aberto para instalação do PO com presença de lençol freático; b) ploper; c) uso do ploper no poço.

Durante doze meses, foi realizado o monitoramento da flutuação do lençol freático em relação à superfície do solo. Estes dados foram coletados semanalmente, armazenados em planilha e plotados no mapa do lote, de forma a se interligar os pontos de mesma ordem de grandeza das cotas do lençol para obtenção das isoypsas, visando a identificação da direção do fluxo subterrâneo, gradiente hidráulico e zonas de carga e descarga.

O gradiente de drenagem superficial foi determinado pelas curvas de nível da superfície natural do terreno, e o gradiente de drenagem subterrânea pelas curvas de igual profundidade do lençol freático, ou seja, pelas isoypsas (Equação 01).

$$i = \frac{dv}{dh} \quad (1)$$

Em que:

i: gradiente hidráulico ou declividade de lençol ($m\ m^{-1}$)

dv: desnível entre curva de nível do terreno (m)

dh: distância horizontal em função da escala (m)

A condutividade elétrica (CE) e o potencial hidrogeniônico (pH) foram monitorados mensalmente, por doze meses, para estudo da salinidade. Para estas medições a água no poço de observação foi coletada com um extrator e depositada em um recipiente com capacidade de 50ml (copo descartável) para as respectivas leituras. Este extrator constituiu-se de um tubo de PVC com diâmetro de 20 mm, perfurado próximo a base, transversalmente, fechado com um cap. As determinações da CE e do pH foram obtidas com condutímetro e potenciômetro portáteis conforme recomendações dos fabricantes e após calibração.

5.7 Características físico-hídricas do solo

No início do experimento, final do período seco (janeiro/2017), durante a gradagem para instalação dos poços de observação, estudou-se o perfil do solo quanto a textura, pelo tato, e a presença de mosqueado ou variegado (SANTOS et al., 2013b). Ao mesmo tempo amostras de solos deformadas foram coletadas, nos pontos próximos ao local de instalação dos poços, nas camadas de 0-30, 30-60 cm, acondicionadas em sacos plásticos e etiquetadas. Após coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) seguindo

a metodologia de Fontana et al. (2017). Este procedimento foi repetido ao final do período chuvoso (maio/2017) e aos 18 meses após implantação do experimento (julho/2018), totalizando 81 amostras para cada área de estudo.

Amostras não deformadas foram coletadas, nas proximidades de cada poço de observação instalado, pelo método do anel volumétrico (volume $\approx 100 \text{ cm}^3$), com amostrador tipo Uhland (Figura 7b), nas camadas de 0-30, 30-60 e 60-90 cm, no início do experimento (janeiro/2017), seguindo as recomendações de Almeida et al. (2017a).

Durante a amostragem do solo para caracterização físico-hídrica, constatou-se a presença de lençol freático no lote 679, inserido na paisagem em posição intermediária. Esta condição de saturação impediu as coletas de amostras de solo, não deformadas pelo método do anel volumétrico, com amostrador tipo Uhland, na camada 60-90 cm. Do mesmo modo, não foi realizada a determinação da condutividade hidráulica na mesma camada do referido lote, com o uso do Permeâmetro de Guelph. Assim, optou-se por não apresentar os dados incompletos desta camada, de modo que o estudo foi enfatizado nas camadas mais superficiais (0-30 e 30-60 cm) nos três lotes monitorados.

A classificação textural do solo foi baseada na análise granulométrica com metodologia descrita por Donagemma et al. (2017) e no triângulo textural. A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico e quando da impossibilidade de coleta não deformada utilizou-se o método da proveta, seguindo as metodologias de Almeida et al. (2017b). A densidade de partículas foi obtida pela metodologia de Viana, Teixeira e Donagemma (2017). Para a obtenção da porosidade total foi seguida a metodologia descrita por Almeida et al. (2017a). Para a determinação da umidade equilibrada na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) foram utilizadas as amostras de solo não deformadas pelo método da centrífuga descrito por Sá e Viana (2017).

A porosidade drenável foi calculada pela diferença entre a umidade do solo saturado e a umidade à capacidade de campo (Equação 02), bem como pela função empírica de van Beers, conforme Equação 03, citada em ILRI (1978).

$$\mu = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{cc}}) \times 100 \quad (02)$$

$$\mu = \sqrt{K_{\text{sat}}} \quad (03)$$

Em que: μ = porosidade drenável (%)

θ_{sat} = umidade volumétrica de saturação ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

θ_{CC} = umidade volumétrica equilibrada na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada ($\text{cm} \cdot \text{dia}^{-1}$).

A constatação de presença e ausência de lençol freático nas áreas de estudo, durante da implantação do experimento, sugeriu aplicar diferentes métodos para a determinação da condutividade hidráulica *in situ*. Assim quando em presença de lençol freático a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) do perfil do solo foi medida, *in situ*, pelo método do Furo de Trado com metodologias descritas em Beltrán (1986) e Batista et al. (2002) e calculada pela Equação 04, em função das Equações 05 ou 06.

$$K = Cv \quad (04)$$

$$C = \frac{3600r^2}{(H+10r)\left(2-\frac{\bar{Y}}{H}\right)\bar{Y}}, \text{ se } S = 0 \quad (05)$$

$$C = \frac{4000r^2}{(H+20r)\left(2-\frac{\bar{Y}}{H}\right)\bar{Y}}, \text{ se } S \geq \frac{H}{2} \quad (06)$$

Onde:

K = condutividade hidráulica ($\text{m} \cdot \text{dia}^{-1}$)

v = velocidade de ascensão do nível da água no poço ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)

C = fator geométrico f (H, \bar{Y}, r, S)

H = carga hidráulica total no poço (cm)

\bar{Y} = profundidade média do nível da água, com referencia ao nível estático (cm)

r = raio do furo do trado (cm)

S = distância do poço a camada de impedimento (cm)

Na ausência de lençol freático a condutividade hidráulica (K_{insat}) foi medida, *in situ*, pelo método do Furo de Trado em ausência de lençol freático com metodologias descritas em Beltrán (1986), Batista et al. (2002) e calculada pela a Equação 07.

$$K = 432r \frac{\ln\left(h_0 + \frac{r}{2}\right) - \ln\left(h_t + \frac{r}{2}\right)}{t_n - t_0} = m/\text{dia} \quad (07)$$

onde:

K = condutividade hidráulica ($\text{m} \cdot \text{dia}^{-1}$)

r = raio do furo de trado (cm)

h_0 = altura inicial do nível de água (cm)

h_t = altura do nível d'água correspondente ao tempo t_n (cm)

t_n = tempo correspondente a altura do nível d'água h_t (s)

t_0 = tempo correspondente ao início do teste (s)

A impossibilidade de aplicar as metodologias em presença e ausência de lençol freático, acima citadas, em todos os lotes realizou-se as medições de condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) foram realizadas *in situ*, conforme descrito em Scherpinski et al. (2010), utilizando o Permeâmetro de Guelph SEC- 2800K1 da marca Soilmoisture, desenvolvido por Reynolds e Elrick (1985) e posteriormente aperfeiçoado em 1985, na University of Guelph, Canadá. O aparelho trabalha sob o princípio do tubo de Mariotte, o qual mantém uma carga constante de água no meio poroso e permite determinar entre outras propriedades (potencial matricial de fluxo e sorção) a condutividade hidráulica saturada. As medições foram realizadas em cada ponto da malha, nas profundidades intermediárias de cada camada estabelecida, ou seja, a 15; 45 e 75 cm das camadas 0-30; 30-60 e 60-90 cm, sendo esta última só realizada nos lotes 659 e 685, em virtude da presença do lençol nesta profundidade do solo no lote 679.

A variação do nível de água no reservatório (ΔL) do permeâmetro foi monitorada em intervalos de 60 segundos (Δt) até atingir o regime permanente. O critério adotado para alcançar esse estado consistiu em parar o ensaio quando se observou a repetição do valor mínimo da razão $\Delta L / \Delta t$ em quatro medições consecutivas. Para interpretação dos resultados obtidos com o Permeâmetro de Guelph utilizou-se o método teórico desenvolvido por Reynolds e Elrick (1985), o qual está baseado na equação de Richards (1931), onde o fluxo permanente de água no solo é aproximado por uma fórmula em que a vazão do regime permanente (Q) foi determinada pela Equação 08.

$$Q = R \times A \quad (08)$$

Onde:

Q = Vazão do regime permanente ($\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$)

R = Vazão constante obtida durante os ensaios ($\text{cm} \cdot \text{m}^{-1}$)

A = Área do reservatório do permeâmetro utilizado ($36,19 \text{ cm}^2$)

Segundo Zhang et al. (1998), os fatores de forma C não dependem apenas da relação carga aplicada (H) pelo raio do orifício aberto pelo trado no solo (a), isto é, H/a , mas também da textura (Tabela 9), sendo necessária a utilização de uma equação

específica para cada tipo de solo. No caso dos solos estudados nesta pesquisa, por possuir elevada quantidade de macroporos, o α utilizado foi $0,12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ e o fator de forma (C) foi calculado pela Equação 09.

$$C = \left(\frac{H/a}{2,074 + 0,093(H/a)} \right)^{0,754} \quad (09)$$

Onde:

C = Fator de forma;

h = Carga hidráulica aplicada (cm);

a = Raio do orifício aberto pelo trado no solo (cm).

Tabela 9. Valores de α sugeridos por Elrick, Reynolds, Tan (1989), em função da macroporosidade e textura do solo

$\alpha \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Tipo de solo
0,01	Argilas compactadas (aterros, liners, sedimentos lacustres e marinhos)
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras
0,12	Argilas até areias finas com alta a moderada quantidade de macroporos e fissuras
0,36	Areia grossa inclui solos com macroporos e fissuras

Os parâmetros correspondentes a infiltração dos solos foram determinados através da utilização do método de carga hidráulica proposto por Elrick, Reynolds, Tan (1989). O método consistiu em aplicar uma altura de carga hidráulica constante (H) e quando o regime permanente foi atingido (Q), a condutividade hidráulica saturada (Ksat) pôde ser determinada através da Equação 10:

$$K_{sat} = \frac{CxQ}{2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi \left(\frac{H}{\alpha}\right)} \quad (10)$$

Onde:

Ksat: Condutividade hidráulica saturada ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)

H = Altura da carga hidráulica (cm)

a = Raio do orifício aberto pelo trado no solo (cm^2)

α = Coeficiente decidido de acordo com a macroporosidade (fissuras, formigueiros, furos de raízes, etc.) e textura- estrutura do solo, a partir da Tabela 8.

C = Fator de forma, que depende da relação H/a e do tipo de solo (cm)

A aplicação desta metodologia não foi possível em alguns pontos do lote 2, intermediário na topossequência, dado a presença de lençol freático elevado. Este fato inviabilizou as medições na camada 60-90 cm, deste lote.

5.8 Caracterização química e de salinidade do solo

O potencial hidrogeniônico do solo (pH), teve sua determinação em suspensão solo: água na relação 1:2,5, seguindo a metodologia descrita por Teixeira, Campos e Saldanha (2017). As determinações dos íons solúveis dos solos e a condutividade elétrica (CEes) foram obtidas no extrato da pasta saturada, aplicando a metodologia descrita por Teixeira, Campos e Pires (2017). Os teores dos íons cálcio e magnésio foram determinados por titulometria complexiométrica enquanto que, sódio e potássio por fotometria de emissão em chama.

Os resultados dos valores dos íons cálcio, magnésio e sódio solúveis permitiu calcular a relação de adsorção de sódio (RAS) usando a expressão (Equação 11) proposta por Gapon descrita por Bohn et al. (1985).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (11)$$

Onde:

RAS = relação de adsorção de sódio ((mmol.L⁻¹)^{1/2})

Na⁺ = concentração de sódio solúvel (mmol_c L⁻¹)

Ca²⁺ = concentração de cálcio solúvel (mmol_c L⁻¹)

Mg²⁺ = concentração de magnésio solúvel (mmol_c L⁻¹)

Os cátions trocáveis foram determinados aplicando-se a metodologia sugerida por Teixeira et al. (2017a). O sódio e o potássio trocáveis foram extraídos com solução Mehlic-1 (0,05 mol L⁻¹ de HCl + 0,0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄); e determinados por espectrofotometria de emissão em chama. O cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com solução de KCl (1 mol L⁻¹); sendo cálcio e magnésio determinados por complexometria de EDTA e o alumínio trocável por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹.

A acidez potencial (H+Al) foi extraída com solução tamponada de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ e determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ (CAMPOS et al., 2017a,b,c). Aplicando-se, ainda, a metodologia sugerida por Richards (1954) e

Teixeira et al. (2017b) determinou-se o complexo sortivo: capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases trocáveis (S) e percentagem de saturação por bases (V%). A percentagem de sódio trocável (PST) foi calculada a partir dos dados da CTC e do sódio trocável (CAMPOS et al., 2017d).

5.9 Produtividade da cultura e irrigação

O registro e monitoramento da produtividade média anual da cultura durante o ano hidrológico foi obtido por informações diretamente com os produtores de cada lote por entrevista e aplicação de “Questionário Diagnóstico”, sobre o cultivar, manejo de irrigação e produtividade em toneladas por hectares. As entradas de água mensais em cada lote foram fornecidas em planilhas pelo Distrito de Irrigação Nilo Coelho - DINIC.

5.10 Análises Estatísticas

Os dados referentes ao nível freático foram tabulados e plotados com auxílio do software Surfer Gold e foram estimadas as médias relativas aos valores de condutividade elétrica e pH do lençol freático por meio da krigagem, para se observar a dinâmica do nível do lençol freático e da salinidade ao longo do período monitorado.

Para a verificação da normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. Os valores médios de CE, RAS, pH (água), CTC e PST foram comparados pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade entre camadas, entre amostragens e entre lotes na topossequência, afim de analisar a influência da topossequência e da profundidade sobre tais variáveis, com o auxílio do pacote estatístico R.

O modelo linear múltiplo geral foi utilizado para modelar a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), em função dos parâmetros físico-hídricos do solo: Textura do solo, densidade do solo, macroporosidade e umidade saturada. Desse modo foram estudados os modelos linear polinomial e exponencial, na qualidade do modelo foi utilizado o critério AIC, teste F de Snedecor, teste t de Student, o coeficiente de determinação R^2 e as medidas de erros: erro médio absoluto (MAE), raiz do erro médio quadrático (RMSE), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de correlação linear de Pearson (r) e o índice de desempenho (c). Foi utilizado o pacote estatístico R.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

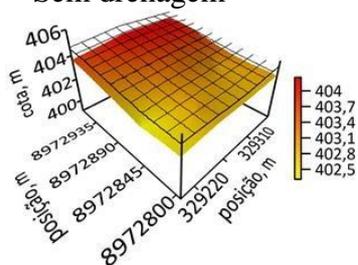
6.1 Salinidade em Nível do Lençol Freático

No primeiro trimestre analisado, nos meses de março, abril e maio (Figura 10), constatou-se completa ausência de lençol freático no lote alto, assim como se notou que, mesmo com os eventos de irrigação, o balanço hídrico foi sempre negativo.

A – MARÇO/2017

(Lote alto)

Sem drenagem

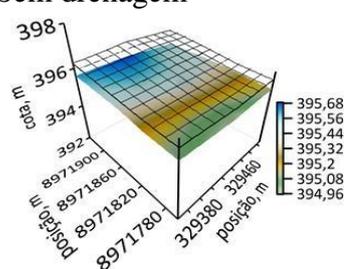


Ausência de lençol freático
Presença de mosqueado

B – MARÇO/2017

(Lote intermediário)

Sem drenagem

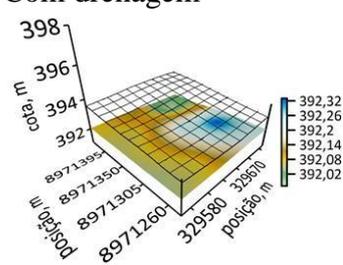


CE: 0,84 dS m⁻¹/ pH: 6,18

C – MARÇO/2017

(Lote baixo)

Com drenagem

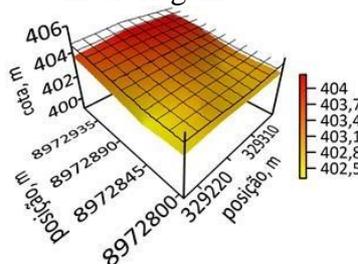


CE: 0,43 dS m⁻¹/ pH: 6,05

D – ABRIL/2017

(Lote alto)

Sem drenagem

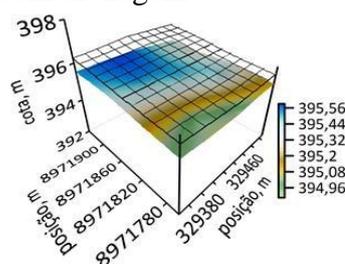


Ausência de lençol freático
Presença de mosqueado

E – ABRIL/2017

(Lote intermediário)

Sem drenagem

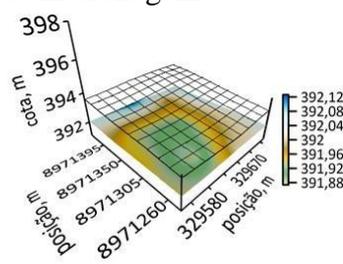


CE: 0,64 dS m⁻¹/ pH: 6,01

F – ABRIL/2017

(Lote baixo)

Com drenagem

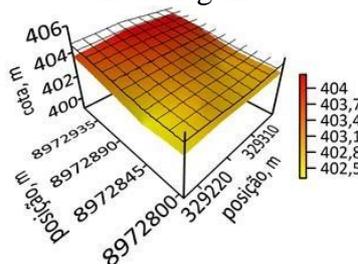


CE: 0,41 dS m⁻¹/ pH: 5,58

G – MAIO/2017

(Lote alto)

Sem drenagem

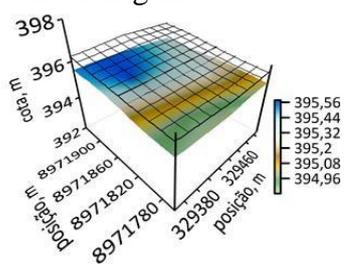


Ausência de lençol freático
Presença de mosqueado

H – MAIO/2017

(Lote intermediário)

Sem drenagem

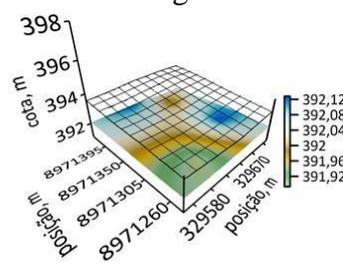


CE: 0,71 dS m⁻¹/ pH: 5,51

I – MAIO/2017

(Lote baixo)

Com drenagem



CE: 0,42 dS m⁻¹/ pH: 5,98

Figura 10. Dinâmica do lençol freático em março, abril e maio de 2017

No entanto, a presença do mosqueado indica que houve presença do lençol freático, que pode ter sido drenado de forma natural, influenciado pela topossequência e, também, evapotranspirado (Figura 10).

Constatou-se, no entanto, a presença de lençol freático no lote intermediário – sem drenagem subterrânea, notadamente, nas cotas mais elevadas do lote. Em contrapartida, no lote baixo – com drenagem subterrânea, a presença de lençol foi menos perceptível, de modo que em março/2017 foi evidente nas cotas mais baixas, ou seja, uma dinâmica diferente do que se verificou em abril e maio/2017, cuja variação espacial foi mais perceptível (Figura 10).

A presença de lençol freático no lote intermediário, mesmo tendo drenos coletores em todo seu perímetro, pode ser atribuída a aplicação de lâminas de irrigação que superaram a demanda de evapotranspiração. Dentre outros aspectos, a granulometria preponderantemente arenosa, associada uma condutividade hidráulica de $1,20 \text{ m dia}^{-1}$ (Tabela 10), podem ter favorecido o escoamento subterrâneo no sentido da topossequência, fato que pode ter implicado na presença de lençol freático no lote baixo – com drenagem subterrânea, mesmo com balanço hídrico negativo. Neste sentido, Sales et al. (2004) corroboram, acrescentando que o fluxo subterrâneo ocorre no sentido do escoamento natural das águas superficiais.

Tabela 10. Caracterização físico-hídrica do solo dos lotes estudados

Camada cm	Ksat cm.h ⁻¹	Areia -----g	Silte Kg ⁻¹ -----	Argila -----	Classe Textural	Ds kg dm ⁻³	Dp	CC m ³ m ⁻³	Pt -----%	M	PD
Lote alto											
0-30	6,59	767,20	121,06	111,75	franco arenoso	1,74	2,58	0,1621	32,46	19,54	9,23
30-60	1,01	665,84	121,50	212,66	franco argilo arenoso	1,65	2,59	0,1870	36,39	19,56	5,97
Lote intermediário											
0-30	5,26	890,72	66,32	42,96	areia	1,69	2,44	0,1154	30,40	25,52	10,85
30-60	0,75	791,83	78,79	129,38	franco arenoso	1,61	2,62	0,809	38,66	8,45	2,60
Lote baixo											
0-30	3,69	824,45	88,54	87,01	areia franca	1,72	2,56	0,0932	32,91	16,93	11,62
30-60	1,65	741,53	92,10	166,37	franco arenoso	1,68	2,55	0,1660	34,12	20,24	4,69

Ksat – condutividade hidráulica saturada; Ds – densidade do solo; Dp – densidade das partículas; CC – capacidade de campo; Pt – porosidade total; M – macroporosidade; PD – porosidade drenável.

Por outro lado, embora não se tenha verificado maiores alterações no pH do lençol freático quando se comparou os lotes intermediário e baixo, a condutividade

elétrica do lençol freático – CElf verificada no lote intermediário foi 48,8; 35,93 e 40,84% maior, em relação a CElf do lote baixo, o que pode ser atribuído a retirada de água e sais pelo sistema de drenagem subterrânea, instalado no lote baixo (Figura 10).

No segundo trimestre estudado, ou seja, em junho, julho e agosto de 2017, a demanda evapotranspirativa superou as lâminas de precipitação e irrigação em todos os lotes, assim como não se constatou presença de lençol freático no lote alto (Figura 11).

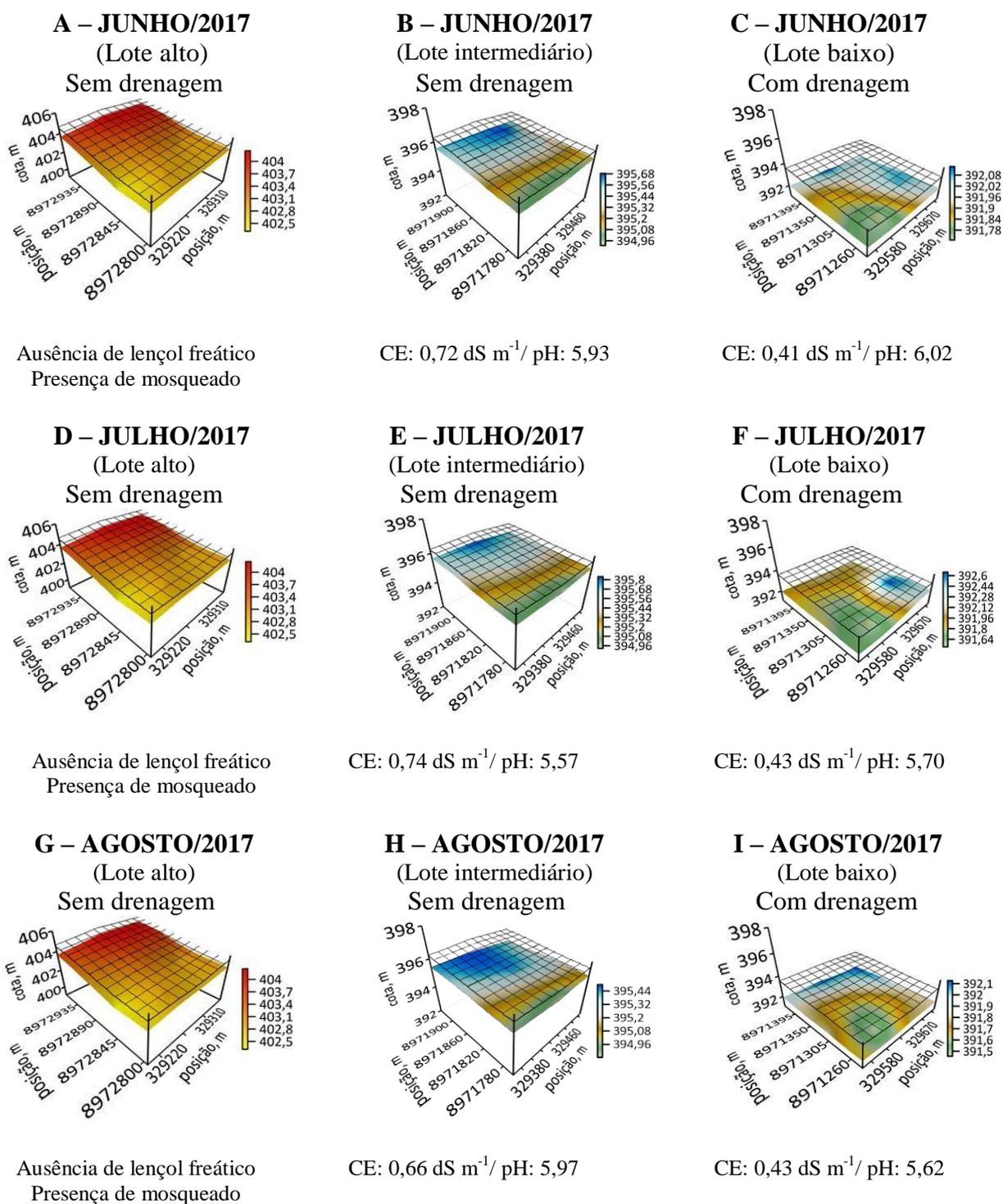


Figura 11. Dinâmica do lençol freático em junho, julho e agosto de 2017.

Para além do balanço hídrico negativo, especialmente no segundo trimestre, a ausência de lençol freático pode ser associada a eventuais eventos de escoamento subterrâneo, favorecidos pela topossequência, uma vez que a presença de mosqueado evidencia que houve presença do lençol freático no lote alto.

No lote intermediário, apesar do balanço hídrico negativo, a presença de lençol freático pode ser atribuída a superfície da camada de impedimento, que assume a forma côncava região central do lote, favorecendo o acúmulo de água e sais. No lote baixo, a dinâmica do lençol freático apresentou tendências similares ao do trimestre anterior, notadamente, em função da presença do sistema de drenagem subterrânea (Figura 11).

A tendência de menores valores da CElf no lote baixo em relação ao lote intermediário, evidencia o papel da drenagem subterrânea, uma vez que a dinâmica do movimento de água e sais no solo é naturalmente favorecida pela topossequência, proporcionando acúmulo de água e sais nos pontos mais baixos (SALES et al., 2004). Por outro lado, mesmo com o balanço hídrico negativo (Tabela 8), a variação na CElf no lote intermediário pouco variou em relação ao primeiro trimestre estudado, indicando que não houveram incrementos de sais, mesmo sob balanço hídrico deficitário.

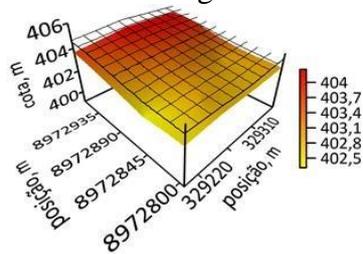
No início do terceiro trimestre estudado até o mês de outubro de 2017, o balanço hídrico do lote intermediário foi positivo e, nos demais lotes, foi negativo durante todo o trimestre (Tabela 8). Neste cenário, também se constatou ausência de lençol freático e presença do mosqueado no lote alto durante todo o terceiro trimestre estudado (Figura 12).

A dinâmica do lençol freático no lote intermediário, nos meses de setembro e outubro de 2017, foi influenciada pelo aporte hídrico via irrigação, de modo que a distribuição do lençol freático apresentou a tendência de concentração na mesma região do lote (Figura 12). No entanto, em novembro de 2017, quando a demanda da evapotranspiração foi superior ao aporte hídrico, constatou-se uma tendência de fluxo do lençol freático para as cotas mais baixas do lote intermediário e de acúmulo nas cotas mais elevadas do lote baixo.

Neste contexto, o papel da topossequência está associado ao favorecimento do fluxo subterrâneo de água e sais pela diferença de cota, o qual, também é influenciado pelas características físico-hídricas do solo dos lotes (Tabela 10). Em estudos sobre a dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas Andrade et al. (2016), também constataram excedentes de lâminas de irrigação e recarga

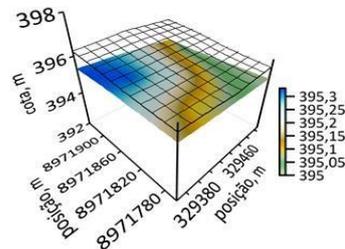
de poços, durante a estação seca, indicando o movimento da água para cotas mais baixas.

A – SETEMBRO/2017
(Lote alto)
Sem drenagem



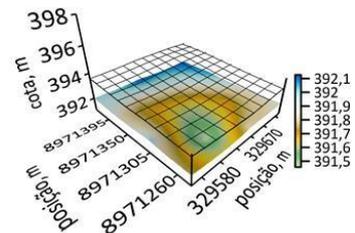
Ausência de lençol freático
Presença de mosqueado

B – SETEMBRO/2017
(Lote intermediário)
Sem drenagem



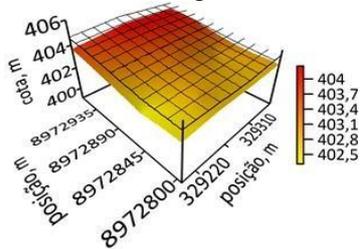
CE: 0,69 dS m⁻¹/ pH: 5,65

C – SETEMBRO/2017
(Lote baixo)
Com drenagem



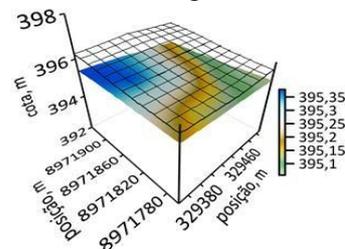
CE: 0,42 dS m⁻¹/ pH: 6,01

D – OUTUBRO/2017
(Lote alto)
Sem drenagem



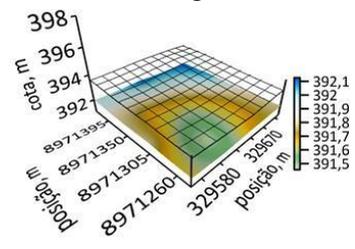
Ausência de lençol freático
Presença de mosqueado

E – OUTUBRO/2017
(Lote intermediário)
Sem drenagem



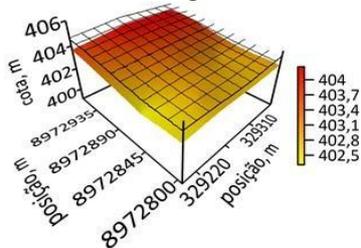
CE: 0,69 dS m⁻¹/ pH: 5,70

F – OUTUBRO/2017
(Lote baixo)
Com drenagem



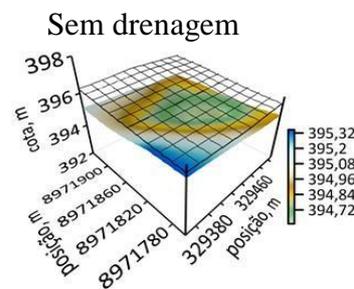
CE: 0,45 dS m⁻¹/ pH: 5,65

G –
NOVEMBRO/2017
(Lote alto)
Sem drenagem



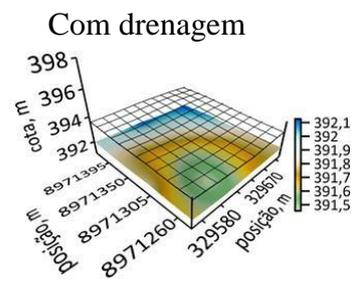
Ausência de lençol freático
Presença de mosqueado

H – NOVEMBRO/2017
(Lote intermediário)
Sem drenagem



CE: 0,71 dS m⁻¹/ pH: 5,84

I – NOVEMBRO/2017
(Lote baixo)
Com drenagem



CE: 0,46 dS m⁻¹/ pH: 6,12

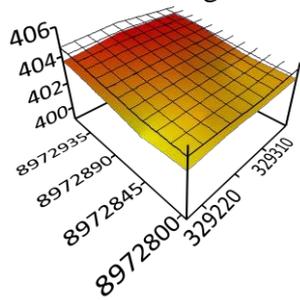
Figura 12. Dinâmica do lençol freático em setembro, outubro e novembro de 2017

O maior volume de chuva foi precipitado nos lotes durante o quarto trimestre da presente análise, no entanto, a demanda da evapotranspiração foi maior que o aporte hídrico da irrigação e da chuva somados, configurando déficit durante todo o quarto trimestre (Tabela 8). De pronto, assim como nos demais períodos analisados, fica evidente a ausência de lençol freático e presença de mosqueado no lote alto durante o quarto trimestre analisado (Figura 13). A sequência no déficit hídrico, presente deste novembro de 2017, proporcionou a ocorrência de pequenas variações na dinâmica do lençol freático durante este trimestre. Desse modo, a presença do lençol freático nos lotes intermediário e baixo concentrou-se em cotas mais altas no primeiro, e em cotas mais baixas, no segundo, restringindo-se a pequenas áreas (Figura 13).

Vale ressaltar que a CElf e o pH do lençol freático pouco variou entre o primeiro e quarto trimestres avaliados no lote intermediário, mesmo sem a presença de drenagem subterrânea e sob condições de irrigação. Neste caso, é possível associar este resultado a processos de lixiviação induzida pela lâmina de irrigação, a capacidade de drenagem do solo e, preponderantemente, a dinâmica de água e sais imposta pela topossequência (SOUZA et al., 2002).

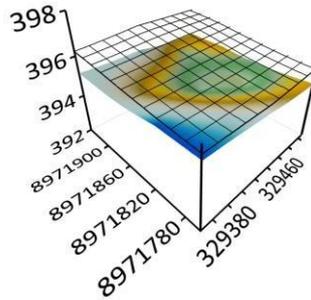
De igual modo, a dinâmica da CElf e do pH do lençol freático pouco variou no lote baixo, considerando-se todo o período avaliado. De pronto, a drenagem natural sugere maior acúmulo de água e sais nas cotas mais baixas, tornando-as mais susceptíveis aos processos de salinização (GHEYI et al., 1997; MUNNS, 2012). Dentro desta lógica, os resultados ora discutidos, ratificam a importância da drenagem subterrânea na retirada de água e sais (SALES et al., 2004), porém a sua indispensabilidade, neste caso, esteve relacionada apenas a lotes específicos da topossequência, notadamente, na cota mais baixa. Em estudos sobre o lençol freático em áreas irrigadas no Vale do São Francisco, Cabral et al. (1998) também constataram a existência de pontos críticos em locais específicos dentro da área, ou seja, pontos em que o nível freático comprometia o desempenho da cultura trabalhada.

A – DEZEMBRO/2017
(Lote alto)
Sem drenagem



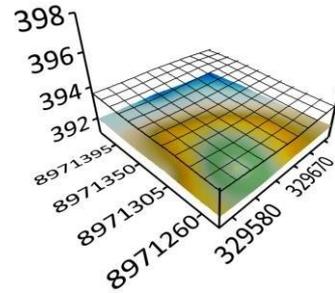
Ausência de lençol freático
Presença de mosqueado

B – DEZEMBRO /2017
(Lote intermediário)
Sem drenagem



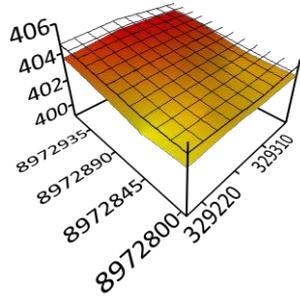
CE: 0,74 dS m⁻¹/ pH: 5,68

C – DEZEMBRO /2017
(Lote baixo)
Com drenagem



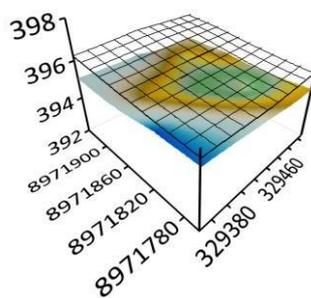
CE: 0,44 dS m⁻¹/ pH: 5,95

D – JANEIRO/2018
(Lote alto)
Sem drenagem



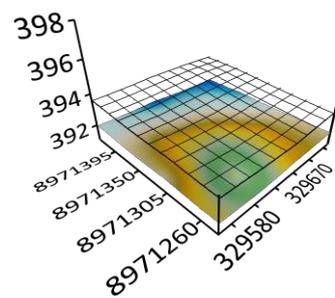
Ausência de lençol freático
Presença de mosqueado

E – JANEIRO/2018
(Lote intermediário)
Sem drenagem



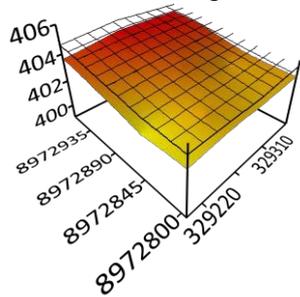
CE: 0,69 dS m⁻¹/ pH: 5,55

F – JANEIRO/2018
(Lote baixo)
Com drenagem



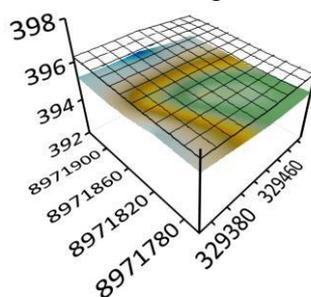
CE: 0,46 dS m⁻¹/ pH: 5,89

G – FEVEREIRO/2018
(Lote alto)
Sem drenagem



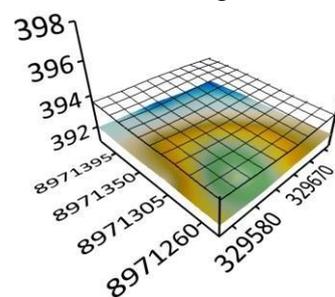
Ausência de lençol freático
Presença de mosqueado

H – FEVEREIRO/2018
(Lote intermediário)
Sem drenagem



CE: 0,71 dS m⁻¹/ pH: 5,79

I – FEVEREIRO/2018
(Lote baixo)
Com drenagem



CE: 0,45 dS m⁻¹/ pH: 6,01

Figura 13. Dinâmica do lençol freático em dezembro de 2017, janeiro e fevereiro de 2018.

6.2 Salinidade do Solo

Ao observar os valores médios da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (CEes), em todas as amostras coletadas e analisadas, constata-se que não há tendência de salinização no solo dos lotes estudados (Tabela 11). Os valores da CEes dessas amostras não alcançaram o limite de 4 dS m^{-1} (RICHARDS, 1954) independente da posição na paisagem, das épocas e camadas.

Tabela 11. Valores médios de condutividade elétrica no extrato de pasta saturada (CEes, dS m^{-1}) nas camadas 0-30 e 30-60cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018)

Camada (cm)	Topossequência		
	Lote alto	Lote intermediário	Lote baixo
Janeiro/2017			
0-30	0,50 Aa ^{ns}	0,75 Aa ^{ns}	0,70 Ba ^{ns}
30-60	0,34 Ab	0,54 Aab	0,74 Aa
Maio/2017			
0-30	0,42 Ac ^{ns}	0,75 Ab ^{ns}	1,20 Aa*
30-60	0,27 Ac	0,56 Ab	0,88 Aa
Julho/2018			
0-30	0,38 Ab ^{ns}	0,46 Bab ^{ns}	0,69 Ba*
30-60	0,21 Ab	0,29 Bb	0,94 Aa

Letras maiúsculas comparam a mesma camada em função do tempo de amostragem. Letras minúsculas comparam os resultados entre lotes baixo, intermediário e alto. * ou ^{ns} indicam significância ($p < 0,05$) ou não ($p > 0,05$), respectivamente, das camadas dentro de cada época de amostragem.

Desse modo, observa-se que não foi constatada variação significativa ($p > 0,05$) na CEes no sentido da topossequência, na camada de 0 a 30 cm, na coleta de Janeiro/2017, e que em contrapartida, nesta mesma camada do solo, a CEes aumentou 185,7% em maio/2017 e 81,5% em julho/2017 quando se comparou o lote alto e baixo (Tabela 11). Quando a comparação foi feita na camada de 30-60 cm, o aumento da CEes no sentido da topossequência foi de 117,6% em janeiro/2017, de 225,9% em maio/2017 e de 347,6% em julho/2017, ou seja, houve tendência de aumento da CEes no lote de baixo com o tempo, notadamente, dentro do ano hidrológico estudado. Vale ressaltar ainda, que nas coletas de maio e julho/2017 também houve diferença significativa ($p < 0,05$) quando se comparou o lote intermediário – sem drenagem subterrânea com o lote baixo – com drenagem subterrânea (Tabela 11).

Ao final do período chuvoso (maio/2017), as amostras de solos foram coletadas e analisadas. Os valores de CEes obtidos foram maiores, em termos absolutos, nas camadas 0-30 cm dos três lotes, em toda a topossequência. No entanto, apenas o lote baixo, com drenagem, apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as camadas 0-30 cm e 30-60 cm. Além disso, houve um incremento ($p < 0,05$) positivo na ordem de 62% em relação ao período seco (janeiro/2017) na camada 0-30 cm. Por outro lado, nos lotes sem drenagem os valores não diferiram entre os dois primeiros períodos de amostragem. Quanto ao lote baixo, o incremento pode estar associado a sua posição na paisagem e/ou acréscimo do íon sódio. Assim, de um modo geral, a maior CEes média ($1,20 \text{ dS m}^{-1}$) foi constatada na coleta de maio/2017, na camada de 0 a 30 cm, no lote baixo, ou seja, o solo não pode ser considerado salino e este valor é inferior a salinidade limiar da manga que é de $2,4 \text{ dSm}^{-1}$ (AYERS; WETSCOOT, 1999). Por outro lado, embora a lâmina da ETo seja maior que a da precipitação durante todo o período de estudo, o que favorece o processo de salinização do solo (PEDROTTI et al., 2015), a tendência a não salinização pode ser atribuída a processos naturais e/ou induzidos de lixiviação, notadamente, pelo manejo da irrigação adotado nos lotes (Tabela 8).

De um modo geral, nas amostras de solos coletadas em julho de 2018, os valores da CEes refletem menor concentração de sais em toda topossequência na camada superficial (0-30 cm), especialmente no lote intermediário onde as diferenças foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Esta redução dos valores da CEes pode estar associada as maiores precipitações ocorridas no período chuvoso de 2018 (Tabela 8). Quanto ao lote baixo foi verificado significativo ($p < 0,05$) aumento no valor de CEes na camada 30-60 cm em julho/2018, o que evidencia o acúmulo de água e sais nas cotas inferiores da topossequência e a necessidade de drenagem subterrânea. Entretanto, torna-se imperioso a conservação e manutenção dos drenos subterrâneos (LIMA et al., 2016).

É evidente que a tendência da dinâmica de água e sais é seguir a topossequência, o que proporciona o acúmulo de sais nas cotas mais baixas (PARAHYBA et al., 2010) e, de modo concomitante, a atuação da ETo favorece a concentração dos sais na região radicular (AYERS; WESTCOT, 1999). A tendência de aumento da CEes na cota mais baixa, pode estar relacionada a eficiência do sistema de drenagem ou a sua estratégia de dimensionamento.

A variação do pH esteve dentro da faixa de 5,94 a 7,23, ou seja, em grande parte, dentro do espectro cuja disponibilidade de nutrientes para a maioria das culturas é o

ideal. Nesta análise específica, na camada de 0-30 cm, só se constatou influência ($p < 0,05$) da topossequência na coleta de janeiro/2017 (Tabela 12).

Tabela 12. Valores médios de pH (água) nas camadas 0-30 e 30-60 cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018)

Camada (cm)	Topossequência		
	Lote alto	Lote intermediário	Lote baixo
	Janeiro/2017		
0-30	7,13 Aa ^{ns}	7,01 Aab ^{ns}	6,75 Ab ^{ns}
30-60	7,23 Aa	6,84 Ab	6,48 Ac
	Maio/2017		
0-30	6,48 Ba ^{ns}	6,72 Aa*	6,63 Aa *
30-60	6,47 Ba	6,37 Ba	5,94 Bb
	Julho/2018		
0-30	7,11 Aa*	6,85 Aa ^{ns}	6,88 Aa*
30-60	6,72 Bab	6,93 Aa	6,49 Ab

Letras maiúsculas comparam a mesma camada em função do tempo de amostragem. Letras minúsculas comparam os resultados entre lotes baixo, intermediário e alto. * ou ^{ns} indicam significância ($p < 0,05$) ou não ($p > 0,05$), respectivamente, das camadas dentro de cada época de amostragem.

Por outro lado, na camada de 30-60 cm verificou-se influência significativa ($p < 0,05$) da topossequência nas três coletas analisadas, com maiores valores de pH nas cotas mais elevadas, ou seja, diferente do constatado por Pereira et al. (2013) que observaram, ao longo da topossequência, que os maiores valores de pH ocorrem nos perfis localizados na baixada, indicando a lixiviação e acumulação de cálcio nas partes mais baixas da topossequência.

Quando se analisa a camada de 0-30 cm nas três coletas não se verifica diferença significativa ($p < 0,05$) no pH, exceto, no lote alto, na coleta de maio/2017. Não obstante, na camada de 30-60 cm, os resultados da coleta de maio/2017 também se diferenciam ($p < 0,05$) das demais nas três cotas da topossequência. Estes resultados relacionados ao pH podem ser atribuídos ao material de origem, não sendo verificada grande variação de pH entre profundidades (PEREIRA et al., 2013), mas sim entre as cotas da topossequência.

A CTC do solo foi influenciada pela topossequência na coleta de janeiro/2017, em ambas as profundidades avaliadas, com destaque ($p < 0,05$) para o lote intermediário, e na coleta de julho/2018, com destaque para o lote alto, notadamente, na camada de 30 a 60 cm (Tabela 13). Quando se comparam as duas profundidades avaliadas, em cada

coleta, não consta influência significativa ($p>0,05$) da CTC do solo em nenhuma época de análise.

Tabela 13. Valores de CTC nas camadas 0-30 e 30-60 cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018)

Camada (cm)	Toposequência		
	Lote alto	Lote intermediário	Lote baixo
Janeiro/2017			
0-30	6,75 Ac ^{ns}	11,50 Aa ^{ns}	9,59 Ab ^{ns}
30-60	6,50 Ab	10,68 Aa	7,79 Ab
Maio/2017			
0-30	5,02 Aa ^{ns}	4,41 Ca ^{ns}	4,87 Ba ^{ns}
30-60	4,08 Ba	4,31 Ba	5,39 Ba
Julho/2018			
0-30	5,85 Aa ^{ns}	6,44 Ba ^{ns}	7,13 Ba ^{ns}
30-60	4,90 ABb	4,96 Bb	8,13 Aa

Letras maiúsculas comparam a mesma camada em função do tempo de amostragem. Letras minúsculas comparam os resultados entre lotes baixo, intermediário e alto. * ou ^{ns} indicam significância ($p<0,05$) ou não ($p>0,05$), respectivamente, das camadas dentro de cada época de amostragem.

A relação de adsorção de sódio (RAS) com os valores obtidos nas coletas realizadas nas áreas de estudo, permite observar que não há tendência de atingir o limite de sodicidade (Tabela 14).

Tabela 14. Relação de adsorção de sódio (RAS) nas camadas 0-30 e 30-60 cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018)

Camada (cm)	Toposequência		
	Lote alto	Lote intermediário	Lote baixo
Janeiro/2017			
0-30	0,22 Ba ^{ns}	0,27 Aa ^{ns}	0,54 Ba*
30-60	0,21 Bb	0,36 Ab	0,98 Ba
Maio/2017			
0-30	0,28 ABa ^{ns}	0,44 Aa ^{ns}	0,55 Ba*
30-60	0,46 Ab	0,55 Ab	0,94 Ba
Julho/2018			
0-30	0,56 Ab ^{ns}	0,55 Ab ^{ns}	1,08 Aa*
30-60	0,51 Ab	0,62 Ab	1,60 Aa

Letras maiúsculas comparam a mesma camada em função do tempo de amostragem. Letras minúsculas comparam os resultados entre lotes baixo, intermediário e alto. * ou ^{ns} indicam significância ($p<0,05$) ou não ($p>0,05$), respectivamente, das camadas dentro de cada época de amostragem.

Este limite se caracteriza por valores de RAS de $13 \text{ (mmol L}^{-1}\text{)}^{1/2}$, acima do qual o solo é classificado como sódico ou com percentagem de sódio trocável (PST) maior que 15%.

Os valores da RAS foram maiores nas camadas 30-60 cm nas três épocas de coletas no lote baixo. Este resultado pode ter sido influenciado por lâminas de irrigação que favoreceram a lixiviação do íon sódio da camada 0-30 cm (Tabela 14).

Quando se analisa os valores de RAS e da percentagem de sódio trocável (PST) verifica-se que, na camada de 0-30 cm, eles só foram influenciados ($p < 0,05$) pela topossequência na coleta de julho/2018 (Tabelas 14 e 15). Especificamente quanto a RAS, no comparativo entre épocas analisadas, na mesma camada, verifica-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre maio/2017 e julho/2018 e, quando se compara a profundidade dentro da mesma época de análise, observam-se os maiores ($p < 0,05$) valores no lote baixo em comparação com o alto. Por outro lado, quanto a PST, nas coletas de janeiro/2017, maio/2017 e julho/2018 não há significância ($p > 0,05$) da topossequência, havendo da profundidade ($p < 0,05$) para a coleta de julho/2018 (Tabela 15).

Em linhas gerais, os valores da RAS e PST não sugerem tendência de problemas relacionados à sodicidade (AYERS; WETSCOOT, 1999). Por outro lado, é possível verificar significância em função da topossequência, notadamente, com maiores valores no lote mais baixo.

Tabela 15. Valores médios de PST nas camadas 0-30 e 30-60 cm nos Lotes (alto), (intermediário) e (baixo), nas três amostragens (janeiro/2017; maio/2017; julho/2018)

Camada (cm)	Topossequência		
	Lote alto	Lote intermediário	Lote baixo
Janeiro/2017			
0-30	0,56 Ba ^{ns}	0,38 Ba ^{ns}	0,90 Ba ^{ns}
30-60	0,56 Ba	0,37 Ba	1,46 Ba
Maio/2017			
0-30	0,75 Ba ^{ns}	1,03 Ba ^{ns}	1,25 Ba ^{ns}
30-60	0,98 Ba	1,46 Ba	2,49 Ba
Julho/2018			
0-30	6,16 Ab ^{ns}	5,39 Ab*	17,08 Aa*
30-60	6,06 Ab	8,78 Ab	28,26 Aa

Letras maiúsculas comparam a mesma camada em função do tempo de amostragem. Letras minúsculas comparam os resultados entre lotes baixo, intermediário e alto. * ou ^{ns} indicam significância ($p < 0,05$) ou não ($p > 0,05$), respectivamente, das camadas dentro de cada época de amostragem.

6.3 Produtividade da manga em topossequência

Com base nas respostas coletadas nos questionários aplicados aos proprietários dos lotes, durante o período deste estudo, anos 2017 a 2018, foi observado que o lote alto na topossequência obteve produtividade média de $25 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto o lote intermediário atingiu $35 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e, em contra partida, o lote baixo alcançou $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os resultados das áreas situadas nas partes altas e baixas da vertente têm apresentado esta tendência desde anos anteriores. Estes pomares foram implantados há mais de 12 anos, com a cultivar Tommy Atkins.

O lote alto atinge a produtividade considerada de retorno financeiro satisfatório que é de 25 t ha^{-1} de frutos comerciais em uma safra, enquanto que o lote baixo, com drenagem, apresenta resultado inferior. Uma alternativa nesse caso, corriqueiramente adotada no local, é a indução do pomar à segunda safra. Por outro lado, o lote intermediário se aproxima da produtividade de $45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com duas colheitas preconizadas por Amaral (2011). Os produtores dos lotes alto e baixo relataram a insatisfação com a tendência dos resultados apresentados por seus mangueirais, entretanto seus resultados estão próximos aos apresentados por Simões et al. (2018), que é de $24 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para arranjos de um microaspersor por planta. Diante das características físico-hídricas e de salinidade do solo nos lotes, na topossequência, discutidas neste estudo os resultados sugerem que o estresse hídrico é o principal fator de impacto na produtividade. Isto se constata no déficit hídrico a que foram submetidos os lotes alto e baixo (Tabela 8) durante o período analisado.

6.4 Correlação entre parâmetros físico-hídricos

Nesta pesquisa foi considerada a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) como a variável dependente dos demais parâmetros físico-hídricos. Dessa forma, verificou-se que a correlação de Pearson entre a K_{sat} e as frações granulométricas, argila (-0,61) e areia (+0,54) foi moderada (Tabela 16). A composição mineralógica da argila implica, notadamente, em uma correlação negativa com a K_{sat} , ou seja, se uma aumenta a outra diminui, em contrapartida, quanto maior a quantidade de areia, maior a K_{sat} (RIBEIRO et al., 2007).

Tabela 16. Correlação entre a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) e parâmetros físico-hídricos do solo pelo coeficiente de correlação de Pearson (r)

	K_{sat}^1	Areia	Silte	Argila	D_s^2	θ_{sat}^3	Macroporosidade
K_{sat}	1						
Areia	0,54	1					
Silte	-0,17	-0,72	1				
Argila	-0,61	-0,95	0,46	1			
D_s	0,21	0,058	0,074	-0,11	1		
θ_{sat}	-0,062	-0,15	0,02	0,19	-0,63	1	
Macroporosidade	0,37	0,34	-0,20	-0,34	-0,37	0,71	1

¹ Condutividade hidráulica saturada; ² Densidade do solo; ³ Umidade de saturação

A forma, quantidade, distribuição e a continuidade dos poros, fatores que influenciam diretamente a K_{sat} , também são dependentes da textura e estrutura do solo (GONÇALVE; LIBARDI, 2013). No entanto, a correlação é moderada por que, além da textura são importantes os efeitos concorrentes, principalmente da mineralogia, da estrutura e da porosidade (SAKAGUCHI; NISHIMURA; KATO, 2005), ou seja, embora a maior correlação positiva e negativa tenha sido constatada para areia e argila, respectivamente, a elevada variabilidade da K_{sat} verificada em solos com classes texturais diferentes (MESQUITA; MORAES, 2004), indica que inferências com base apenas nas frações granulométricas podem ser inconclusivas.

A correlação entre a K_{sat} e a macroporosidade (+0,37) foi fraca, pelo coeficiente de Pearson (Tabela 16), diferente do considerado por Vereecken et al. (2010). Não obstante, a densidade de fluxo que passa por um poro é proporcional ao quadrado do seu diâmetro (Lei de Poiseville). Neste sentido, eventuais variações pontuais na macroporosidade, a exemplo de um “megaporo” em uma amostra de solo, influenciam mais a macroporosidade do que a sua K_{sat} (MESQUITA; MORAES, 2004), evidenciando assim, a limitação desta análise via correlação simples, uma vez que também depende de outros fatores.

Por outro lado, a análise do modelo de distribuição de probabilidade de cada variável é fundamental, neste caso, a distribuição lognormal, ajustada para K_{sat} , não é verificada para a macroporosidade do solo (MESQUITA, 2001), bem como não se verificou a normalidade dos dados trabalhados, o que restringiu a análise de correlação.

A correlação de Pearson entre a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) e o silte (-0,17), a densidade do solo (+0,21) e a umidade saturada (-0,062) foi desprezível (Tabela 16). Este baixo nível de dependência, estão relacionadas também a textura fina

do silte e ao conteúdo de água no solo (LIBARDI; MELO FILHO, 2006) e a densidade do solo (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

O método de seleção por etapas e eliminação de variáveis *stepwise backward*, utilizado na geração dos modelos, resultou na eliminação das variáveis baseada nos valores de R^2 , akaike (AIC) e t, restando cinco delas para a formulação da equação preditiva da Ksat: teor de areia, teor de silte, densidade do solo, macroporosidade e a umidade de saturação (Tabela 17).

Tabela 17. Avaliação dos parâmetros dos modelos linear, quadrático e exponencial

Modelo 1		Ksat = areia + silte + Ds + Macroporosidade		
Parâmetros	Coefficientes	Erro padrão	t- valor	p-valor
Intercepto	-29,6309	3,30536	-8,9645	$8,74*10^{-16}$
Areia	0,20616	0,02757	7,4777	$5,01*10^{-12}$
Silte	0,29788	0,07083	4,2056	$4,36*10^{-5}$
Ds	6,26652	1,59293	3,9340	$1,25*10^{-4}$
Macroporosidade	0,14243	0,03206	4,4426	$1,67*10^{-5}$
Modelo 2		log(Ksat) = areia + silte + Ds + Macroporosidade		
Parâmetros	Coefficientes	Erro padrão	t- valor	p-valor
Intercepto	-15,27243	1,26486	-12,0744	$2,0*10^{-16}$
Areia	0,08498	0,01055	8,0550	$1,86*10^{-13}$
Silte	0,13701	0,0271	5,0557	$1,19*10^{-6}$
Ds	3,89586	0,60953	6,3916	$1,78*10^{-9}$
Macroporosidade	0,06301	0,01227	5,1353	$8,18*10^{-7}$
Modelo 3		Ksat = I(areia^2) + silte + Ds + Macroporosidade		
Parâmetros	Coefficientes	Erro padrão	t- valor	p-valor
Intercepto	-2,153	2,913	-0,7391	$8,10*10^{-12}$
(areia^2)	0,001375	0,00017	8,0882	$1,46*10^{-12}$
Silte	0,307	0,07038	4,3620	$2,32*10^{-5}$
Ds	6,037	1,588	3,8016	$2,03*10^{-4}$
Macroporosidade	0,1335	0,0312	4,2788	$5,43*10^{-5}$

Ksat – condutividade hidráulica saturada – cm h^{-1} ; Areia – %; Silte – %; Ds – Densidade do solo (kg.dm^{-3}); Macroporosidade - %; θ_{sat} - Umidade de saturação ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

Dessa forma, pode-se afirmar que estas variáveis são as que mais contribuem para melhor explicar a condutividade hidráulica saturada no solo estudado. Três modelos foram selecionados, linear, quadrático e exponencial, nos quais os valores do coeficiente

de determinação (R^2) foram para o Modelo 1 - 0,47, Modelo 2 - 0,54 e Modelo 3 - 0,48, indicando que estes modelos podem explicar 47%, 54% e 48% dos valores obtidos da variável dependente, respectivamente. A escolha entre os modelos depende do grau de exatidão necessária ao usuário dos dados, bem como a disponibilidade de obtenção de amostras e execução das análises em laboratório.

O valor obtido do MAE (M1 = 1,37; M2 = 0,52; M3 = 1,36) corresponde a uma Ksat superestimada em 1,37; 0,52; 1,36 cm.h^{-1} na camada de 0 - 60 cm (Tabela 18). O valor para o M2 é mais aceitável tendo em vista que a Ksat média medida em campo foi de 3,2 cm.h^{-1} .

Tabela 18. Comparação do ajuste entre os modelos linear (Modelo 1), exponencial (Modelo 2) e quadrático (Modelo 3)

Modelos	IAC	R^2	F	p-valor	MAE	RMSE	d	r	c
Modelo 1	207,661	0,4728	35,2	2,2*10-16	1,37	1,84	0,80	0,69	0,55
Modelo 2	-103,5683	0,5465	47,3	2,2*10-16	0,52	0,70	0,84	0,74	0,62
Modelo 3	205,1574	0,4809	36,35	2,2*10-16	1,36	1,83	0,81	0,69	0,56

RMSE: raiz quadrada do erro médio; MAE: erro médio absoluto; d: índice de concordância “d” proposto por Willmot (1981); R: coeficiente de correlação.

O RMSE apresentou valores de M1 = 1,84; M2 = 0,70; M3 = 1,83, que apontam uma mediana dispersão, uma vez que representa a variação existente entre os dados observados e preditos. Os valores dos coeficientes de correlação (r) foram de M1 = 0,69; M2 = 0,74 e M3 = 0,69 e indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis, sendo que o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor - 1 também indica uma relação linear perfeita, mas inversa, ou seja, quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Para cada modelo foram calculados valores dos índices de concordância (d) de 0,80; 0,84 e 0,81, para os modelos 1, 2 e 3, respectivamente. Assim, os índices de desempenho (c) de cada modelo foram obtidos resultantes do produto entre o índice de concordância (d) e o coeficiente de correlação (r). Os valores para os índices de desempenho (c) foram para o M1 = 0,55; M2 = 0,62; M3 = 0,56, os quais, conforme Camargo e Sentelhas (1997) quando entre 0,51 e 0,60 é classificado como sofrível e entre 0,61 e 0,65 é considerado mediano. Novamente o modelo 2 exponencial apresenta-se como uma alternativa promissora na estimativa da Ksat com base em variáveis de fácil obtenção.

Silva (2018) também desenvolveu funções de pedotransferência para estimar a condutividade hidráulica saturada para solos do Brasil, diante da indefinição de quais propriedades descrevem melhor o comportamento de K_{sat} no solo, bem como calibrou para solos do Brasil funções já existentes de outros países. No entanto, os resultados encontrados indicam que K_{sat} continua sendo uma propriedade de difícil estimativa devido sua alta variabilidade espacial e alta divergência de métodos e condições de contorno para sua determinação.

7. CONCLUSÕES

A ausência e presença de lençol freático nos lotes alto e baixo, respectivamente, estão relacionadas ao balanço hídrico negativo e a dinâmica de água e sais no solo favorecida pela topossequência.

Não houve incremento na condutividade elétrica do lençol freático no lote intermediário, sem drenagem subterrânea instalada, durante o período de estudo.

A topossequência influenciou a condutividade elétrica do extrato de saturação, o pH em água, a razão de adsorção de sódio e o percentual de sódio trocável, com tendência de acúmulo no lote baixo. Portanto, não se verificou tendência de salinização e/ou sodificação nos lotes situados nas cotas mais altas da topossequência.

O principal fator de impacto na produtividade de manga é o estresse hídrico, em função da sua posição na paisagem, considerando as características físico-hídricas e de salinidade do solo nas áreas estudadas.

As frações granulométricas areia e argila apresentaram correlação moderada com a K_{sat} , enquanto que a macroporosidade correlação fraca. Atributos estruturais e texturais são fundamentais para a constituição de modelos matemáticos que estimem K_{sat} , reforçando a importância da estrutura na dinâmica da movimentação da água no solo.

Os modelos matemáticos propostos para estimar a K_{sat} podem ser aplicados com razoável precisão a partir do conteúdo de areia, conteúdo de silte, densidade do solo, macroporosidade e umidade de saturação da classe dos Argissolos plínticos vinculados à região do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, em Petrolina. O modelo exponencial proporcionou melhor resultado quando comparado com os modelos linear e quadrático.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2019. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Informa Economics FNP, 2019.

AGUIAR NETTO, A. de O.; GOMES, C. C. S.; LINS, C. C. V.; BARROS, A. C.; CAMPECHE, L. F. de S. M.; BLANCO, F. F. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1640-1645. 2007.

ALMEIDA; B. G. de; FREITAS, P. L.de; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. Porosidade. *In*: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª edição revisada e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, cap.9, p. 82-94. 2017a.

ALMEIDA; B. G. de; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. *In*: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª edição revisada e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, capítulo 7, p. 65-75. 2017b.

ALMEIDA, L. Q.; CARVALHO, P. F. Representações, riscos e potencialidades de rios urbanos: análise de um caso histórico. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 34, p.145-161, 2010.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, p.711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

AMARAL, F. C. S. do; TAVARES, S. R. de L. **Alterações Físico-Químicas em um Argissolo sob irrigação no Perímetro Nilo Coelho, município de Petrolina – Estado de Pernambuco**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 94 (2006). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2010/14926/1/bpd94-2006-nilocoelho.pdf>> acesso em 06 de setembro de 2018.

AMARAL, F.C.S.; PARAHYBA, R. B. V.; BATISTA, F. H. B.; LEITE, A. P.; BATISTA, M. J.; BARROS, J. C. **Caracterização pedológica e estudos de drenabilidade dos perímetros de irrigação Brígida, Caraíbas e Apolônio Sales, Estado de Pernambuco**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Solos. Rio de Janeiro: n.116, 65p, 2007.

AMARAL, F. C. S. do (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação: enfoque na região semiárida**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 164 p. il. color.

AMORIM, V. B. Diagnóstico e avaliação de desempenho de drenagem subterrânea no perímetro irrigado de Bebedouro-PE. 160f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba**, Campina Grande. 1995.

ANDRADE, E. M. de; AQUINO, D. do N.; LUNA, N. R. de S.; LOPES, F. B.; CRISÓSTOMO, L. de A. Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n.5, p. 621-630, 2016.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Santa Cruz, 2018. Disponível em: < http://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wp-content/uploads/2018/04/FRUTICULTURA_2018_dupla.pdf > Acesso em 15 mar. 2019.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI – Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2019. <http://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-de-horti-fruti-2019/>> Acesso em 15 jun. 2019.

APARICIO, J. J.; DÍAZ, J. P. Sistema de producción del cultivo de mango en el Municipio de Irupana. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, v. 2, n. 1, p. 98-104, 2015.

ARAUJO, D. F.; COSTA, R. N.; MATEOS, L. Pros and cons of furrow irrigation on smallholdings in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 221, p. 25–33, 2019.

ARRUDA, F.B.; ZULLO Jr. J.; OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para cálculo de água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.11p. 11-15, 1987

AYERS, R.S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. (Trad.) 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29 revisado1.

AZEVEDO, P. V., BEZERRA, P.T.C.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; SANTOS, C.A.C. Characterization of human thermal comfort in urban areas of Brazilian semiarid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 371-380, 2015.

BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V. H.; RUIZ, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.59-64. 2004.

BARROS, M. F. C.; BEBÉ, F. V.; SANTOS, T. O.; CAMPOS, M. C. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 1, p.77-82, 2009.

BATISTA, M. D. J.; NOVAES, F.; SANTOS, D. G.; SUGUINO, H. H. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2ª Edição, revisada e ampliada. Brasília: CODEVASF, 216p. 2002.

BELTRÁN, J.M. **Drenaje agrícola**. Madrid: Ministério da Agricultura, Pesca y Alimentación, v.1, 239p. 1986.

BELTRÁN, J. M.; MANZUR C. L. **Overview of salinity problems in the world and FAO strategies to address the problem.** *In: Proceedings of the international salinity. Forum, Riverside, California, United States of America* p. 311–314. 2005.

BELTRÁN, J.M. Integrated approach to address salinity problems in irrigated agriculture. *In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. (Ed.) Manejo da Salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados.* Fortaleza: volume I. INCTSal, cap.1 p.3-8. 2016.

BRASIL. Ministério da Integração. Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. **Inventário de Projeto.** Brasília: 3. ed. rev. 224p. 1999.

BRESLOW, N. E.; CLAYTON, D. G. Approximate inference in generalized linear mixed models. **Journal of the American Statistical Association**, v. 88, n. 421, p. 9-25, 1993.

BOHN, H.L.; McNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry.** New York, John Wiley & Sons, 340p. 1985.

BOUMA J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances. Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 9, p. 177-213, 1989.

BOTULA, YVES-DADY; VAN RANST, E.; CORNELIS, W. M. Pedotransfer functions to predict water retention for soils of the humid tropics: a review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 679-698, 2014.

CABRAL, J. J.; ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P.; DA SILVA, S. C.; SAMPAIO, E. Monitoramento da dinâmica da recarga do lençol freático numa área irrigada no vale do São Francisco. **Anais... X CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS** Águas, Recife-PE, 1998.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas-MG, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMPOS, D.V. B.de; TEIXEIRA, P.C.; PÉREZ, D. V.; SALDANHA, M. F.C. Acidez potencial do solo. *In: Teixeira, P. C. et al., Manual de métodos de análise de solo.* 3. edição revisada e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, cap. 4, p.233-237, 2017a.

CAMPOS, D.V. B.de; TEIXEIRA, P.C.; PÉREZ, D. V.; SALDANHA, M. F.C. Hidrogênio extraível. *In: Teixeira, P. C. et al., Manual de métodos de análise de solo.* 3. edição revisada e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, cap.5, p. 238-239, 2017b.

CAMPOS, D.V. B.de; TEIXEIRA, P.C.; SALDANHA, M. F.C.; PÉREZ, D. V. Percentagem de saturação por alumínio. *In: Teixeira, P. C. et al., Manual de métodos de análise de solo.* 3. edição revisada e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, cap.7, p. 245-246, 2017c.

- CAMPOS, D.V. B.; TEIXEIRA, P.C.; PÉREZ, D. V.; SALDANHA, M. F.C. Percentagem de saturação por sódio. In: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3. edição revisada e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, cap.8, p. 247-248, 2017d.
- CARNEIRO, M.A.; LIMA, A. M.N.; CAVALCANTE, I. H. L; CUNHA, J. C.; RODRIGUES, M. S.; LESSA, T. B. S. Salinidade do solo e produção de manga fertirrigada com fontes de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 5, p.310-316, 2017.
- CARVALHO, J. A.; REZENDE, F.C , OLIVEIRA, E. C.; AQUINO, R. F. Pimentão cultivado em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 236 - 245, 2016.
- CEPEA - **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. Hortifrúti Brasil. CEPEA - ESALQ / USP. Ano 13, n.141, Piracicaba: ESALQ / USP, 2015. p.48-49.
- CHONG, Il-Gyo; JUN, Chi-Hyuck. Performance of some variable selection methods when multicollinearity is present. **Chemometrics and intelligent laboratory systems**, v. 78, n. 1-2, p. 103-112, 2005
- CODEVASF – Companhia de desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. 3ª SR. Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho. Petrolina: 2002. Planta Geral. Escala: 1.40.000.
- CODEVASF – Drenagem nos Projetos irrigados: Nilo Coelho e Bebedouro. 1ª Edição. 5, 2018. Nota Técnica
- CODEVASF. Senador Nilo Coelho: Produção agrícola. 2018. Disponível em <www.codevasf.gov.br> Acessado em: 28 maio 2019.
- COSBY, B. J. HORNBERGER, G. M.; CLAP, P. R. B.; GINN, T. R. A statistical exploration of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. **Water Resources Research**, v. 20, p. 682– 690, 1984.
- DANE, J.H.; PUCKETT, W. Field soil hydraulic properties based on physical and mineralogical information. In: van Genuchten MTh et al., editors. **Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils**. University of California: Riverside, 1994. p.389–403.
- DERESSAA, A.; YLI-HALLAB, M.; MOHAMEDC, M.; WOGIC, L. **Catena** Soil classification of humid Western Ethiopia : A transect study along a toposequence in Didessa watershed. **Catena**, v. 163, p. 184-195, 2018.
- DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA; B. G. de; RUIZ, H.A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B, A. Análise granulométrica. In: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, cap.10, p. 95-116. 2017.

DOWNS, P. W.; GREGORY, K. J. River Channel Management: **Towards Sustainable Catchment Hydrosystems**. Routledge: New York, 2ed., 395p. 2014.

DUARTE, S.N.; SILVA, E.F.F.; MIRANDA, J.H.; MEDEIROS, J.F.; COSTA, R.N.T.; GHEYI, H.R. Fundamentos de drenagem agrícola. Fortaleza. INCTSal, 356 p. 2015.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. **Groundwater Monitoring & Remediation**, v. 9, n. 3, p. 184-193, 1989.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (CNPq. Documentos, 132), 2ª edição, rev. 230p. 2011.

FAO. Water in agriculture; opportunity untapped. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 285p. 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-a0510e.pdf>> acesso em 05/05/2019

FAO. Crops and drops: making the best use of water for agriculture. Rome. p. 22. 2002. Disponível em <<http://www.fao.org/3/a-y3918e.pdf>> Acesso em outubro/2016.

GLOBAL PROSPECTS FOR MAJOR TROPICAL FRUITS . Disponível em:<http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Special_Feature.pdf> Acesso em: 01/12/2017

FONTANA, A.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. ALMEIDA; B. G. de; CORREA, J. C. de O.; OLIVEIRA, E. M. de. Preparo de amostras e separação de terra fina, cascalho e calhaus. In Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3. edição revisada e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, cap. 1, p. 21-27, 2017.

GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 383p. 1997.

GHEYI, H. R. **Problemas de salinidade na agricultura irrigada**. In: OLIVEIRA, T. S. de; ASSIS Jr, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Eds.). Agricultura, sustentabilidade e o semiárido. Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, cap.16, p. 329-346. 2000.

GHIBERTO, P.J.; PILATTI, M. A.; IMHOFF, S.; ORELLANA, J. A. Hydraulic conductivity of Mollisolls irrigated with sodic-bicarbonated waters in Santa Fe (Argentina). **Agricultural Water Management**, v. 88: p. 192-200, 2007.

GOLLANY, H. T.; ELNAGGAR, A. A. Simulating soil organic carbon changes across toposequences under dryland agriculture using CQESTR. **Ecological Modelling**, v. 355, p. 97–104, 2017.

GONÇALVES, D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37:1174 - 1184. 2013

HAI-AMOR, Z.; TÓTH, T.; IBRAHIMI, M.K.; BOURI, S. Effects of excessive irrigation of date palm on soil salinization, shallow groundwater properties, and water use in a Saharan oasis. **Environ Earth Science**. v. 76, p. 590, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, Produção Agrícola Municipal. 2015. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 10 jun. 2018.

IBRAHIM, M. A.; LAL, R. Catena Soil carbon and silicon pools across an un-drained toposequence in central Ohio. **Catena**, v. 120, p. 57–63, 2014.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT (ILRI) **Principios y Aplicaciones del Drenaje**, I- Materias Preliminares – Publicación 16, v. I, 257p, 1978.

JENSEN, P. K; MATSUNO, Y.; van DER HOEK, W.; CAIRNCROSS, S. Limitations of irrigation water quality guidelines from a multiple use perspective. **Irrigation and Drainage Systems**, v.15, p.117-128, 2001.

KHALIL, S.; LOYNACIANT, T. E. Soil drainage and distribution of VAM fungi in two toposequences. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 26, n. 8, p. 929–934, 1994.

LEITE, M. H.; DOS SANTOS, R. V.; GOMES, A. D.; VITAL, A. D. F. M. Aplicação de corretivos e crescimento de oleaginosas em solos salinizados do semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, p.87-95. 2012.

LIBARDI, P. L.; MELO FILHO, J. F. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica, em um experimento de perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.197 - 206, 2006.

LIMA, L. R. F.; ALMEIDA, C.D.G.C.; SANTOS JUNIOR, J. A.; JIMENÉZ, K. J.; BARBOSA, R. N.; LIMA, R. R. F. Produtividade da manga irrigada no semiárido pernambucano. **Anais...** In: XVIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2018, Recife.

LIMA, V.L.A.; FARIAS, M.S.S.; BORGES JÚNIOR, J.C.F. **Drenagem agrícola no manejo dos solos afetados por sais**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. (Ed.) Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. INCTSal. Fortaleza, cap.24, p.397-409. 2016

LYRA, M.R.C.C.; ROLIM, M.M.; SILVA, J. A. A da. Topossequência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 7 n. 3, p.525-532, 2003.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.103, n.IR2, p.115-134, 1977.

MAAS, E. V. Salt tolerance of plants. **Applied Agricultural Research**, v.1, p.12-26, 1984.

MAGALHÃES, A. F. Manejo da fertilidade dos solos irrigados: produtividade, degradação e correção. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Petrolina, **SBCS**, v. 21, p. 77-86. 1995.

MAGALHÃES, V. L.; DA CUNHA, J. E.; DE NÓBREGA, M. T. Caracterização Morfopedológica de Unidades de Paisagem do Extremo Oeste do Paraná. **Perspectiva Geográfica**, v. 11, n. 15, p. 245-253, 2016.

MAHOUACHI, J. Long-term salt stress influence on vegetative growth and foliar nutrient changes in mango (*Mangifera indica* L.) seedlings. *Scientia Horticulturae*. v. 234, p.95-100, 2018, DOI: 10.1016/j.scienta.2018.02.028.

MANGUERRA, H.; GARCIA, L. Field Strategy for Agricultural Drainage and Water-Quality Management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 1, p. 37-44. 1997.

MARQUES, J. D. O, TEIXEIRA, W. G., REIS, A. M., CRUZ JUNIOR, O. F., MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 2, p. 193-206, 2008.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. FERREIRA, C.F.F.B. (Trad.) Ed. brasileira. São Paulo: UNESP, 2010, Brasília: NEAD, 568p., 2010.

MEDEIROS, S. S.; SANTOS JUNIOR, J. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Biodrenagem. IN: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (Ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, v. II, Cap.26, p.432-448, 2016.

MEIRELES, H.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M.; PEREIRA, G. RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM EM TOPOSSEQUÊNCIA DE ORIGEM BASÁLTICA. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 42, n. 2, p. DOI: 10.1590/S1983-40632012000200001, 11 abr. 2012.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, p.963-969, 2004.

MINGOTI, R.; DUARTE, S. N.; CRUCIANI, D. E. Efeito de velocidades de rebaixamento do nível freático em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da alface. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 10-16. 2006.

MOUCO, M. A. do C. (Ed.). **Cultivo da mangueira**. 3. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, Nov. 2015. (Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 2). Versão Eletrônica. 106p. ISSN 1807-0027 2 Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br> Acesso em: 26 jul. 2018.

MUNNS, R. The impact of salinity stress. Plant stress. Disponível em: http://www.plantstress.com/Articles/salinity_i/salinity_i.htm. Acesso em: 26 jul. 2012.

NÓBREGA, J. S.; LOPES, K. P. Quality of sesame seeds produced under soil salinity levels 1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 2018, p. 280–286, 2018.

NOVAIS, J. W. Z., SANCHES, L., SILVA, L. B. D., MACHADO, N. G., AQUINO, A. M.; PINTO JUNIOR, O. B. Soil Albedo below the Canopy in Area of *Vochysia divergens* Pohl in the North of the Pantanal. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 31, n. 2, p. 157-166. 2016.

OLIVEIRA, L.B.; RIVEIRO, M.R.; JACOMINE, P.K.T.; RODRIGUES, J.J.V.; MARQUES, F.A. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 315-323, 2002.

OLIVEIRA NETO, M. B.; CUNHA, T. J. F.; NASCIMENTO, A. F. do; AMARAL, A. J.; ALVES, E. S.; MARQUES, F. A. Relação solo-geologia da área de estudo do projeto Fragissolos em Petrolina/PE. In.: **Anais...Reunião Nordestina de Ciência do Solo**, v.1. 2013.

PARAHYBA, R. B. V. SANTOS, M. C.; ROLIM NETO, F. C.; JACOMINE, P. K. T. Pedogênese de Planossolos em topossequência do agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 1991-2000, 2010.

PATIL, N. G.; SINGH, S. K. Pedotransfer functions for estimating soil hydraulic properties: A review. **Pedosphere**, v. 26, n. 4, p. 417-430, 2016.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; NASCIMENTO PRATA, A. P.; LUCAS, A. A. T.; DOS SANTOS, P. B. 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, M.G.; SCHIAVO, J.A.; FONTANA, A.; DIAS NETO, A.H.; MIRANDA, L.P.M. Caracterização e classificação de solos em uma topossequência sobre calcário na Serra da Bodoquena, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.25-36, 2013.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.4, p.188-199, 2009.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. 2. ed. Madrid: Editorial Española S.A., p. 542, 1985.

PUCKETT, W.E.; DANE, J. H.; HAJEK, B. H. Physical and mineralogical data to determine soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 831–836, 1985.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.27, p.29-48, 2003.

REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; URACH, F.L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability for Rio Grande do Sul soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.1547-1560, 2009.

REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; SARRAZIN, M.; GRIMALDI, M. Variação da composição granulométrica e orgânica do solo em uma topossequência da microrregião de Marabá-PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 2, n. 3, p. 33-44, 2007. Disponível em: <[http://www.museu-goeldi.br/editora/bn/artigos/cnv2n3_2007/variacao\(reis\).pdf](http://www.museu-goeldi.br/editora/bn/artigos/cnv2n3_2007/variacao(reis).pdf)>. Acesso em: 09 jan. 2018.

RESENDE, R.S.; AMORIM, J.R.A.; CRUZ, M.A.S.; MENESES, T.N. Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.S46–S52, 2014.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the α -parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, v.140, n. 4, 1985. p. 292– 302.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência Agrotécnicas**. Lavras, v. 31, n.4, p. 1167 - 1175, 2007.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. IN: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (Ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, v. II, Cap.24, p.8-16, 2016.

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

RICHARDS, B. G. Capillary conduction of liquids through porous medium. **Physics, New York**, 1, 1931. p. 318-333.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. Estudos da FAO, **Irrigação e Drenagem**, 48.

SÁ, M. A. C. de; VIANA, J. H. M. Retenção de água no solo pelo método da centrífuga. In: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, cap. 6, p. 53-64, 2017.

SALES, J. L.; COSTA, R. N. T.; MATIAS FILHO, J.; HERNANDEZ, F. F. F. Análise de desempenho de um sistema de drenagem subterrânea na cultura da videira no município de Jaguaruana – Ceará. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 166-180, maio-agosto, 2004.

SANTOS, M.A.; FREIRE, M.B.G.S.; ALMEIDA, B.G.; LINS, C.M.T.; SILVA, E.M. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com *Atriplex nummularia* e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.4, p.397-404, 2013a.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. D.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. SBCS: Viçosa-MG, 6. ed. 102p. 2013b.

SAKAGUCHI, A.; NISHIMURA, T.; KATO, M. The Effect of Entrapped Air on the Quasi-Saturated Soil Hydraulic Conductivity and Comparison with the Unsaturated Hydraulic Conductivity. **Vadose Zona Journal**. v. 4, p.139 - 144. 2005

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. L.; ROSENBERGER, J. S.; PAPENDICK, R. I. Estimating generalized soil – water characteristics from texture. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 1031– 1036, 1986

SKAGGS, R. Wayne; FAUSEY, Norman R.; EVANS, Robert O. Drainage water management. **Journal of soil and water conservation**, v. 67, n. 6, p. 167A-172A, 2012.

SCHERPINSKI, C.; OPAZO, M. A. U.; BOAS, M. A. V.; SAMPAIO, S. C.; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. v.32, p.7-13, 2010.

SHEIN, E. V.; ARKHANGEL'SKAYA, T.A.S. Pedotransfer functions: state of the art, problems and outlooks. **Eurasian Soil Science**, Moscou, v. 39, n. 10, p. 1090-1099, 2006.

SIMÕES, W. L.; FERREIRA, P. P. B.; MOUCO, M. A. do C.; LIMA, M. A. C.; GUIMARÃES, M. J. M.; SILVA, J. A. B. da. Produção e respostas fisiológicas da mangueira cv. Keitt sob diferentes sistemas de irrigação no submédio São Francisco. **Irriga**, v. 23, n. 1, p. 34-43, 2018.

SILVA, B. K. Funções de pedotransferência para predição da condutividade hidráulica saturada de solos do Brasil. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 43p. 2018.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; JARAMILLO, R. A.; NETTO, A. M.; MONTENEGRO S.M.G.L.; SILVA E.B. Variabilidade espacial dos parâmetros

hidrodinâmicos de duas parcelas agrícolas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Serra Talhada, v. 32, p. 1795-1804, ago, 2008.

SOUZA, J. M. DE; BONOMO, R.; PIRES, F. R.; BONOMO, D. Z. Funções de pedotransferência para retenção de água e condutividade hidráulica em solo submetido a subsolagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 606-613, 2014.

SOUZA, L. S.; PAIVA, Q. A.; SOUZA, L. D.; COGO, N. P. Água no solo influenciada pela posição na paisagem, em uma topossequencia de solos de tabuleiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 843-855, 2002.

SOUZA, M. C. M. R. Efeitos da salinidade sobre o desenvolvimento vegetativo do noni sob duas condições ambientais, na ausência e presença de composto orgânico. **Tese** (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 160. 2014.

SUGUINO, H. H.; BARROS, J. C. Dimensionamento de sistemas de drenagem. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (Ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, v. II, cap. 25, p.410-431, 2016

TAVARES, A. C. S.; DUARTE, S. N.; DA SILVA DIAS, N.; MIRANDA, J. H.; SOUZA, K. T. S.; ARRAES, F. D. D. Velocidade de rebaixamento do nível freático na qualidade do caldo da cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 20, n. 3, p.458-472. 2015. Disponível em <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/882/1312> acesso em out/2016.

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D.V. B. de; BIANCHI, S. R.; PÉREZ, D. V.; SALDANHA, M. F.C. Cátions trocáveis. In: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3. edição revisada e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, cap.3, p. 209-232. 2017a.

TEIXEIRA, P.C.; CAMPOS, D.V. B.de; SALDANHA, M. F.C. PÉREZ, D. V.; Complexo sortivo do solo (Soma de Bases Trocáveis, CTC Efetiva, CTC Total, Percentagem de Saturação por Bases). In: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, cap. 6, p.240-244, 2017b.

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D.V. B. de; SALDANHA, M. F.C. pH do solo. In: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, cap. 1, p. 199-202. 2017c

TEIXEIRA, P.C.; CAMPOS, D. V. B. de; PIRES, L. de O. B.; Sais solúveis In: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, cap. 20, p. 299-318. 2017d

TOLOMIO, M.; BORIN, M. Controlled drainage and crop production in a long-term experiment in North-Eastern Italy. **Agricultural Water Management**, v. 222, p. 21-29, 2019.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. **Soil Science**, 163:190-202, 1998.

TORRES, J.; GUTIERREZ, J. A.; BELTRAN, H. A. Compactación, una de las causas más comunes de la degradación del suelo. **Revista Ciencias Agropecuarias**, v. 3, p. 18-22, 2017.

TREVISAN R.; SALEMI, L. F.; MORAES, J. M.; OLIVEIRA, J. C. M. Condutividade hidráulica do solo saturado na zona vadosa in situ e em laboratório. **Irriga**, v.14, n.3, p.413-422, 2009.

VEREECKEN, H.; WEYNANTS, M.; JAVAUX, M. PACHEPSKY, Y.; SCHAAP, M. G.; VAN GENUCHTEN, M. Th. Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten-Mualem soil hydraulic properties: a review. **Vadose Zone Journal**. 9: 795 – 820, 2010.

VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade de partículas. In: Teixeira, P. C. et al., **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA. cap. 8, p. 76-81. 2017.

WICHELNS, D.; CONE, D.; STUHR, G. Evaluating the impact of irrigation and drainage policies on agricultural sustainability. **Irrigation and Drainage Systems**. v. 16, n. 1, p. 1-14, 2002.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Stockholm, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

WÖSTEN, J. H. M.; PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS W. J. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. **Journal of Hydrology**. v. 251, n. 3–4, p.123-150. 2001

ZHANG, F. Z.; GROENEVELT, P. H.; PARKIN, G. W. The well-shape factor for the measurement of soil hydraulic properties using the Guelph Permeameter. **Soil and Tillage Research**, v.49, p.219-221, 1998.

ZUAZO, V. H. D.; RAYA, A. M.; RUIZ, J. A. Impact of salinity on the fruit yield of mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Osteen'). **European Journal of Agronomy**, v. 21, n. 3, p.323-334, 2004.

APÊNDICE A.

Caracterização química do solo durante o período do experimento nos lotes estudados, referente aos cátions solúveis

Lote	Camada (cm)	pH		pH		CEes		K		Na		Ca		Mg		RAS							
		(água)		(KCl)		dSm ⁻¹		-----mmol _c L ⁻¹ -----															
		média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)				
Janeiro/2017																							
1	0-30	7,13	2,28	7,00	2,09	0,50	23,18	0,49	56,23	0,30	17,03	3,47	44,97	1,26	27,81	0,22	23,99						
2		7,02	2,54	6,43	3,36	0,76	31,45	0,85	56,89	0,47	50,71	5,93	24,07	1,59	48,29	0,27	55,10						
3		6,75	6,47	5,98	5,36	0,71	36,85	1,24	20,62	1,05	74,88	6,09	33,37	1,84	54,20	0,54	58,94						
1	30-60	7,23	3,18	6,63	3,59	0,34	27,26	0,36	23,33	0,24	36,65	2,36	28,33	0,38	33,96	0,21	26,99						
2		6,84	5,30	5,99	9,58	0,55	28,69	0,54	57,45	0,60	61,67	4,94	32,70	1,04	35,59	0,37	57,47						
3		6,49	5,40	4,87	3,99	0,74	55,93	0,94	67,59	1,66	52,41	3,61	25,78	0,81	29,22	0,99	45,36						
Maio/2017																							
1	0-30	6,49	5,95	6,92	2,31	0,43	17,41	0,41	54,34	0,34	12,50	2,69	37,63	0,72	51,11	0,29	15,65						
2		6,72	3,17	6,61	5,08	0,76	48,80	2,15	69,27	0,71	57,70	4,58	47,61	1,38	76,80	0,44	53,43						
3		6,63	5,22	6,35	5,73	1,20	25,55	2,30	65,73	1,10	50,34	7,39	39,01	0,96	48,70	0,55	60,49						
1	30-60	6,47	5,85	6,36	3,93	0,27	13,32	0,15	25,23	0,41	31,31	1,17	36,82	0,22	17,33	0,46	24,05						
2		6,38	6,12	6,33	6,16	0,56	57,89	0,94	22,47	1,01	64,29	5,32	56,77	1,36	81,26	0,57	48,70						
3		5,95	2,20	5,23	9,76	0,89	23,52	1,10	85,91	2,01	60,70	6,32	14,69	1,12	18,99	0,94	55,79						
Julho/2018																							
1	0-30	7,12	4,11	7,12	3,87	0,38	16,25	0,65	37,85	0,34	16,63	0,40	16,63	0,73	49,05	0,56	8,40						
2		6,86	2,93	6,86	2,76	0,47	17,87	1,30	61,35	0,33	16,82	0,38	14,21	1,29	36,87	0,55	9,44						
3		6,88	5,19	6,88	4,89	0,70	39,87	1,56	43,88	1,45	81,19	1,66	81,19	1,31	28,09	1,09	39,63						
1	30-60	6,72	4,04	6,72	3,81	0,22	35,07	0,19	57,94	0,29	27,01	0,34	28,49	0,34	29,02	0,51	13,64						
2		6,94	2,63	6,94	2,48	0,30	39,41	0,48	56,11	0,44	36,01	0,51	37,53	0,59	36,96	0,63	17,67						
3		6,50	3,39	6,53	2,93	0,94	43,16	1,08	74,63	2,72	62,78	2,44	42,60	3,08	58,90	1,61	38,47						

APÊNDICE B.

Caracterização química do solo durante o período do experimento nos lotes estudados, referente aos cátions trocáveis

Lote	Camada (cm)	K ⁺		Na ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Al ⁺		H+Al		CTC		PST		SB		V																			
		-----cmol _c dm ⁻³ -----																				-----%-----																	
		média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV(%)	média	CV	média	CV	média	CV																		
Janeiro/2017																																							
1	0-30	0,26	16,46	0,04	12,09	3,23	12,63	2,34	18,97	0,00	-	0,88	102,95	6,75	15,43	0,56	15,37	5,87	10,08	88,15	12,29																		
2		0,21	31,41	0,04	14,56	5,17	38,24	4,38	39,49	0,00	-	1,71	51,88	11,51	26,80	0,39	31,31	9,80	34,40	83,42	13,18																		
3		0,27	46,21	0,09	64,12	3,81	33,72	4,10	43,87	0,00	-	1,33	32,59	9,60	28,47	0,90	66,71	8,26	34,06	84,78	8,83																		
1	30-60	0,21	24,86	0,04	29,59	2,20	14,48	2,32	50,15	0,00	-	1,73	36,49	6,50	15,29	0,57	34,08	4,77	24,46	72,80	14,78																		
2		0,31	37,40	0,04	21,34	3,91	44,26	4,11	39,76	0,09	189,86	2,32	47,41	10,68	19,79	0,37	22,29	8,36	32,38	76,84	16,81																		
3		0,24	12,67	0,13	50,25	2,48	48,00	2,71	18,48	0,45	97,18	2,24	37,88	7,80	20,36	1,65	42,15	5,56	26,40	71,27	14,39																		
Maio/2017																																							
1	0-30	0,19	23,67	0,04	23,93	2,82	4,26	1,66	33,37	0,00	-	0,32	53,03	5,03	9,60	0,76	30,82	4,71	10,40	93,63	3,52																		
2		0,32	10,25	0,04	16,49	2,23	50,86	1,53	16,30	0,00	0,00	0,29	54,55	4,42	27,29	1,03	30,11	4,13	29,81	92,93	4,45																		
3		0,29	47,30	0,06	44,44	2,16	29,07	1,68	28,08	0,00	-	0,69	65,78	4,88	23,82	1,25	35,51	4,19	22,03	86,22	8,47																		
1	30-60	0,15	21,27	0,04	23,76	1,88	15,01	1,48	14,37	0,00	-	0,53	58,58	4,08	11,72	0,99	25,46	3,55	8,04	87,37	6,83																		
2		0,35	13,60	0,06	47,38	1,66	37,49	1,54	23,81	0,07	216,48	0,69	63,46	4,31	17,17	1,46	37,17	3,62	21,28	83,89	12,12																		
3		0,26	34,84	0,13	52,72	1,56	41,18	2,20	26,70	0,32	108,65	1,25	57,27	5,39	14,71	2,49	58,03	4,14	16,24	77,45	15,76																		
Julho/2018																																							
1	0-30	1,56	43,83	1,45	81,19	1,92	15,34	1,57	31,11	0,03	130,77	0,53	118,59	7,62	28,61	17,09	52,99	5,32	18,97	91,25	10,08																		
2		1,34	67,26	0,33	15,93	2,44	46,56	1,51	19,11	0,02	212,13	0,83	87,23	6,44	35,08	5,39	22,96	5,62	33,19	87,83	8,19																		
3		0,63	43,29	0,34	16,63	2,72	30,56	1,62	24,23	0,01	198,43	1,12	53,57	5,85	17,68	6,14	31,64	6,50	29,08	85,36	7,62																		
1	30-60	0,17	49,14	0,29	27,21	1,94	31,42	1,92	33,41	0,00	-	0,59	41,47	4,90	19,17	6,05	29,18	4,32	20,63	87,98	5,21																		
2		0,51	58,92	0,43	35,71	1,56	30,68	1,88	19,89	0,12	284,28	0,59	50,56	4,97	15,96	8,79	34,05	4,38	17,05	88,28	6,28																		
3		1,09	74,63	2,43	49,27	1,62	14,38	2,09	27,96	0,20	125,00	0,91	72,22	8,13	23,71	28,26	32,06	7,22	30,56	87,68	11,88																		