



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
DOUTORADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA NO SEMIÁRIDO

MARCÍRIO DE LEMOS

**USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA PRODUÇÃO DE PALMA
FORRAGEIRA EM ASSENTAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

MOSSORÓ – RN
JULHO DE 2016

MARCÍRIO DE LEMOS

**USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA PRODUÇÃO DE PALMA
FORRAGEIRA EM ASSENTAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Doutorado em Manejo de solo e água no Semiárido do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água no Semiárido da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água no Semiárido.

Linha de Pesquisa: Impacto ambiental pelo uso do solo

Orientador: Miguel Ferreira Neto, Prof. Dr.

Co-orientador: José Francismar de Medeiros, Prof. Dr.

MOSSORÓ – RN
JULHO DE 2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L381u LEMOS, MARCÍRIO DE.
USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA PRODUÇÃO DE
PALMA FORRAGEIRA EM ASSENTAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO / MARCÍRIO DE LEMOS. - 2016.
244 f.: il.

Orientador: MIGUEL FERREIRA NETO.
Coorientador: JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS. Tese
(Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-
árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e
Água, 2016.

1. REÚSO. 2. ESGOTO. 3. PALMA FORRAGEIRA. 4. EXIGÊNCIA
NUTRICIONAL. I. NETO, MIGUEL FERREIRA, orient. II.
MEDEIROS, JOSÉ FRANCISMAR DE, coorient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARCÍRIO DE LEMOS

**USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA PRODUÇÃO DE PALMA
FORRAGEIRA EM ASSENTAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Doutorado em Manejo de solo e água no semiárido do Programa de Pós-Graduação em Manejo de solo e água no semiárido da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de solo e água no semiárido.

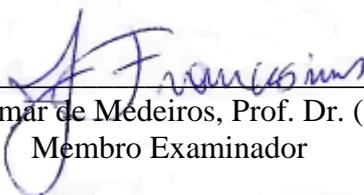
Linha de Pesquisa: Impacto ambiental pelo uso do solo.

Defendida em: 26/07/2016.

BANCA EXAMINADORA



Miguel Ferreira Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



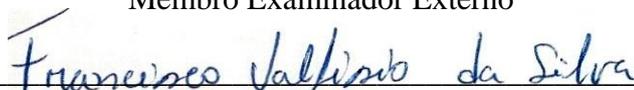
José Francismar de Medeiros, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Nildo da Silva Dias, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr. (UFRPE)
Membro Examinador Externo



Francisco Valfísio da Silva, Prof. Dr. (UFCEG)
Membro Examinador Externo

A minha mãe Rita de Cássia Medeiros, pelos ensinamentos e perseverança nas batalhas, por não desistir mesmo que lhe rotulem como diferente. Por ser desconfiado, arredo e contestador com as injustiças cometidas individual ou coletiva, porém cabendo sempre à resignação para o crescimento enquanto pessoa.

OFEREÇO

A minha avó, Olívia Medeiros (*in memorian*) por ter me deixado o legado de tentar assumir o referencial de vida para a minha família e por me ensinar que com esforço, perseverança e honestidade tudo se conquista.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de caminhar com as próprias pernas, escolher o caminho a percorrer e assumir os erros e acertos das nossas próprias escolhas. O amadurecimento está sendo doloroso, mas imenso.

A minha companheira Wberlhane Pereira e a sua família que foi o meu equilíbrio durante esse período, sendo decisiva para que eu saísse da fase de depressão a qual passa todos os estudantes de Pós Graduação, uns são mais e outros menos afetados. Posso dizer que o amor e carinho dispensados a mim, me trouxe de volta para a vida, portanto, minha gratidão será eterna.

Aos meus colegas de Pós Graduação Raniere Barbosa e Raimundo pelo aprendizado mutuo, assim como, aos colegas Yure Lima e João Paulo pela ajuda na condução da tese, sem eles não seria possível sua conclusão.

A todos os professores do programa de Pós Graduação em Manejo de Solo e Água no Semiárido que de certa forma contribuíram para minha formação de Doutor, principalmente os professores Nildo Dias, Miguel Ferreira e, em especial José Francismar que acreditou e depositou confiança no meu potencial. Ao meu orientador Miguel Ferreira pela convivência, amizade e paciência nessa fase decisiva da minha vida, cujo orientador dificilmente sai ileso desse processo doloroso de renascimento.

Ao amigo e sempre orientador, no mestrado e agora no doutorado, Francisco Valfísio pela ajuda no trabalho e pelas conversas que me fizeram ver a vida de forma mais simples, assim como ele mesmo é. Extraordinário e simples.

A todas as famílias do assentamento Milagres em nome de dona Antonieta que me recebeu como mãe, ponderou e apoiou todas minhas decisões. Ao colega Cesar e Yan que contribuíram com o trabalho no campo, colocando muito do que os agricultores têm para dar – “esperança”.

Aos colegas da Terra Viva, especialmente Claudia Mota e João Evangelista pela credibilidade posta em mim ao trazer a proposta e apoiado na Terra Viva. E aos colegas Yure Paiva e Airton Queiroz, os únicos que colocaram a mão na massa e fizeram na prática a contribuição do cotidiano, que vez por outra nos pegamos apenas a falar.

Enfim, a todos os colegas de Doutorado que me ensinaram durante a convivência e me deram a honra de participar da minha formação.

MENSAGEM

“Minha vela queima nas duas pontas/
A noite toda não vai durar/
Mas ah, meus amigos, e oh, meus inimigos/
Que bela luz ela dá!”

Edna St Vincent Millay (Adaptado)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espaçamento de cultivos de palma forrageira orelha de elefante mexicana e densidade total de plantas por hectare.	60
Tabela 2 – Intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF com a fonte da água utilizada na irrigação e suas respectivas lâminas aplicadas.	61
Tabela 3 – Análise de variância (ANOVA): Hipótese para influência dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio sobre a produção de palma forrageira.	61
Tabela 4 – Croqui do experimento com cinco intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e três densidades de plantio.	62
Tabela 5 – Atributos químicos e físicos do solo da área experimental.	65
Tabela 6 – Exportação de nutrientes (NPK) pela cultura da palma forrageira variedade <i>Opuntia Tuna L. Mill.</i>	68
Tabela 7 – Composição química do esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação no experimento de outubro de 2013 a outubro de 2014.	69
Tabela 8 – Chuva do período do experimento com o manejo da irrigação e fertirrigação no Assentamento Milagres, Apodi/RN.	71
Tabela 9 – Caracterização Físico-Química do esgoto doméstico primário e da água do poço artesiano do Assentamento Milagres, Apodi/RN.	73
Tabela 10 – Quantidade de nutrientes proveniente do esgoto doméstico tratado aplicado durante o ciclo da palma forrageira (outubro de 2013 a outubro de 2014) em três fases alternando estação seca e chuvosa.	74
Tabela 11 – Resumo da análise de variância e médias para altura de plantas de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	78
Tabela 12 – Resumo da análise de variância e médias para número total de cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	83
Tabela 13 – Teste de Dunnett Resumo da análise de variância e médias para o número total de cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio.	88
Tabela 14 – Resumo da análise de variância e médias para comprimento dos cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	92
Tabela 15 – Resumo da análise de variância e médias para largura dos cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	96
Tabela 16 – Resumo da análise de variância e médias para comprimento dos cladódios de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	101
Tabela 17 – Resumo da análise de variância e médias para o perímetro dos cladódios de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	106
Tabela 18 – Teste de Dunnett resumo da análise de variância e médias para o perímetro de cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio.	110
Tabela 19 – Teste de Dunnett resumo da análise de variância e médias para o perímetro de cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio.	112
Tabela 20 – Resumo da análise de variância e médias para matéria verde por planta, matéria verde total, matéria seca por planta, matéria seca total e porcentagem de matéria seca da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	115

Tabela 21 – Resumo da análise de variância e médias para o potencial hidrogeniônico – pH do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	129
Tabela 22 – Resumo da análise de variância e médias para a condutividade elétrica – CE solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	133
Tabela 23 – Resumo da análise de variância e médias para percentagem de sódio trocável – PST solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	136
Tabela 24 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para a PST do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	141
Tabela 25 – Resumo da análise de variância e médias para o teor de sódio – Na ⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	144
Tabela 26 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para o teor de sódio – (Na ⁺) do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	149
Tabela 27 – Resumo da análise de variância e médias para o teor matéria orgânica – MO do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	151
Tabela 28 – Resumo da análise de variância e médias para a capacidade de troca catiônica – CTC do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	157
Tabela 29 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para a capacidade de troca catiônica – CTC do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	161
Tabela 30 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para a capacidade de troca catiônica – CTC do solo na camada de 20-40 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	163
Tabela 31 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para a capacidade de troca catiônica – CTC do solo na camada de 20-40 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	166
Tabela 32 – Resumo da análise de variância e médias para o teor fósforo – P do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	168
Tabela 33 – Resumo da análise de variância e médias para o teor de potássio – K ⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	174
Tabela 34 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para o potássio (K ⁺) do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	177
Tabela 35 – Resumo da análise de variância e médias para o teor de cálcio – Ca ²⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	179
Tabela 36 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para o cálcio (Ca ²⁺) do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.	183
Tabela 37 – Resumo da análise de variância e médias para o teor de magnésio – Mg ²⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	185

Tabela 38 – Resumo da análise de variância e médias para os teores de macronutrientes exportados pela palma forrageira sob cultivo em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	189
Tabela 39 – Balanço de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) em função da extração/exportação máxima pela palma forrageira orelha de elefante mexicana (<i>Opuntia tuna</i> (L.) Mill) e do adicionado ao solo via adubação de fundação (química e orgânica) e pela fertirrigação com esgoto doméstico tratado e água de abastecimento de poço artesiano tubular.	201
Tabela 40 – Resumo da análise de variância e médias para os teores de micronutrientes exportados pela palma forrageira sob cultivo em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	202
Tabela 41 – Balanço de micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre e sódio) em função da extração/exportação máxima pela palma forrageira orelha de elefante mexicana (<i>Opuntia tuna</i> (L.) Mill) e do adicionado ao solo via adubação de fundação (química e orgânica) e pela fertirrigação com esgoto doméstico tratado e água de abastecimento de poço artesiano tubular.....	213

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Foto aérea com destaque do local da obra.....	54
Figura 2 – Precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura (out/2013 a out/2014).....	55
Figura 3 – Umidade relativa do ar, temperatura e evapotranspiração diária do local durante o ciclo da cultura (out/2013 a out/2014).....	56
Figura 4 – Desenho esquemático do sistema piloto.....	58
Figura 5 – decanto-disgetores ou tanques sépticos de câmara única e em série, respectivamente.	58
Figura 6 – Decanto-digestor acoplado com filtro anaeróbico submerso (afogado) de fluxo ascendente.	59
Figura 7 – Filtro anaeróbico submerso (afogado) de fluxo descendente.	60
Figura 8 – Aração e nivelamento do solo para plantio e montagem do sistema de irrigação no assentamento Milagres em Apodi – RN.	63
Figura 9 – Fotos do plantio da palma forrageira no assentamento Milagres em Apodi – RN.....	64
Figura 10 – Fotos das medidas morfométricas da palma forrageira no assentamento Milagres em Apodi – RN....	66
Figura 11 – Adubação orgânica da palma forrageira no assentamento Milagres em Apodi – RN.	69
Figura 12 – Montagem da caixa d’água de PVC para irrigação da palma forrageira no assentamento Milagres em Apodi – RN.....	70
Figura 13 – Tensão da água no solo no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) de 2,3 dias, mantendo a umidade próxima à capacidade de campo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade.....	72
Figura 14 – Imagem do teste realizado para definição da altura da caixa de PVC, da dimensão do sulco e do espaguete utilizado no sistema de irrigação no assentamento Milagres em Apodi – RN.....	75
Figura 15 – Teste de vazão do sistema de irrigação utilizado no experimento no assentamento Milagres em Apodi – RN.	76
Figura 16 – Altura de planta de palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm^{-1}) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	81
Figura 17 – Número total de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm^{-1}) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	86
Figura 18 – Número total de cladódios da palma forrageira nas densidades estudadas aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	89
Figura 19 – Comprimento de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm^{-1}) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa(3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	94
Figura 20 – Largura de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm^{-1}) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	98
Figura 21 – Espessura de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (mm^{-1}) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	104
Figura 22 – Perímetro de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm^{-1}) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado.	108
Figura 23 – Perímetro de cladódios da palma forrageira nas densidades estudadas aos 300 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	111
Figura 24 – Perímetro de cladódios da palma forrageira nas densidades estudadas aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	113
Figura 25 – Peso médio por planta em cada subparcela em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	117
Figura 26 – Produção total de matéria verde em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	119

Figura 27 – Matéria seca por planta das subparcelas em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	122
Figura 28 – Percentagem total de matéria seca nos intervalos em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.....	125
Figura 29 – Percentagem total de matéria seca em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	127
Figura 30 – pH do solo após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	130
Figura 31 – CE do solo após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	134
Figura 32 – Percentagem de Sódio Trocável – PST do solo após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	138
Figura 33 – PST do solo na profundidade de 0-20 cm após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	142
Figura 34 – Teor de sódio do solo após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	147
Figura 35 – Na ⁺ do solo na profundidade de 0-20 cm após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado.	150
Figura 36 – Matéria Orgânica (MO) do solo após um ano de cultivo da palma forrageira adubada em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado.	154
Figura 37 – Capacidade de troca catiônica – CTC do solo sob um ano de cultivo de palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	158
Figura 38 – CTC do solo na profundidade de 0-20 cm após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	161
Figura 39 – CTC do solo na profundidade de 20-40 cm após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	164
Figura 40 – CTC do solo sob o cultivo de palma forrageira nos 20-40 cm de profundidade aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado. .	166
Figura 41 – Conteúdo de P do solo sob um ano de cultivo de palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	170
Figura 42 – Conteúdo de K ⁺ do solo sob um ano de cultivo de palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	175
Figura 43 – K ⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira nos 0-20 cm de profundidade aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	177
Figura 44 – Teor de Ca ²⁺ do solo sob um ano de cultivo de palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	181
Figura 45 – Teor de Ca ²⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira na camada de 0-20 cm de profundidade aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado.	184
Figura 46 – Espessura de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	188
Figura 47 – Teor de nitrogênio (N) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	191
Figura 48 – Teor de fósforo (P) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	193
Figura 49 – Teor de potássio exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	196

Figura 50 – Conteúdo de cálcio (Ca) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	197
Figura 51 – Teor de magnésio (Mg) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	200
Figura 52 – Teor de ferro (Fe) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	204
Figura 53 – Teor de manganês (Mn) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	206
Figura 54 – Teor de zinco (Zn) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	208
Figura 55 – Teor de cobre (Cu) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	210
Figura 56 – Teor de sódio (Na) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.	212

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C/N	Carbono nitrogênio
Ca	Cálcio
CAM	Metabolismo ácido crassuláceo
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
DAEU	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
DCAT	Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
ETE	Estação de tratamento de esgoto
ETENE	Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste
ETo	Evapotranspiração de referência
Fe	Ferro
FUNDECI	Fundo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDIARN	Instituto de Defesa e Inspeção Agropecuária do Rio Grande do Norte
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
K	Potássio
KCL	Cloreto de potássio
LASAP	Laboratório de solo, água e planta da UFERSA
MAP	Fosfato monoamônico
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
MS	Matéria seca
MSTOT	Matéria seca total
MV	Matéria verde
MVPL	Massa verde por planta

MVTOT	Matéria verde total
N	Nitrogênio
Na	Sódio
O	Oeste
P	Fósforo
PEPC	Enzima Fosfoenolpiruvato Carboxilase
PIB	Produto interno bruto
PORMS	Porcentagem de matéria seca
S	Sul
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
T	Temperatura
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UR	Umidade relativa
ZCIT	Zona de convergência intertropical
Zn	Zinco
IILF	Intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa
PDA	Plano de desenvolvimento do assentamento
H	Altura de planta
N	Número de cladódios por planta
O	Ordem de cladódio
E	Espessura
L	Largura
P	Perímetro dos cladódios
CC	Capacidade de campo
L	Litros
AP	Altura de planta
DP	Densidade de plantio
NC	Número de cladódios
CC	Comprimento dos cladódios
LC	Largura dos cladódios
EC	Espessura do cladódio
PC	Perímetro do cladódio
PST	Porcentagem de sódio trocável

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
<	Menor que
\$	Cifrão
(L.)	Lineu
>	Maior que
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
dm ⁻³	Decímetro cúbico
g	Gramma
ha	Hectare
Kg	Quilograma
Km	Quilometro
Km ²	Quilometro quadrado
m	Metro
Mg	Mega grama
mm	Milímetro
°C	Graus Celcius
pH	Potencial Hidrogeniônico
t	Tonelada

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	19
1 INTRODUÇÃO GERAL	21
2 OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	23
3. REVISÃO DE LITERATURA	24
3.1 REÚSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA	24
3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SEMIÁRIDO DO NORDESTE	28
3.3 ORIGEM E INTRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA NO NORDESTE DO BRASIL	33
3.4 INDÍCES PRODUTIVOS DA PALMA FORRAGEIRA	36
3.5 ORIGEM BOTÂNICA, TAXONÔMICA E MORFOLOGICA DAS <i>OPUNTIAS</i>	38
3.6 ASPECTOS SOBRE A PRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA – ADAPTAÇÕES MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DA PALMA	40
3.7 CAPTAÇÃO ATMOSFÉRICA DE CO ₂ NA PALMA FORRAGEIRA	44
3.8 INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO E DENSIDADE DE PLANTIO NA FERTILIDADE DO SOLO E NA PRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA.....	47
3.9 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS E ADUBAÇÃO ORGÂNICA DA PALMA FORRAGEIRA	49
4 MATERIAL E MÉTODOS	54
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA DO ESTUDO.....	54
4.2 DECANTO-DIGESTOR ACOPLADO COM FILTROS ANAERÓBICOS SUBMERSOS (AFOGADOS) COM FLUXO ASCENDENTE E DESCENDENTE UTILIZADO PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO DO EXPERIMENTO.....	57
4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	60
4.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	63
4.4.1 Preparo do solo	63
4.4.2 Plantio e tratos culturais	63
4.4.3 Caracterização dos atributos químicos e físicos do solo	65
4.4.4 Variáveis de crescimento avaliadas	66
4.5 ADUBAÇÃO QUÍMICA E ORGÂNICA DE FUNDAÇÃO	67
4.6 MANEJO DA IRRIGAÇÃO E DA FERTIRRIGAÇÃO.	69
4.7 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZADO NO EXPERIMENTO.....	72
4.8 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO.....	75
4.9 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	76
4.10 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS.....	77
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.1 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA	78
5.1.1 Altura de plantas.	78
5.1.2 Número total de cladódios.	82
5.1.2.1 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre o número total de cladódios aos 375 DAP.....	87
5.1.3 Comprimento de cladódios de palma forrageira.....	90
5.1.4 Largura dos cladódios da palma forrageira.	95
5.1.5 Espessura das folhas da palma forrageira.....	100
5.1.6 Perímetro dos cladódios de palma forrageira.	105
5.1.6.1 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre o perímetro dos cladódios aos 300 DAP.....	109
5.1.6.2 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre o perímetro dos cladódios aos 375 DAP.....	112
5.1.7 Matéria verde por planta (MVPL), matéria verde total (MVTOT), matéria seca por planta (MSPL), matéria seca total (MSTOT) e porcentagem de matéria seca (PORMS).	114

5.1.8	Produção média de matéria verde de plantas de palma.	116
5.1.9	Produção de matéria verde total da palma forrageira.	118
5.1.10	Produção média de matéria seca de plantas de palma forrageira.	121
5.1.11	Produção de matéria seca total da palma forrageira.....	123
5.1.12	Porcentagem de matéria seca da palma forrageira.....	126
5.2	AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS UM CICLO CULTURAL DE PALMA IRRIGADA.....	128
5.2.1	pH do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.	128
5.2.2	CE do solo sob o cultivo de palma forrageira irrigado com esgoto doméstico tratado.	132
5.2.3	PST do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.	135
5.2.3.1	Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre a PST (%) do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade.	140
5.2.4	Teores de Na ⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.	143
5.2.4.1	Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre sódio (Na ⁺) do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade.	148
5.2.5	MO do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.....	150
5.2.6	CTC do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.	155
5.2.6.1	Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre a CTC do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade.....	160
5.2.6.2	Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre a CTC do solo de 20 a 40 cm de profundidade.....	162
5.2.6.3	Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre a CTC do solo na média das duas profundidades.	165
5.2.7	P do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.	167
5.2.8	Teores de K ⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.	173
5.2.8.1	Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre potássio (K ⁺) do solo de 0 a 20 cm de profundidade.	176
5.2.9	Teores de Ca ²⁺ do solo cultivado com palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.....	178
5.2.9.1	Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre o teor de cálcio (Ca ²⁺) na camada de 0-20 cm de profundidade.	182
5.2.10	Mg ²⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.....	184
5.3	EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES APÓS UM CICLO DA CULTURA DA PALMA FERTIRRIGADA COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO.....	188
5.3.1	Extração/exportação de macronutrientes em palma forrageira orelha de elefante mexicana, colhida aos 375 dias após o plantio.	188
5.3.2	Teor de nitrogênio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado e água de abastecimento de poço artesiano tubular.....	190
5.3.3	Teor de fósforo exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado	192
5.3.4	Teor potássio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado	195
5.3.5	Teor de cálcio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado	197
5.3.6	Teor de magnésio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.	199
5.3.7	Balanco da exportação de macronutrientes na palma forrageira.....	201
5.3.8	Extração/exportação de micronutrientes e sódio em palma forrageira orelha de elefante mexicana, colhida aos 375 dias após o plantio.	202
5.3.9	Teor de ferro exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.....	203
5.3.10	Teor de mangânes exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.....	205
5.3.11	Teor de zinco exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado	207
5.3.12	Teor de cobre exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.	209
5.3.13	Teor de sódio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado	211
5.3.14	Balanco da exportação de micronutrientes na palma forrageira.	213
6	CONCLUSÕES.....	214
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	216

RESUMO GERAL

LEMOS, Marcílio de. **Uso de esgoto doméstico tratado na produção de palma forrageira em assentamento rural do semiárido Brasileiro.** Mossoró-RN, Universidade Federal do Semiárido, Julho de 2016. 244p. Tese. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água no Semiárido. Orientador Dr. Miguel Ferreira Neto.

O crescimento populacional contribui para crise ambiental pressionando os recursos hídricos e o seu reúso é um componente essencial para sua gestão. A crise exige práticas de conservação com destaque para o uso de esgoto doméstico tratado na produção da palma forrageira. Desta forma, foi avaliado a aplicação do efluente doméstico no solo e no crescimento e desenvolvimento da palma forrageira orelha-de-elefante mexicana (*Opuntia tuna* (L.) Mill). O experimento foi realizado no assentamento Milagres, no município de Apodi-RN, cultivado em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas 3 x (4 + 1), com 4 repetições, sendo três densidades (d1 – 0,10 x 0,80 x 2,20 m {33.333 plantas/hectare}; d2 – 0,13 x 0,80 x 2,20 m {52.282 plantas/hectare}; d3 – 0,20 x 0,80 x 2,20 m {66.666 plantas/hectare}) e quatro intervalos entre irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) com água de abastecimento – AA e esgoto doméstico tratado – AE, sendo (2,3 dias AA e 7, 14 e 21 dias AE) com 3,5 mm cada e uma testemunha como sequeiro. Avaliou-se a cada 75 dias, iniciando após o plantio, e finalizando aos 375 dias após o plantio – DAP, a altura da planta, número total, comprimento, largura, espessura e perímetro dos cladódios, assim como a produção média de matéria verde (MV) por planta e total, a percentagem de matéria seca (MS) e ao final do um ano, avaliou-se os nutrientes do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm e a média dos nutrientes exportados, os quais foram submetidos aos testes de regressão e de médias. Houve efeito a ($p < 0,01$) dos intervalos entre irrigação na maioria das variáveis, resultando em plantas mais altas, cladódios mais numerosos, e elevações nas produções de MV e MS. E aumento de P (2,3 dias), PST e P (7 e 21 dias) e PST (14 dias) na camada de 0-20 cm de solo. E também aumento de Mg (2,3 dias), PST, Na e P (7 e 21 dias) e PST e Na (14 dias) na camada de 20-40 cm. Também houve efeito a ($P < 0,01$) em intervalo entre irrigação e densidade de plantio na camada de 0-20 cm, resultando em aumento na PST e Na (7, 14 e 21 dias nas D1, D2 e D3) e Ca (21 dias na D2). E houve efeito significativo dos intervalos entre irrigação a ($P < 0,01$) e ($P < 0,05$) na exportação de nutriente apenas para Ca, Mg, Mn e Zn, respectivamente, mas gerando déficit de N, Ca, Mg, Mn e Zn e superávit de P, K, Fe, Co e Na no solo após a colheita da palma forrageira.

Palavras-chave: Reúso, esgoto, palma forrageira, exigência nutricional.

GENERAL ABSTRACT

LEMOS, Marcírio de. **Use of treated domestic sewage in the forage palm production in rural settlement of the Brazilian semi-arid region.** Mossoró-RN, Universidade Federal do Semiárido, Julho de 2016. 244p. Tese. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água no Semiárido. Orientador Dr. Miguel Ferreira Neto.

The population growth contributes to environmental crises by stressing water resources and their reuse is an essential component of their management. The crisis requires conservation practices with emphasis on the use of treated domestic sewage in the forage palm production. In this way, the application of domestic effluent to the soil and the growth and development of the Mexican elephant ear (*Opuntia tuna* (L.) Mill) palm was evaluated. The experiment was carried out in the Milagres settlement, in the municipality of Apodi-RN, cultivated in a randomized complete block design in subdivided plots 3 x (4 + 1), with 4 replicates, being three densities (d1 - 0.10 x 0.80 x 2.20 m {33,333 plants / hectare}, d2 = 0.13 x 0.80 x 2.20 m {52,282 plants / hectare}, d3 = 0.20 x 0.80 x 2.20 m {66,666 plants / Hectare) and four intervals between irrigation with fixed blade (3.5 mm per event) with water supply - AA and treated domestic sewage - EA, being (2.3 days AA and 7, 14 and 21 days AE) with 3.5 mm each and one control as dry. The plant height, total number, length, width, thickness and perimeter of cladodes, as well as the average growth of green matter (MV) per plant and total, and the percentage of dry matter (DM), were evaluated every 75 days, beginning after planting, and ending at 375 days after planting (DAP); and at the end of one year, soil nutrients were evaluated in the 0-20 and 20-40 cm layers and the average of the exported nutrients, which were submitted to regression and means tests. There was an effect ($p < 0.01$) of the intervals between irrigation in most of the variables, resulting in higher plants, more numerous cladodes, and elevations in MV and MS growth. And there was still increase of P (2,3 days), PST and P (7 and 21 days) and PST (14 days) in the 0-20 cm layer of soil. Also increased Mg (2.3 days), PST, Na and P (7 and 21 days) and PST and Na (14 days) in the 20-40 cm layer. There was as well a ($P 0,01$) effect at interval between irrigation and planting density in the 0-20 cm layer, resulting in an increase in PST and Na (7, 14 and 21 days in D1, D2 and D3) and Ca (21 days on D2). And there was a significant effect of the intervals between irrigation at ($P 0,01$) and ($P 0,05$) on the nutrient export only for Ca, Mg, Mn and Zn, respectively, but generating a deficit of N, Ca, Mg, Mn and Zn and surplus of P, K, Fe, Co and Na in the soil after harvesting the forage palm.

Key words: Reuse, sewage, forage palm, nutritional requirement.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A crise ambiental proporcionada pelo crescimento populacional mundial e pelo modelo de desenvolvimento traz preocupações relacionadas à produção de alimentos, em que pese à disponibilidade hídrica para fins produtivos, o que tem tornado o cultivo de plantas xerófilas adaptadas a regiões semiáridas irrigadas com água de esgoto doméstico tratado como componente necessário à gestão de recursos hídricos.

No semiárido Brasileiro há 1,7 milhões de estabelecimentos, sendo 1 milhão de minifúndios com menos de 5 hectares, quase 90% destes oriundos da agricultura familiar (SILVA & COSTA, 2014), onde vivem 22 milhões de habitantes (MALVEZZI, 2007). A região tem sérias limitações à produção agrícola, impostas pelas características naturais, em que, além da baixa pluviometria (menos que 800 mm por ano), das altas temperaturas (médias entre 23 e 27 °C), da alta evaporação e da presença da vegetação de caatinga, há também pobreza, desigualdade social e fraco desempenho econômico.

Devido à falta de água as explorações agrícolas no semiárido são de sequeiro e sua produção depende da sazonalidade da região. O suporte da caatinga varia de 12 a 15 ha / UA (LIRA et al., 2009), em secas severas o suporte cai pela metade (DUBEUX Jr. et al., 2015). Face ao papel relevante da palma para os rebanhos, possui importância econômica para a região (FARIAS et al., 2005; LOPES et al., 2012).

Em algumas regiões, a dificuldade de produção agropecuária é mais difícil. No Seridó e Sertão Central Potiguar o clima dificulta ainda mais o desempenho da palma, devido à baixa umidade do ar, altas temperaturas, alta evapotranspiração, ocasionando murchas severas, causando a morte de plantas no período seco (LIMA et al., 2015).

Com o estresse hídrico a palma forrageira apresenta o metabolismo ácido crassuláceo – CAM. Contudo, sem estresse a palma pode atuar como CAM facultativa, ajustando o padrão de captação de CO₂, como ocorre com outras cactáceas, portanto, as plantas CAM possuem uma vantagem competitiva em ambientes secos (TAIZ & ZEIGER, 2013). Assim, mudanças no manejo da cultura, como combinação de intervalos entre irrigações e densidades de plantio podem aperfeiçoar o uso da radiação e a nutrição da planta com aumento de produção. No entanto, Dubeux Jr. et al. (2010) ressaltam que apenas 2 – 3 % do semiárido Brasileiro podem receber irrigação devido as limitações hídricas e edáficas.

Lima (2009) cita que parece inapropriado irrigar uma cultura xerófita. Silva et al. (2012) consideram que mesmo sendo a irrigação limitada no semiárido, quando localizada utilizando pouca água é uma opção para o cultivo da palma. E com a implantação de sistemas

de irrigação eficiente e de baixo custo, viabiliza-se tecnologicamente onde não há condição climática para a produção (LIMA et al., 2015). Como a palma economiza água, 50 a 75 m³ ha⁻¹ mês⁻¹, volume de um dia da cultura do melão, é importante avaliar fontes alternativas, visto que com esse volume alcançasse produções em torno de 600 t ha⁻¹ de MV (LIMA et al., 2015).

É neste contexto que as águas de esgoto doméstico tratado na produção de palma tornam-se uma estratégia interessante, entretanto, o reúso de esgoto doméstico agrícola deve ser planejado, para controlar, em curto prazo, os efeitos com microrganismos e, em longo prazo, os efeitos de sais, nutrientes e oligoelementos, no ambiente e nas pessoas.

Algumas experiências pioneiras têm se destacado, a exemplo dos experimentos com reúso agrícola de esgoto doméstico tratado no Assentamento Milagres no Município de Apodi – RN, com o tratamento anaeróbico das águas servidas de 28 residências com volume disponível acima de 40 mil litros diário optou-se por estudar espaçamentos adensados (33, 50 e 66 mil plantas por ha) e intervalos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias e sequeiro, baseando-se na metade da Eto média diária (3,5 mm). Para tanto, de acordo com a análise de solo, exportação de nutriente e técnica de regressão fez-se a adubação de fundação, aplicando fontes de N, P e K, assim como foram aplicadas 30 t ha⁻¹ de esterco bovino de curral. Por derivação do sistema americano BUBLER, foi desenvolvido um sistema de irrigação de baixa pressão e baixo custo para viabilizar a irrigação do cultivo da palma (MEDEIROS et al., 2014).

Essas iniciativas precisam ser ampliadas com unidades de pesquisas, com o uso dessas águas em diversas atividades agrícolas, o que pode significar uma alternativa viável na solução das pressões ambientais, econômicas e sociais promovidas pelo atual modelo de Reforma Agrária implantado no País.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o crescimento e produção de biomassa, assim como os impactos físicos e químicos causado pelo acúmulo de nutrientes no solo e avaliação química de teores de nutrientes em tecido foliar, a fim de identificar a dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta, na produção de palma forrageira orelha de elefante mexicana (*Opuntia tuna* (L.) Mill) submetida a diferentes condições de disponibilidade de água (intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) com esgoto doméstico primário tratado por sistema anaeróbico e densidade de plantio no desempenho produtivo no semiárido do Rio Grande do Norte.

2OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1– Avaliar níveis de densidade de plantio com intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) de fertirrigação no crescimento e produtividade da palma forrageira com reúso de água doméstica tratada;
- 2– Analisar os efeitos da aplicação da água residuária doméstica tratada nas características físico-químicas do solo sob cultivo de palma forrageira.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 REÚSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA

O reúso da água é hoje um fator importante para a gestão dos recursos hídricos. O poder depurador do solo ou de substratos é muito maior que o poder depurador das águas, pois funciona como filtro, além de promover a decomposição da matéria orgânica ainda presente em efluentes tratados. Para a agricultura, o reúso de efluentes fornece, além de água, alguns nutrientes às plantas. Entretanto, o uso de resíduos em solos deve ser constantemente monitorado, para que não haja contaminação do sistema solo-água-plantas e, conseqüentemente, de quem os manipula (BERTONCINI, 2008).

O desenvolvimento agrícola depende da disponibilidade de água e, principalmente, de seu uso adequado, já que a utilização da água para a irrigação e o abastecimento rural é um desafio relevante para as áreas com escassez desse recurso, como as regiões áridas e semiáridas, onde as pressões sobre os recursos hídricos são bem maiores, devido à baixa oferta (SOUZA, 2006).

Chuvas escassas e de distribuição irregular limitam a produção agrícola em cerca de 88% (em área) da região nordeste do Brasil, contribuindo para elevados índices de pobreza (ATHAYDE JUNIOR & LEITE, 1999). Desperdícios de água na irrigação agrícola agravam ainda mais o problema devido ao uso de métodos de irrigação que favorecem perdas de até 60% da água por evaporação, como a inundação, os sulcos rasos, o pivô central e a aspersão (BERTONCINI, 2008). Segundo Christofidís (2009), no Brasil, dos quatro milhões de hectares irrigados, mais de 90% deles utilizam-se destes métodos menos eficientes. Por outro lado, a agricultura irrigada é considerada uma atividade econômica altamente lucrativa, sem necessidade de expansão da fronteira agrícola, sendo seu principal empecilho a indisponibilidade de grandes volumes d'água requeridos, principalmente em se tratando de regiões com elevados índices de evapotranspiração, como no nordeste brasileiro (ATHAYDE JUNIOR & LEITE, 1999).

Face às grandes vazões envolvidas, (chegando a até 80% do uso consuntivo, em alguns países), especial atenção deve ser atribuída ao reúso para fins agrícolas. A agricultura depende, atualmente, de suprimento de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais (HESPANHOL, 2002). A FAO

calcula que o consumo de água da agricultura brasileira representa 61% do consumo total do país (FAO, 2010).

Pelo menos uma parte da água utilizada na irrigação poderia ser substituída por água já utilizada em outra aplicação, como é o caso do efluente de esgoto proveniente de ETE's (DA FONSECA et al., 2007). Os maiores potenciais de uso agrícola das águas residuárias estão em diversas atividades, como: irrigação, piscicultura, recreação, paisagismo e o uso industrial (SOUZA, 2006).

O incentivo do uso, na irrigação, de águas de qualidade inferior., como as de esgoto doméstico, de drenagem agrícola e águas salinas, as quais podem ser subterrâneas, residual bruta ou tratada, devem ser consideradas como fontes alternativas de uso. Além do mais, são práticas antigas mundialmente conhecidas e, de acordo com Associação Nacional Brasileira de Normas Técnicas (2007), no Brasil a prática de reúso de águas, principalmente na irrigação, está sendo bastante difundida, contudo, é um procedimento não institucionalizado e vem se desenvolvendo sem nenhuma forma de planejamento ou controle. A Organização Mundial da Saúde assegura que o tratamento primário de esgotos domésticos já é suficiente para torná-los adequados à irrigação de culturas de consumo indireto. No entanto, recomendam-se tratamentos secundário e terciário quando estas águas forem utilizadas na irrigação das culturas para consumo direto (METCALF & EDDY, 2003).

No Brasil, mesmo com a difusão tecnológica, a prática de reúso de água ainda é considerada nova, restringindo-se praticamente as imensas áreas de cana-de-açúcar irrigadas com vinhaça (BERTONCINI, 2008). Porém, em regiões onde ocorre carência de água, o reúso torna-se uma prática que deve ser incentivada (MOTA, 2000), pois é uma atividade que pode reforçar a produtividade agrícola em regiões áridas e semiáridas, visto que esse tipo de água contém muitos nutrientes essenciais para as plantas. Entretanto, seu uso na agricultura deve ser cuidadosamente planejado, para controlar, em curto prazo, os efeitos com microrganismos e em longo prazo, os efeitos da salinidade, sodicidade, nutrientes e oligoelementos, sobre os solos e as culturas.

A aplicação do reúso de água traz alguns benefícios, os benefícios econômicos são auferidos graças ao aumento da área cultivada e ao aumento da produtividade agrícola, os quais são mais significativos em áreas onde se depende apenas de irrigação natural, proporcionada pelas águas de chuvas. O aumento de produtividade não é, entretanto, o único benefício, uma vez que se torna possível ampliar a área irrigada e, quando as condições climáticas permitem, efetuar colheitas múltiplas, praticamente ao longo de todo o ano (HESPANHOL, 2002), além de propiciar vantagens ambientais, tais como: o uso sustentável

de recursos hídricos, minimiza a poluição hídrica dos mananciais, estimula o uso racional de águas de boa qualidade, permite evitar a tendência de erosão do solo e controla processos de desertificação por meio da irrigação e fertilização de cinturões verdes; possibilita a economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica; e permite maximizar a infraestrutura de abastecimento de água e tratamento de esgoto pela utilização múltipla de água aduziva (BERNARDI, 2003).

Um exemplo notável de recuperação econômica associada à disponibilidade de esgotos para irrigação é o caso do Vale de Mesquital, no México, onde a renda agrícola aumentou de quase zero no início do século, quando os esgotos da cidade do México foram postos à disposição da região, até aproximadamente 4 milhões de dólares americanos por hectare, em 1990.

Segundo Guidolin (2000), é importante considerar, também, o conteúdo dos elementos minerais presentes em efluentes brutos, destacando os macro e micronutrientes necessários ao desenvolvimento vegetal e também aos fitotóxicos, já que é uma prática em que se utiliza para produção de consumo, na maioria dos casos, humana.

De efeito poluente, sistemas convencionais de tratamento têm como destaque a quantidade de nitrogênio e fósforo dissolvidos no efluente, com grande potencial de eutrofização de corpos de água (JARVIE et al., 2005, VALENTE et al., 1997), por conter uma concentração típica de 15 mg L^{-1} de N total e 3 mg L^{-1} de P total, proporcionando, portanto, às taxas usuais de irrigação em zonas semiáridas (aproximadamente 2 metros por ano), uma aplicação de N e P de 300 e 60 kg ha^{-1} ano, respectivamente (HESPANHOL, 2002). Estes elementos, juntamente com potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre e ferro, manganês e zinco, são elementos essenciais, de fornecimento obrigatório para o desenvolvimento das plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2005), que, além dos nutrientes e dos micronutrientes, não disponíveis em fertilizantes sintéticos, a aplicação de esgotos proporciona a adição de matéria orgânica, que age como um condicionador do solo, aumentando a sua capacidade de reter água. Essa aplicação de nutrientes reduz substancialmente, ou mesmo elimina, a necessidade do emprego de fertilizantes comerciais (HESPANHOL, 2002).

Como toda atividade, o reúso de água apresenta, de uma maneira geral, efeitos negativos que não podem ser ignorados (SNEL, 2002), como: risco à saúde dos trabalhadores do sistema implantado que estejam em contato prolongado com o efluente; contaminação dos lençóis freáticos; inserção dos poluentes químicos no solo; criação de habitat para vetores de doenças; e crescimento excessivo de algas e vegetação em canais que transportem o efluente, devido ao fenômeno de eutrofização. Além dessas desvantagens, segundo Metcalf; Eddy

(2003) há alguns problemas que também devem ser considerados, com a aplicabilidade do reúso de águas mais restritos para o reúso pretendido, proteção da saúde pública e nível de aceitação do público. Salientando assim que, como toda a atividade, necessita de um manejo adequado e rigoroso.

Conforme a literatura, devido às matérias orgânicas presentes nos esgotos sanitários, estes precisam ser coletados e ter um destino adequado, para evitar a transmissão de doenças e minimizar os seus impactos sobre o meio ambiente. Contudo, Mancuso & Santos (2003) relatam que o aumento da extensão de terras e a escassez de fertilizantes nas regiões áridas e semiáridas apontam para o aproveitamento dos nutrientes contidos nos esgotos, ao invés de rejeitá-los.

No entanto, há certo senso quanto ao valor de nutrientes dos esgotos, mas ignorância quanto a padrões sanitários, o que leva comumente ao uso incorreto dos mesmos. A população, de um modo geral, apresenta preconceito e certo escrúpulo quanto ao consumo de culturas irrigadas por águas residuais, todavia muito em decorrência da falta de tradição e, em última análise, informação e educação (SILVA et al., 2008).

Sousa et al. (2001) afirmam que a irrigação de culturas favorece a assimilação do nitrogênio na forma de nitrato e na forma de íon amônio, elemento presente em águas residuárias tratadas, que, quando reusadas, apresentam o mesmo efeito do nitrogênio aplicado na forma de fertilizantes, incluindo as seguintes vantagens: dispensa fertilizantes minerais, elimina a provável contaminação de águas subterrâneas e superficiais por fertilizantes, e supre a escassez de água para fins domésticos.

Assim, a irrigação utilizando estas águas residuárias é um dos métodos mais recomendados para a destinação destes resíduos (ASANO et al., 1987) FONSECA et al., 2007; PESCOD, 1992; PIVELI et al., 2008). É um método viável, pois garante a produtividade da colheita, por causa do fornecimento de água e nutrientes (DA FONSECA, 2005; FIRME, 2007), e a preservação da qualidade ambiental, devido à proteção da qualidade das águas superficiais, evitando lançamentos diretos nos corpos d'água (CORAUCCI et al., 1999).

Bastos (2003) afirma que qualquer método de irrigação pode ser empregado na utilização de esgotos sanitários na agricultura, desde que observadas as devidas particularidades. E, ao selecionar o método, é indispensável observar os seguintes critérios: considerações econômicas, topografia e características físicas do solo, tipos de culturas agrícolas, disponibilidade de mão de obra, qualidade da água e tradição do cultivo das propriedades rurais. Porém as culturas irrigadas com efluente de ETE devem satisfazer a

maioria dos critérios estabelecidos por Segarra et al. (1996), que são (i) alta absorção de N (ii) elevado consumo d'água, (iii) possibilidade de processamento, (iv) potencial de mercado; (v) viabilidade econômica para que a atividade agrícola obtenha sucesso.

Apesar do grande potencial do reúso de esgotos domésticos na irrigação, o manejo inadequado deste pode resultar em sérios riscos à saúde, efeitos deletérios no solo e na planta, além do impacto ambiental, como a lixiviação dos poluentes e contaminação das águas subterrâneas, fatos estes que ocorrem particularmente em regiões áridas, com solos permeáveis e rasos (BASTOS, 2003), sendo, assim, considerado um problema sério, já que as medidas de descontaminação são extremamente lentas. Por isso, deve-se tentar ter um uso criterioso dessas águas, de forma que torne uma atividade sustentável (SOUZA, 2006), principalmente nos projetos de irrigação, em que o monitoramento deve ser regular e com aplicações cautelosas, respeitando o método de irrigação e as formas de fertilização (HARUVY, 1998).

Logo, muitos estudos são realizados, a exemplo da administração das bacias hidrográficas locais, aumento no tratamento de esgotos sanitários, especialmente domésticos, adaptação do reúso de esgotos tratados para diversas atividades, como: irrigação, piscicultura, recreação, paisagismo e o uso industrial.

Entretanto, diretrizes podem ser adotadas isoladamente ou de forma combinada no uso de águas residuárias na agricultura, tais como restrições a culturas, controle da aplicação da água residuária, controle da exposição humana e promoção da higiene (PESCOD, 1992).

Um bom manejo da irrigação com esgoto doméstico deve procurar evitar o desenvolvimento de vetores de doenças e fomentar seu controle. Isto implica na mínima presença de águas livres, adequada construção, manutenção de canais, drenagem eficaz e a distribuição econômica (AYERS; WESTCOT, 1991).

3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SEMIÁRIDO DO NORDESTE

As regiões climaticamente definidas como áridas e semiáridas, representam aproximadamente 48 milhões de km², distribuídas em 2/3 dos países do mundo, onde vive uma população estimada em 630 milhões de pessoas. No caso do Brasil, essas áreas ocupam 11,5 % de sua superfície (IBGE, 2013), onde vivem 22 milhões de habitantes, um dos semiáridos mais populosos do mundo (MALVEZZI, 2007), no qual existem cerca 1,7 milhão de estabelecimentos rurais, sendo 1 milhão de minifúndios com menos de cinco hectares

(SILVA & COSTA, 2014). Nestas, o fenômeno da seca é normal e causa sérios prejuízos ao setor agropecuário (OLIVEIRA et al., 2010).

No Brasil, a região Nordeste é uma região geográfica com uma área de 1.554.387, 725 km², correspondendo a 18,28% do território brasileiro, com 56,46% de sua área dentro do semiárido, região em que está localizado o Polígono das Secas, condição que leva a secas periódicas, abrangendo uma área de 980.133,079 km², que corresponde a 11,53% do território brasileiro. Os estados brasileiros que detêm maior percentual de área no semiárido são: Rio Grande do Norte (93,4%), Pernambuco (87,60%), Ceará (86,74%), Paraíba (86,20%), Bahia (69,31%), Piauí (59,41%), Sergipe (50,67%), Alagoas (45,28%) e Minas Gerais (17,49%) (IBGE, 2010). No semiárido vivem aproximadamente 22,6 milhões de pessoas, o que equivale a 42,57% da população do nordeste e 11,85% da população nacional (região de maior densidade demográfica do mundo), dos quais 8,595 milhões vivem no meio rural, ou seja, 4,51% da população nacional (IBGE, 2010).

O Polígono das Secas é a área de maior incidência de secas. É a Região Semiárida propriamente dita (CODEVASF, 2011), uma região onde o espaço geográfico é marcado pelas limitações à produção agrícola, impostas dificuldades do clima, que, além da baixa pluviometria (menos que 800 mm por ano), evidencia altas temperaturas (médias entre 23 e 27 °C com amplitude diária de mais ou menos 10 °C) com luminosidade média de 2.800 horas de luz ano, os altos índices de evaporação (2000 mm ano), índice de aridez até 0,50 e risco de seca superior a 60% e a predominância da vegetação de caatinga (“mata branca”). Associada a condições ambientais adversas, a pobreza, a desigualdade social e o fraco desempenho econômico, têm definido a feição dessa região, especialmente pela variação sazonal e espacial das chuvas delimitando duas estações bem definidas: uma chuvosa e a outra seca.

As explorações agrícolas nesse espaço geográfico de mudanças constantes são centradas em cultivos de sequeiros e criações de bovinos, caprinos e ovinos, excetuando-se aquelas praticadas nas “regiões de prosperidade”, onde a irrigação é viável. Em face às asperezas do clima, que resultam em cíclicas estiagens, o desempenho desse frágil modelo agrícola é severamente prejudicado, fato que impõe graves restrições à sobrevivência nessa região. Atualmente, o semiárido vem passando por um período de estiagem que deve ser agravado pelas mudanças climáticas. O prolongamento da seca mais severa dos últimos 80 anos manteve os efeitos da estiagem na maior parte dos municípios brasileiros, atingidos em 2014. Como resultado, o primeiro bimestre de 2015 já registra 932 municípios que se encontram em situação de emergência, devido à seca ou à estiagem, conforme dados do Ministério da Integração. Em todo o ano de 2014 a quantidade de municípios na mesma

condição foi de 1.265. A questão da seca gera considerável atenção, pois parcela substancial da atividade econômica do Nordeste é baseada na agropecuária. Quando ocorrem prolongados períodos de estiagem, a produção agrícola fica comprometida, a pecuária é debilitada e as reservas de água superficiais se esgotam (DUARTE, 2001). Nessas condições, a vulnerabilidade das camadas mais pobres da produção eleva-se consideravelmente. A geração de renda e emprego fica comprometida, há aumento de pobreza e miséria, além dos efeitos indiretos sobre outras regiões e centros urbanos, resultante de processos migratórios. Na literatura especializada, em geral, se aceita que os efeitos da seca são sentidos principalmente por pequenos produtores e agricultores familiares. Esse fato é preocupante, já que no Brasil cerca de 48% dos estabelecimentos agrícolas têm, no máximo, 10 hectares; se for considerada a agricultura de subsistência, esse valor pode chegar a 84%. Somente no Nordeste estão localizados 50% dos estabelecimentos de agricultura familiar. Além disso, a agricultura de subsistência representa 75% da força de trabalho agrícola e é responsável por aproximadamente 10% do PIB nacional (GUILHOTO et al., 2007). Estima-se que em 19 anos de seca (13 secas), de 1958 a 2012, as perdas econômicas estão calculadas com base no valor bruto da produção em 2,49 bilhões de reais apenas para as lavouras de feijão e de milho, e de 105,61 milhões no valor bruto da produção de leite de vaca, totalizando 2,6 bilhões de reais (XIMENES, 2013).

Araújo et al. (2001) afirmam que em função das condições edafoclimáticas peculiares, a pecuária tem sido constituída, ao longo do tempo, na atividade básica das populações rurais distribuídas na região semiárida nordestina. As lavouras de sequeiro têm sido consideradas apenas como um sub componente dos sistemas de produção predominantes, por causa da sua maior vulnerabilidade às limitações ambientais. Por outro lado, a agricultura irrigada também não oferece alternativas para a maioria das áreas, visto que apenas 2 a 3% do semiárido nordestino poderiam ser contemplados com a irrigação, considerando limitações quantitativas e qualitativas da água, bem como limitações edáficas. A pecuária contribui para a estabilidade econômica dos agricultores do semiárido pelo fato de apresentar, em anos de seca, perdas bem inferiores (20%) às da agricultura (84%), se credenciando como o principal fator de fixação do homem no semiárido (ARAÚJO FILHO, 2003). De acordo com o senso agropecuário do (IBGE, 2012) no semiárido existem 31,2 milhões de cabeça de animais, dos quais 53% são bovinos, 25% são ovinos e 21% são caprinos, sendo que o semiárido Mineiro apresentou um rebanho de bovinos de 98% do rebanho total de 2,7 milhões de cabeças, o Pernambucano de caprinos (35%) do total de 5 milhões de cabeças, e o Cearense de ovinos (36%) do total de 5,2

milhões de cabeças, enquanto o Potiguar apresentou um rebanho bovino de (45,65%) seguido de ovinos (31,86%) do total de 1,6 milhões de cabeças.

O semiárido nordestino é caracterizado pela heterogeneidade das condições naturais, como clima, solo, topografia, vegetação e características socioeconômicas (BORBA et al., 2011). De acordo com a classificação de Köppen, existem três tipos de clima predominantes na região: o BShw – semiárido, com curta estação chuvosa no verão e precipitações concentradas nos meses de dezembro e janeiro; o BShw' – semiárido, com curta estação chuvosa no verão-outono e precipitações nos meses de março e abril; e o BSh' – semiárido, com curta estação chuvosa no outono-inverno e precipitações concentradas nos meses de maio e junho. A temperatura oscila entre 23 a 28 °C, com amplitude diária de mais ou menos 10 °C. A luminosidade média é de 2800 horas de luz ao ano. Em relação aos recursos hídricos, apenas 30% das terras são de origem sedimentar, ricas em águas subterrâneas. Os rios, em sua maioria, são intermitentes e o volume de água, em geral, é limitado, sendo insuficiente para a irrigação. É nessa região que fica a maior parte do semiárido brasileiro, que possui como características um alto índice de evaporação anual, superior a 2000 mm e média anual de chuvas inferior a 750 mm, concentrados em uma única estação de 3 a 5 meses.

Os solos predominantes são classificados como Latossolos, Litólicos, Argissolos, Luvisolos, Neossolos Quartzarênicos e os Planossolos Solódicos. Quimicamente, podem ser adequados, mas, normalmente, apresentam restrições físicas, drenagem irregular, pH ácido e pouca vocação agrícola (PEREIRA JUNIOR, 2006). Também apresentam baixos teores de matéria orgânica, conseqüentemente, a produtividade depende da fertilidade natural que, na maioria das vezes, não atende as necessidades de nutrição das culturas, tornando a adição de matéria orgânica necessária, sendo o uso de esterco de animais uma prática de manejo do solo que viabiliza a adição de nutrientes.

A vegetação da caatinga é rica em espécies forrageiras em seus três estratos: herbáceo, arbustivo, e arbóreo (ARAÚJO FILHO, 1992). A manipulação da vegetação nativa tem sido uma ferramenta bastante interessante para o incremento da produção de forrageiras em algumas regiões do semiárido. Todavia, o potencial forrageiro da pastagem nativa, além das flutuações em função das condições climáticas anuais, apresenta grandes variações locais. No entanto, a caatinga apresenta uma razoável produção de matéria seca (MS), que, segundo Araújo Filho (1995), atinge, em média, cerca de 4.000 t ha⁻¹ ano⁻¹. Mesmo reconhecendo esse potencial de produção de MS, é importante ressaltar que nem toda forragem produzida pela caatinga fica disponível para o animal no pastejo, com grande variação em função de fatores ambientais, como estação do ano, chuvosa ou seca, e de fatores antrópicos, especialmente

quanto à forma e à intensidade de uso dos recursos forrageiros, de maneira que a capacidade de suporte dos pastos nativos dificilmente ultrapassa 0,1 unidades animais por hectare. A baixa capacidade de suporte forrageiro da caatinga acarreta deficiência nutricional nos animais em períodos do ano, sendo uma grande limitação da pecuária. Araújo Filho & Silva (1994) comentam que a produção de alimentos para o rebanho constitui o maior desafio que enfrenta a pecuária nas regiões semiáridas, devido à variabilidade e as incertezas climáticas.

A formação e o manejo das pastagens no semiárido devem focar basicamente a utilização sustentável dos recursos forrageiros adaptados. Isso evidencia a necessidade e urgência de se desenvolver sistemas de produção adaptados a estas condições mesológicas. No semiárido a disponibilidade de alimentos é estreitamente relacionada com a sazonalidade da região, isto é, há oferta de alimentação animal e humana na estação chuvosa e escassez no período seco, que compreende a maior parte do ano. Esses aspectos reforçam a importância e necessidade do uso de estratégias alimentares para garantir a segurança alimentar e nutricional no semiárido brasileiro, com a implantação de tecnologias apropriadas, tais como o reúso de água (fertirrigação), aliado ao plantio e manejo adequado de forrageiras adaptadas, objetivando melhorar os índices produtivos e econômicos. Nessa região há necessidade de uma seleção adequada de plantas, para tornar seu sistema agrícola sustentável. Das diversas famílias de plantas que existem nestas áreas, as cactáceas são umas das mais importantes, em virtude dos seus mecanismos de adaptações à escassez de água, o que permite a sua perenidade em ambientes algumas vezes de extrema condição de aridez, proporcionando produção quantitativa e qualitativa, mantendo a sustentabilidade da pecuária e da agricultura no semiárido brasileiro com qualidade na dieta alimentar a custos razoáveis para os produtores rurais (ALENCAR et al., 2011).

As possibilidades de sucesso da pecuária nas condições semiáridas aumentam significativamente quando se faz a opção por forrageiras com bom potencial de produção e adaptadas aos efeitos das adversidades edafoclimáticas, principalmente do déficit hídrico. Dentre as diversas espécies, particularmente as cactáceas, adequadas para o cultivo no nordeste, a palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) se constitui uma importante alternativa para alimentação animal e humana no semiárido (MOURA et al., 2011). A palma possui características que a tornam importante na pecuária, tanto pela capacidade de adaptação, rusticidade e longevidade no semiárido, como pela boa aceitabilidade pelo gado (SILVA et al., 2010). Já Dubeux Jr. et al. (2011) afirmam que a palma forrageira é uma alternativa viável para manter níveis adequados de produtividade animal na região semiárida.

Segundo Santos et al. (2011a), a palma é uma planta que apresenta características morfofisiológicas que a tornam tolerantes a longas estiagens.

3.3 ORIGEM E INTRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA NO NORDESTE DO BRASIL

De todas as cactáceas em sua distribuição original, a palma forrageira é a mais difundida no continente americano. Nos outros continentes só é comum encontrá-la de maneira cultivada. Todavia, em nenhum outro país desempenha um papel tão importante como no México. Isso é devido parcialmente à baixa adequação ecológica da maioria das espécies mexicanas nos demais países da América Latina. Também é válido mencionar que a esfera cultural histórica, os mitos e a religião no México desempenharam um papel importante em seu desenvolvimento. Por isso, vem sendo possível transferir as *Opuntias* usadas na agricultura familiar tradicional de subsistência para um sistema agrícola moderno que tem como objetivo os mercados urbanos atuais.

A origem da palma dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* é o continente americano. Sabe-se que, desde 1520, a *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill é originária da América, mais propriamente do México, devido ao grande número de espécies presentes em seu território (POLUNIN et al., 1978; GUIA DA FLORA E VEGETAÇÃO DO ANDEVALO; FAO, 2001; FLORES, 1994). Contudo, ela possui ampla distribuição geográfica, sendo cultivada na América do Norte e Sul, na África, e na Europa (SOUZA et al., 2008).

Esta planta sul-americana foi introduzida na Europa por Cristóvão Colombo e difundiu-se por várias regiões mediterrânicas, sendo, como tal, um dos locais mais comuns desta região, tendo como “habitat” principal zonas áridas e rochosas circundantes do Mediterrâneo (POLUNIN et al., 1978). Nesta e em outras regiões onde é cultivada, forma sebes impenetráveis e densas, com cerca de 2 a 5 metros de altura, que podem servir de barreira a animais, devido aos Cladódios em forma de raquete de cerca de 10 a 40 cm, que se agrupam em várias camadas (POLUNIN et al., 1978).

Todavia, nem sempre essas introduções produziram resultados positivos para as populações locais, como ocorreu na Austrália e na África do Sul, onde a introdução de espécies de palma forrageira com espinhos chegaram a infestar talvez mais de 1.000.000 de hectares em cada um desses países. Sabe-se, também, que nem mesmo os esforços do genial agricultor californiano Luther Burbank, que selecionou espécies sem espinhos no início do

século vinte, juntamente com o bem fundamentado trabalho de David Griffiths, este último apoiado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – DAEU, foram capazes de anular o preconceito que se criou contra essas plantas nesses países e em outros lugares (BENSON, 1982).

No nosso País, foi elaborado um Guia de Plantas Invasoras de Portugal, que inclui a *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, (OFI), com tal desígnio (MARCHANTE et al., 2005). Entretanto, existe algum exagero nesta classificação, no que respeita ao nosso País, em virtude de não haver relatos que, em alguma parte do nosso território, esta tenha causado problemas de invasão, apesar da sua fácil propagação.

Sobre o histórico da palma forrageira (*O. ficus-indica* e *N. cochenillifera*) no Brasil, especialmente no Nordeste, existem muitas controvérsias entre os autores. Inicialmente, a palma foi cultivada, segundo Pessoa (1967), com objetivo de hospedar o inseto, denominado cochonilha do carmim [*Dactylopius coccus* Costa (Homóptera, *Dactylopiidae*)], que não causa danos à planta, quando bem manejada, e é produtor de um corante vermelho (carmim) (LIRA et al., 2006), o que resultou em uma ação sem sucesso. Simões et al., (2005) citam a introdução no final do século passado. Com esse insucesso, a palma passou a ser cultivada como planta ornamental, quando um dia, por acaso, verificou-se que era forrageira, despertando interesse dos criadores que passaram a cultivá-la com intensidade. Esse último uso se intensificou na década de 90 quando ocorreram secas prolongadas no Nordeste (ALBUQUERQUE, 2000; SIMÕES et al., 2005).

O mais remoto registro sobre cactáceas como forrageira, na literatura especializada do Brasil, data de 1893, em publicação de J. Barbosa Rodrigues intitulada Hortus Fluminensis ou Breves Notícias sobre as Plantas Cultivadas no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. O autor comenta, ainda, que a disseminação da palma forrageira em Pernambuco teve como fator decisivo um decreto do interventor pernambucano, mandando conferir prêmios aos plantadores de palma que obedecessem a certos requisitos estabelecidos, tais como: espaçamento, alinhamento, ausência de falhas, bom desenvolvimento e tratos culturais (DOMINGUES, 1963; SUASSUNA, 2013).

Desde o início do século passado, a palma forrageira é cultivada com relativo sucesso no semiárido nordestino e nas regiões áridas e semiáridas dos Estados Unidos, México, África do Sul e Austrália, tendo sido introduzida no Brasil em 1880, no Estado de Pernambuco, por meio de raquetes provenientes do Texas, EUA (DOMINGUES, 1963). Mas segundo Chagas (1976) a introdução no Brasil deve-se ao sueco Herman Lundgren, por volta de 1877, opinião compartilhada por vários pesquisadores (VIANA, 1969; ANDRADE, 1990; SANTOS, 1992).

No ano de 1877 houve, certamente, a maior seca do norte e nordeste do país, dizimando parte da nossa população e destruindo, quase que completamente, os rebanhos.

Já para Duque (1980), os primeiros esforços para disseminação da palma no semiárido nordestino se deram por volta de 1930. Durante a seca de 1932, por iniciativa do Ministério da Viação e Obras Públicas, o cultivo foi disseminado do Piauí à Bahia, sendo o estado de Pernambuco o primeiro estado a introduzir e a pesquisar a palma.

No entanto, em relatos da literatura jornalística citam como introdutor da palma forrageira no semiárido o coronel Delmiro da Cruz Gouveia. Se hoje o norte e nordeste plantam a palma e a usam como forrageira, na alimentação de sua criação bovina e caprina, se deve esta iniciativa ao Coronel Delmiro da Cruz Gouveia, pois foi ele introdutor da palma na alimentação do gado e dos caprinos no norte e nordeste: Delmiro Goveia introduz no Estado de Alagoas a espécie de palma forrageira do gênero *Nopalea*, conhecida como palma miúda ou doce. Hermann Lundgren trouxe do Texas mudas de palma gigante e plantou em Paulista (PE). Histórico da palma forrageira no Nordeste Delmiro Goveia 1863 – 1917 e Hermann Lundgren 1820-1907, não há uma definição precisa.

Todavia, o cultivo da palma tem sido acometido por ataques de insetos, como o da cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), que se deu em 2001 em várias regiões de Pernambuco e Paraíba e vem comprometendo seriamente a cultivar gigante em mais de 50 municípios paraibanos. Em pouco mais de oito anos, a praga dizimou plantações inteiras em municípios daqueles estados e no Ceará, destruindo cerca de 100 mil hectares de palmais só no semiárido paraibano (LOPES et al., 2009). Os danos foram considerados irreversíveis, acarretando um prejuízo financeiro aos agricultores da ordem de 150 milhões de reais ao ano, segundo a EMBRAPA (2008). No Rio Grande do Norte a praga acessou o estado na região do Seridó, pelo município de Equador em 2012 (IDIARN, 2013), resultado do intenso fluxo de transporte de palma entre as cidades nos últimos períodos de seca.

Segundo Moraes (2012) a utilização de variedades de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim representa a manutenção dos palmais nas condições atuais do semiárido para a sustentabilidade das propriedades onde os animais são criados. Mas a escolha das cultivares de palma deve ser determinada pelas condições edafoclimáticas dos locais do plantio, e, apesar de a palma gigante ter mostrado mais rusticidade, por apresentar maior tolerância a seca e ao ataque de outra praga, a também cochonilha, mas de escama (*Diaspis echinocacti*) (FARIAS et al., 2005), a palma miúda e a orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta*) que estão sendo distribuídas em todo semiárido são consideradas tolerantes à praga produtora do corante que tem poder de dizimação da cultura.

3.4 INDÍCES PRODUTIVOS DA PALMA FORRAGEIRA

A produção agrícola e animal no semiárido é limitada pelo rigor do clima, sendo as menores perdas encontradas nas produções animais, especialmente, os animais adaptados. Por razões culturais, os produtores insistem na produção de bovinos, apesar da mudança recente da realidade. De toda forma, a produção de animais é apontada como inviável no semiárido para pequenas propriedades, especialmente a bovinocultura, devido à baixa capacidade de suporte forrageiro da Caatinga, sendo necessários de 12 a 15 ha para manutenção de uma unidade animal (LIRA et al., 2009); a insuficiência na produção e armazenamento de forragens e a baixa eficiência dos sistemas de produção (LIMA et al., 2013; AGUIAR et al., 2009; MACIEL et al., 2004).

Segundo Dubeux Jr. et al. (2011), a palma forrageira é uma alternativa viável para manter níveis adequados de produtividade animal na região semiárida e deve-se prover condições para o máximo desenvolvimento da cultura, pois as maiores produções são obtidas com plantios mais adensados e níveis de adubação mais elevados. Quando bem manejadas, as variedades *Opuntia* e *Nopalea* podem produzir 50-60 vezes mais forragem por unidade de área que as pastagens nativas em ambientes semiáridos (DUBEUX JR. et al., 2015).

Nas zonas áridas e semiáridas do Mediterrâneo, a produção de forragem da *Opuntia ficus-indica* atingiu 60-80 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria verde (12-16 Mg MS) sob uma precipitação média anual de 400-600 mm, sem adubação mineral ou orgânica. Valores de massa seca de 50 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ são alcançados sob condições favoráveis de água e nutrientes, enquanto em regiões áridas, com pluviosidade média anual de 200-400 mm e sem fertilizante, a produção pode atingir 20-60 Mg de MV ha⁻¹ ano⁻¹ (4-12 Mg MS) (HOUÉROU, 1996).

Devido ao seu mecanismo de fixação do CO₂ atmosférico (Metabolismo Ácido das Crassuláceas-CAM), a palma forrageira apresenta elevada eficiência no uso da água e produções anuais de aproximadamente 50 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹ em condições de sequeiro. Segundo Cock (2008) a palma em sequeiro produz 10 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ em zonas áridas, 10-20 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ em zonas semiáridas e 20 a 30 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ em regiões subúmidas. E com densidade de 40, 80 e 160 mil plantas por hectare podem produzir até 90, 117, 139 t MS ha/dois anos (SILVA, 2012).

Em condições de irrigação apresentam potencial produtivo de 40 a 50 Mg de MS ha⁻¹ ano⁻¹ (NOBEL, 1995) e produtividades confirmadas no semiárido brasileiro em sistema por gotejamento de até 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (LIMA et al., 2014).

Em condições edafoclimáticas do semiárido, os registros obtidos pelo Instituto de Pesquisa Agrônômica – IPA, em Pernambuco, em décadas de pesquisa, apontam para produções de palma, adensada e adubada, da ordem de 300 toneladas de matéria verde em dois anos. Estes dados reforçam a fragilidade do clima, dos solos de tabuleiro, reconhecidos como os mais rasos, pedregosos e com poucas aptidões agrícolas reconhecidas, e da impossibilidade de atingirem boa produtividade, em especial, de forrageiras.

Alves et al. (2007) consideram a palma forrageira uma cultura de elevado potencial de produção de fitomassa em agroecossistemas da região semiárida nordestina, mas apresenta um custo relativamente alto de plantio e manejo. Entretanto, para Moraes & Vasconcelos (2010), estas plantas se destacam como volumoso succulento muito importante para os rebanhos, principalmente para o semiárido, especialmente nos períodos de estiagens prolongadas, pois além de fornecer um alimento verde, supre grande parte das necessidades de água dos animais na época de escassez dos recursos hídricos (SANTOS et al., 2006).

As altas produtividades obtidas com a palma forrageira vêm ao encontro da importância do cultivo dessa cactácea para o Nordeste brasileiro. Para Santos et al. (2007) a produção obtida em um hectare de palma adensada é de aproximadamente 300 toneladas de matéria verde a cada dois anos, o que permite alimentar no período de seca, 30 vacas durante 180 dias com um consumo médio diário de 50 kg de palma por vaca.

Porém, em 2008, pesquisa de campo com palma gigante, desenvolvida nos municípios de Lajes e Angicos no Rio Grande do Norte para validação de um projeto de pesquisa a ser financiada pelo Banco do Nordeste, apontou para produções superiores a $600 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de matéria verde (SEBRAE, 2009). Segundo os pesquisadores, plantios de palma realizados em altas densidades, de 50 a 100 mil plantas por hectare ($2,0 \times 0,10$ e $1,0 \times 0,10$ m), com irrigação por gotejamento de pequena intensidade (5 litros por m^2 , ou seja, 5 mm a cada 15 dias) e fertilização orgânica e química, alcançaram não apenas 600 t ha no primeiro ano de cultivo, mas rendimentos de 800 t ha e até superiores.

Essas cactáceas têm qualidade nutricional (FERREIRA, 2005), podendo substituir o milho devido ao alto valor energético (OLIVEIRA et al., 2007; VÉRAS et al., 2005; VÉRAS et al., 2002) e boa aceitação pelos animais (WANDERLEY et al., 2002), sendo base de alimentação para rebanhos no semiárido brasileiro (LOPES et al., 2012), minimizando a exploração do estrato herbáceo de pastejo dos biomas nativos (DUBEUX JR. et al., 2011), naturalmente sensíveis e que têm sofrido desequilíbrios pela secular ação antrópica. Para efeito de comparação da produtividade, a energia da palma é comparável à do milho, mesmo possuindo 90 % de água. Com um rendimento de 800 t ha, seriam viabilizadas 80 t de matéria

seca há⁻¹ ano⁻¹, enquanto o milho irrigado chega a alcançar produções da ordem de 8 t ha em um cultivo (150-180 dias), com a utilização de 5-7 mm de água diários (EMBRAPA, 2012). Para alcançar a produtividade da palma, seriam necessários dez ciclos da cultura do milho ou 10 hectares cultivados de uma só vez. Outro ponto que vale ser ressaltado, é que a palma pode ser “armazenada” no campo, ser colhida somente quando necessário, sem perda da qualidade da forragem, o que confere maior produtividade e estabilidade aos sistemas de produção animal na região semiárida (ALVES et al., 2007).

3.5 ORIGEM BOTÂNICA, TAXONÔMICA E MORFOLOGICA DAS *OPUNTIAS*

Chiacchio et al. (2006) em sua revisão citam que as palmas forrageiras pertencem à classe *Liliatae*; família *Cactaceae*; subfamília *Opuntioideae*, tribu *Opuntiae*; gênero *Opuntia*; subgênero *Opuntia* e *Nopalea*; do reino Vegetal; sub-reino *Embryophita*; divisão *Angiospermae*. O nome *Opuntia* provém de uma antiga vila grega da região de Leocrid, Beócia: *Opus* ou *Opuntia*, onde Tournefort encontrou uma planta espinhosa que o fez lembrar as *Opuntias* americanas. Ela inclui 11 subgêneros: *Opuntia*, *Consolea*, *Austrocylindropuntia*, *Brasiliopuntia*, *Corynopuntia*, *Cylindropuntia*, *Grusonia*, *Marenopuntia*, *Nopalea*, *Stenopuntia* e *Tephrocactus*.

Em todo o mundo já foram catalogados, aproximadamente, 300 espécies de cactáceas pertencentes ao gênero *Opuntia*, que estão distribuídas desde o Canadá até a Argentina (OLIVEIRA et al., 2011a). O gênero *Opuntia* é o mais diverso e amplamente distribuído nas Américas, incluindo 188 espécies, sendo 78 delas nativas do México, local onde é encontrado maior número de genótipos nativos e cultivadas do mundo (LÓPEZ-PALACIOS et al., 2012). No Brasil estão presentes 32 gêneros, com 160 espécies distribuídas em todas as regiões (NECCHI, 2011).

Devido à complexidade do gênero *Opuntia*, gerada pelas variações fenotípicas, que variam muito segundo as condições ecológicas, pela poliploidia que ocorre em um grande número de populações que se reproduzem vegetativa e sexuadamente, pela alta capacidade de hibridação, como quase todas as espécies que florescem durante o mesmo período do ano e para as quais não há barreiras biológicas que as separem, a taxonomia do gênero é difícil, razão pela qual poucos pesquisadores se dedicam ao seu estudo (SCHEINVAR, 2001). Observou-se em populações selvagens de *Opuntia* sp. que as plantas localizadas no meio da população apresentavam menor variabilidade em suas características fenotípicas, enquanto

que as plantas situadas na periferia apresentavam grande variabilidade, devido, provavelmente, à maior possibilidade de intercâmbio genético com outras espécies. É um fato que, desde tempos ancestrais, se selecionou e cultivou a planta, influenciando, assim, na variabilidade observada. Essas espécies já haviam sido domesticadas nos tempos pré-hispânicos.

A presença de poliploidia nas *Opuntias* possibilita o surgimento de novos materiais genéticos, no entanto, dificulta a produção de materiais com controle sobre a sua pureza varietal, pois existem materiais diplóides $2n = 22$ até octaplóides $2n = 88$ cromossomos. Acrescido a isso, a herança dos caracteres de interesse forrageiro é quantitativa, sendo altamente afetados pelo ambiente e governados por grande número de genes (SANTOS et al., 2005a).

A palma e arborescente com 3-5 m de altura, coroa larga, glabra, caule com 60-150 cm de largura, cladódios obovalados com 30-60 cm de comprimento, 20-40 cm de largura e 19-28 mm de espessura, verde escuro, cobertos com uma camada de cera. As aréolas estão dispostas em 8-9 séries espirais, piriformes, com 2-4,5 mm de comprimento e aproximadamente 1-3 mm de largura, os espinhos são quase ausentes, raramente um em poucas aréolas, aproximadamente com 1 cm de comprimento, cor cinza, translúcidos. As flores com (60)7-9(-10) cm de comprimento são da cor laranja ou amarela, o pericarpo é 2-2,5 vezes mais comprido que o perianto, tuberculizadas com aproximadamente 8 séries de espirais de aréolas. O fruto da palma forrageira, conhecido comercialmente como Figo-da-Índia é doce, succulento, comestível, com 5-10 cm de comprimento e 4-8 cm de largura, piriforme, ligeiramente curvada para o umbigo, amarela, laranja, vermelha ou púrpura com muita polpa e uma casca fina, com espinhos no pericarpo, possui elevado valor nutritivo, apresenta também na sua composição fibras, carboidratos solúveis e cálcio, sendo rico em vitaminas (A e C principalmente) e magnésio. A polpa, amarelo-ouro tem aparência porosa, com pequenas e numerosas sementes pretas (PIMIENTA-BARRIOS, 1990; SAÉNZ *et al.*, 1998; ASKAR & EL-SAMAHY, 1981). Tem sabor doce e, com leve acidez e bastante refrescante (LOPES, 2005), motivo do interesse em ampliar a diversificação de consumo, aproveitando o alto potencial e agregado valor ao produto fermentado do fruto (vinho). As sementes vão de obovaladas a discóides com 3-4 mm de diâmetro. Os cladódios jovens são utilizados no México como verdura e as frutas são apreciadas no mercado nacional e internacional. Os cladódios também são utilizados como forragem ou para propagar plantas novas. Esta espécie é cultivada principalmente na América tropical e subtropical e nos países

mediterrâneos, atualmente há interesse em cultivá-la em quase todas as zonas áridas e semiáridas do mundo.

3.6 ASPECTOS SOBRE A PRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA – ADAPTAÇÕES MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DA PALMA

A palma forrageira – *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. – originária do México (HOFFMANN, 1995) é a cactácea de maior importância econômica no mundo. No Nordeste do Brasil são cultivadas duas espécies, conhecidas como *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill e *Nopalea cochenilifera* (L.) Salm Dyck (FARIAS et al., 2005). A espécie *Opuntia ficus-indica*, também é conhecida como palma-graúda, palma-da-índia, palma-grande, palmatória, palma redonda, palma-santa, palma-sem-espinho, palma-azedo, cactus-burbank, figo-da-índia, figueira-da-barbaria, figueira-da-índia, figueira-do-inferno, figueira-moura e tuna-de-castilha (ARAÚJO FILHO, 2000). Este é, provavelmente, dentre os gêneros desta família, o que teve maior sucesso nos processos de distribuição, dispersão e multiplicação. O êxito ecológico e do ponto de vista evolutivo pode ser atribuído à forte associação com os animais durante a reprodução (REYES-AGUERO et al., 2006).

Os cultivos mais apropriados para as regiões semiáridas são aqueles que tenham condições de suportar a falta de água, altas temperaturas, solos pobres que exijam poucos insumos energéticos, e que sejam de fácil manejo no plantio, que proporcionem alimento e forragem para a agricultura de subsistência, e cujos produtos e/ou os subprodutos sejam apreciados e tenham valor de mercado. As *Opuntias*, especialmente a palma forrageira, satisfazem várias das exigências descritas acima. Elas desempenham papel importante, conforme Araújo et al. (2013), a palma é uma cactácea utilizada para múltiplos usos, dentre eles como planta forrageira, fruta, verdura para o consumo humano, forragem para o gado, cercas vivas, controle de erosão, conservação dos solos, paisagismos, produção de corantes, dentre outros, sendo o uso como forragem o mais importante no Brasil. Estima-se existir em torno de 600 mil hectares de palma forrageira cultivada no nordeste Brasileiro, sendo a maior área plantada do mundo, no entanto, o produtor rural dispõe de poucas informações sobre o assunto (FERRAZ., 2013). Estudo feito por Moura et al. (2011) indica um aumento na área apta a produção de palma forrageira nos próximos cem anos no Brasil de 697.071 km² para até 1.092.632 km².

Entretanto, para atender esse numero de exigências e dispor dessa gama de produtos, a palma forrageira tem que superar inúmeros desafios, dentre eles, a própria atmosfera terrestre, que representa um grande teste de sobrevivência para os vegetais, pois se é a fonte de dióxido de carbono, necessário para a fotossíntese, é relativamente seca e pode desidratar as plantas. Para satisfazer essas demandas contraditórias, as palmas desenvolveram adaptações para controlar a perda de água. Elas possuem características morfofisiológicas que resultam em grande resistência às variações edafoclimáticas do semiárido, em especial à seca, pois todo processo evolutivo da fotossíntese dessas plantas tem como resultado a maior eficiência no uso da água que as plantas C_3 (SAMPAIO, 2005). São chamadas de plantas CAM, cuja sua fisiologia é caracterizada pelo processo fotossintético denominado metabolismo ácido crassuláceo (CAM) (FARIAS et al.,2000), em que a fixação de CO_2 e a abertura dos estômatos ocorre durante a noite, conforme acontece com a palma forrageira *Opuntia ficus-índica* (L.) Mill e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dick, requisitos utilizados como estratégia para suportar os rigores do clima e as especificidades dos solos deste espaço geográfico.

Ainda segundo Sampaio (2005) a abertura dos estômatos é essencial para penetração de CO_2 do ar para a planta, mas esta mesma abertura, principalmente durante o dia, leva a planta a perder vapor de água para a atmosfera. Além disto, quanto maior a diferença entre a tensão osmótica da planta e a do ar, maior será a perda de água. Estudos realizados por Oliveira et. al. (2010) demonstraram que, em condições de baixa umidade relativa do ar e temperaturas noturnas elevadas, as *Opuntias* apresentam baixa resposta produtiva.

Para o cultivo da palma forrageira, algumas características climáticas devem ser consideradas e por isso sua disseminação por todo o semiárido é limitada. Por exemplo, localidades da caatinga situadas acima de 300 m de altura possuem maior potencial para o cultivo da palma, pois apresentam noites úmidas com temperaturas mais amenas (DUQUE, 2004), com umidades relativa noturna acima de 40% (VIANA, 1969) e temperatura diurna/noturna de 25 a 15 °C (NOBEL, 1995). Vale ressaltar que umidade relativa baixa e temperaturas noturnas elevadas encontradas em algumas regiões do semiárido podem justificar as menores produtividades ou até a morte da palma. A quantidade de chuvas também deve ser levada em consideração, pois precipitações acima de 400 mm ano favorecem seu crescimento, mas também seu cultivo é inviável em regiões cuja precipitação anual é superior a 1.100 mm (SOUZA et al., 2008). Algumas regiões do semiárido brasileiro não atendem essas exigências climáticas, sendo, portanto, caracterizadas por baixas precipitações associadas às baixas altitudes e elevadas temperaturas noturnas, que as classifica como áreas limitantes para o desenvolvimento da palma forrageira (FARIAS et al., 2005).

Para determinar as faixas de aptidão para o cultivo de palma, Souza et al. (2008) elaboraram um zoneamento agroclimático, usando como ferramentas essenciais as informações da fenologia e das características da cultura, associados às condições climáticas das regiões de origem e à dispersão comercial da palma forrageira. O zoneamento é de fundamental importância para o planejamento, a tomada de decisões e a identificação de áreas com potencial produtivo para o cultivo de palma (MOURA et al., 2011).

De acordo com esse zoneamento, o potencial produtivo ocorre em regiões cuja temperatura média oscila entre 16,1°C e 25,4°C; com máximas entre 28,5°C e 31,5°C e mínimas variando de 8,6°C a 20,4°C. A amplitude térmica está situada entre 10,0°C e 17,2°C. A faixa ideal de precipitação se concentra entre 368,4 mm e 812,4 mm, embora possa ser cultivada com 200 mm, e o índice de umidade anual varia entre -63,1 e -37,3.

A Portaria nº 292, de 03 de agosto de 2011, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA adota, para o cultivo da palma forrageira, em condições de baixo risco climático, os seguintes critérios: temperatura média anual de 16,0 a 27,0 °C, temperatura máxima de 28,5 a 33,0 °C, temperatura mínima de 8,5 a 22,0 °C, e precipitação média anual de 360 a 800 mm ano. Diferentemente do semiárido de Pernambuco e Alagoas, a palma tem fraquíssimo desempenho (murcha severa) nas áreas mais secas e baixas do Rio Grande do Norte, como o Seridó e o Sertão Central. 160 cultivares introduzidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN oriundos de zonas desérticas do México não obtiveram boa adaptação.

Por essa razão, e a partir da experiência exitosa em Lajes/RN, região semiárida, do produtor Alexandre Wanderley e também técnico da EMPARN, foi implantado um projeto de pesquisa conduzido pela própria EMPARN e parceiros, financiado pelo Banco do Nordeste do Brasil – FUNDECI/ETENE, de cultivo da palma forrageira irrigada (gotejamento de 5 litros por metro linear a cada 15 dias) e adensado (50 mil plantas por ha) com maciça aplicação de adubação química, nos municípios de Lajes, Pedro Avelino, Angicos e Cruzeta. Pode parecer inapropriada a irrigação de uma cultura xerófila de reconhecida adaptação ao semiárido, considerando o custo de 11 mil reais ha, mas as análises técnicas e econômicas preliminares indicam que esta “poderá ser” uma opção viável para a pecuária do semiárido (LIMA et al., 2009). Embora se tenha referência na literatura sobre as condições climáticas favoráveis ao cultivo da palma forrageira, por se tratar de uma cultura com grandes oportunidades de adaptabilidade às condições de semiaridez, seu cultivo tem sido realizado sem que haja um embasamento técnico-científico no que concerne às suas necessidades climáticas (MOURA et al., 2011).

Apesar de a palma forrageira ser resistente as exigências edafoclimáticas do semiárido, de acordo com Moura et al. (2011) a planta, tal como outra cultura qualquer, não dispensa tratamentos culturais básicos, tais como fertilização, controle de plantas daninhas, doenças e pragas, como a cochonilha de escama (*Pinnaspis aspidistrae*) e a cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*), além do delineamento de densidade de plantio adequado para expressar seu potencial produtivo. A palma forrageira é encontrada em uma ampla faixa de solos: dos vertissolos e luvisolos mexicanos até os regossolos e cambissolos italianos. O pH varia de subácido a subalcalino, demonstrando a boa adaptação da espécie. Solos com profundidade de 60 a 70 cm são bons para o desenvolvimento radicular superficial da cultura. Solos mal drenados, lençol freático raso e presença de camada superficial impermeável são prejudiciais ao bom desenvolvimento da planta (SANTOS et al., 2006).

O percentual de argila além de 20% contribui para a putrefação das raízes (INGLESE, 2001). Solos salinizados também não são adequados ao cultivo desta planta, pois prejudicam o desenvolvimento das raízes e da parte aérea (DUBEUX JÚNIOR e SANTOS, 2005). A cultura, ao contrário do que muitos produtores imaginavam, é relativamente exigente no que se refere aos atributos químicos e físicos do solo. Lima et al., (2010) definem que, sendo férteis, são indicados os de textura arenosa a argilosa, sendo os argilo-arenosos os mais recomendados, evitando-se áreas com pedras, pois dificultam as limpas e aumentam as despesas, bem como evitar também áreas sujeitas a encharcamento, pois provocam apodrecimento e morte das raízes, sendo inviável em regiões cuja precipitação anual é superior a 1100 mm (SOUZA et al., 2008).

Neste contexto, o conhecimento das condições climáticas específicas subsidia em informações para maximização da produção da palma forrageira. Assim, a realização do zoneamento agroclimático visa obter maiores informações sobre a adaptabilidade das culturas selecionadas e, sobretudo, proporcionar maior retorno dos investimentos a médio e longo prazos para os produtores contribuindo, desta forma, para uma agricultura racional e sustentável (NUNES et al., 2007; POSSAS et al., 2012).

Foram considerados aptos para o cultivo da palma forrageira, os municípios que apresentaram em pelo menos 20% de sua superfície, condições térmicas e hídricas dentro dos critérios estabelecidos em, no mínimo, 80% dos anos avaliados.

3.7 CAPTAÇÃO ATMOSFÉRICA DE CO₂ NA PALMA FORRAGEIRA

O sucesso agroecológico das *Opuntias* – palma forrageira *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill e *Nopalea cochenilifera* (L.) Salm Dyck e de outras cactáceas é, em parte, reflexo da captação atmosférica diária do dióxido de carbono (CO₂) e da perda de água, fenômenos que ocorrem principalmente durante a noite nessas plantas. A maioria das plantas abre seus estômatos ao amanhecer, quando começa a captação do CO₂ da atmosfera. Este, por sua vez, se incorpora a vários produtos da fotossíntese, processo que só ocorre sob a luz. A abertura dos estômatos também conduz a uma perda inevitável de água pelas plantas, a abertura dos estômatos durante o dia resulta numa perda de água maior que a que ocorre através dos mesmos estômatos abertos durante a noite, quando a temperatura é mais baixa e a umidade é mais alta. A abertura dos estômatos durante a noite significa que a captação atmosférica de CO₂ ocorre no escuro.

A chave para a conservação da água é o metabolismo CAM encontrado em pelo menos 343 gêneros, em que 35 famílias (6% das plantas superiores) possuem esse tipo de metabolismo fotossintético (SILVERA et al., 2010). O metabolismo CAM é um exemplo contundente de evolução convergente, que promove incremento na eficiência do uso da água por permitir que parte ou a totalidade da captação de CO₂ seja realizada à noite (BORLAND et al., 2011). No entanto, a abertura noturna dos estômatos resulta que a maior parte de sua água se perca durante a noite. Essa perda de água por transpiração é um preço que tem que ser pago pela captação atmosférica do CO₂ e sua incorporação em produtos fotossintéticos. A transpiração envolve a evaporação da água que se encontra dentro dos órgãos fotossintéticos (cladódios e caules), cujos espaços internos de ar se saturam de vapor de água. O teor de vapor de água no ar saturado aumenta exponencialmente com a temperatura, desde 6,8 g m⁻³ a 5 °C, 17,3 g m⁻³ a 20 °C e 39,7 g m⁻³ a 35 °C. Os poros dos estômatos da *O. ficus-indica* ocupam apenas 0,5 % da superfície da planta, mesmo quando estão completamente abertos, enquanto que os estômatos das folhas de plantas altamente produtivas do tipo C₃ ou C₄ ocupam duas ou três vezes mais sua área foliar (NOBEL, 1988; PIMIENIA et al., 1992). Por outro lado, o teor de vapor de água no ar que envolve as plantas (geralmente não saturado) não se altera muito durante o dia, a não ser que haja mudanças drásticas no clima. A velocidade da transpiração é proporcional à diferença entre o teor de vapor de água dentro dos órgãos fotossintéticos e o teor de vapor de água do ar que os envolve, bem como ao grau de abertura dos estômatos, que pode ser representado pela fração de área da superfície da planta ocupada pelos estômatos.

A relação entre a captação atmosférica do CO₂ e a perda diária de água é conhecida como eficiência do uso da água, que é uma medida da quantidade de água para produzir produtos fotossintéticos e, portanto, biomassa vegetal. Estudos têm constatado que a palma forrageira possui uma eficiência de uso da água, em condições de boa rega, de aproximadamente 50:1, ou seja, 50 kg de água para cada 1 kg de matéria seca formada, enquanto as plantas C₃ e C₄ apresentam eficiências por volta de 1000:1 e 500:1, respectivamente, e em relação às plantas C₃ essa superioridade atinge até onze vezes, o que se deve à quantidade relativa de transpiração diária (ALVES et al., 2007).

A vantagem pode ser ainda maior durante a seca, embora a quantidade absoluta da captação atmosférica do CO₂ se reduza. Assim, a forma de conservação da água pelo intercâmbio gasoso da *O. ficus-indica* mais o uso da água armazenada nos caules suculentos permitem não somente a abertura noturna de seus estômatos, mas também que a captação atmosférica do CO₂ prossiga por um tempo maior durante condições de seca, em comparação com as plantas C₃ e C₄, que têm apenas abertura dos estômatos durante a dia e têm folhas finas e não suculentas.

A velocidade líquida de captação atmosférica do CO₂ pelas folhas quase horizontais de plantas C₃ e C₄ aumenta gradualmente durante a manhã, à medida que o sol se levanta, e se reduz analogamente à tarde, à medida que baixa a incidência de luz sobre as folhas, com uma captação perto de zero ao amanhecer. Muitas plantas C₃ altamente produtivas tendem a um fechamento parcial dos estômatos perto do meio dia, o que resulta na redução de perda de água, mas também na redução da captação atmosférica do CO₂. A velocidade máxima de captação atmosférica do CO₂ tende a ser maior em culturas C₄ altamente produtivas, e menor nas espécies altamente produtivas CAM, como a *O. ficus-indica*, embora suas velocidades de absorção possam ser significativas durante a noite. Além disso, plantas CAM bem regadas geralmente absorvem algum CO₂ pela manhã e no final da tarde, enquanto que as plantas C₃ e C₄ não absorvem nada durante a noite. Assim, quando se considera um período inteiro de 24 horas, há uma captação atmosférica semelhante do CO₂ nas plantas altamente produtivas dos três sistemas fotossintéticos maior para as plantas C₄, em comparação com a da *O. ficus-indica* (a captação atmosférica diária do CO₂ foi de 1,14 moles m⁻²), e 10 por cento menor para as plantas C₃.

Durante o período noturno, com a abertura dos estômatos, o CO₂ é fixado pela enzima Fosfoenolpiruvato Carboxilase (PEPC), formando oxaloacetato que é rapidamente convertido a malato e estocado no vacúolo ao longo da noite. Durante o dia, o malato é descarboxilado e o CO₂ liberado é introduzido pela Rubisco no Ciclo de Calvin (NOBEL, 1996).

A separação temporal da carboxilação dos ciclos C_3 e C_4 , que define o metabolismo CAM, promove plasticidade por otimizar o ganho de carbono e o uso da água em resposta à mudanças nas condições ambientais, estendendo ou encurtando o período de captação do CO_2 ao longo do dia (DODD et al., 2002). A plasticidade do metabolismo CAM abre novas oportunidades para diversificação e especiação em plantas de regiões áridas e semiáridas, ou em microclimas caracterizados pela disponibilidade irregular de água (SILVERA et al, 2005).

Quando é cultivada com grande disponibilidade de água, a palma forrageira passa a funcionar como plantas C_3 , a enzima Pep carboxilase torna-se inativa durante o dia, não havendo vantagem na abertura dos estômatos durante a noite (SAMPAIO, 2011). O CO_2 absorvido durante a noite é armazenado temporariamente na forma de ácido málico no vacúolo celular para posteriormente ser utilizado nas reações fotossintéticas no dia seguinte (SANTOS et al., 2011b).

A palma forrageira contém uma média de 90% de água, variando entre 76% em períodos secos e 95% nos períodos chuvosos (SANTOS et al., 2005). As células de clorênquima das plantas CAM contêm vacúolos capazes de ocupar 90% ou mais do volume celular, sendo que nesse local se acumulam os ácidos orgânicos durante a noite. O CO_2 atmosférico que entra pelos estômatos das *Opuntias* durante a noite se une a um composto de 3 carbonos, o fosfoenolpiruvato (PEP), numa reação catalizada pela enzima PEP carboxilase. Isso resulta na formação de um ácido de 4 carbonos, o ácido oxaloacetato, que se converte rapidamente em ácido málico. A enzima carboxilase está presente no citosol, uma região que representa apenas 6 a 10% do volume de uma célula de clorênquima de uma *Opuntia* (Nobel, 1988, 1994). Um acúmulo de ácido málico no pequeno citosol inibe rapidamente a formação de mais ácido málico; para evitar essa inibição, o ácido málico se desloca, juntamente com outros ácidos orgânicos formados durante a noite, para os vacúolos, onde são armazenados. Esse incremento noturno de ácidos orgânicos explica o aumento do sabor amargo que se nota durante a noite (observado por Benjamim Heyne) e é o princípio do teste para determinar a capacidade das *Opuntias* e de outras plantas CAM a captação noturna do CO_2 atmosférico (NOBEL, 1988). Durante o dia, os estômatos das plantas CAM tendem a ficar fechados; o ácido málico se difunde fora dos vacúolos e se descarboxila, liberando CO_2 para o citosol dessa célula. O CO_2 se fixa em produtos fotossintéticos nos cloroplastos sob incidência de luz, utilizando a enzima ribulosa 1,5-difosfatocarboxilase/oxigenase (Rubisco), da mesma maneira como o fazem as plantas C_3 . O CO_2 absorvido por *Opuntias* bem regadas em períodos frescos do dia (pela manhã cedo e no final da tarde), quando a perda de água é menor que durante o

período quente diurno, aparentemente se fixa a produtos da fotossíntese, utilizando a enzima Rubisco.

3.8 INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO E DENSIDADE DE PLANTIO NA FERTILIDADE DO SOLO E NA PRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA

Segundo Ramos et al. (2011) o espaçamento, como estratégia de manejo, é importante no estabelecimento do palmar por definir a população de plantas, variando em função da fertilidade do solo, quantidade de chuvas, finalidade de exploração e com o consórcio a ser utilizado. O cultivo de palma em espaçamento adensado tem sido mais utilizado recentemente. Segundo Oliveira Júnior. et al. (2009), alguns estudos tem sido conduzidos no Brasil com a finalidade de se encontrar a distância entre linhas e plantas que se ajuste melhor aos sistemas de produção adotados pelos produtores rurais. O espaçamento menos adensado tem facilitado os tratos culturais com tração animal, importante para a agricultura familiar do semiárido, além de minimizar os riscos de pragas e doenças na cultura, por permitir uma maior aeração e exposição das plantas ao sol (RAMOS et al., 2011). A palma forrageira, durante muitos anos, foi conduzida com espaçamento tradicional de aproximadamente 2,00m x 1,00m, em consórcio com outras culturas como: milho, feijão e algodão.

O adensamento tem se mostrado muito eficiente no desenvolvimento e na produtividade da cultura, com maior aproveitamento no uso do solo, o que tem contribuído para um manejo racional da cultura (LIMA, 2011). Mas, segundo Farias et al. (2000), utilizando espaçamentos mais adensados os custos de estabelecimento do palmar são maiores e os tratos culturais ficam mais difíceis e não permitem consorciação com outras culturas.

Os plantios adensados têm maior dependência de insumos externos (adubos químicos e corretivos) sempre que este sistema de plantio for adotado, porque ocorre uma maior quantidade de nutrientes extraídos do solo. Desta forma, solos deficientes como rasos e de baixa fertilidade devem ser evitados. Considerando que com o espaçamento 2,0 x 1,0 m tem-se 5.000 plantas por ha e no espaçamento 1,0 x 0,25 m a quantidade de plantas é oito vezes maior, ou seja, 40.000 plantas por ha haverá obrigatoriamente um maior cuidado com as adubações.

Lima et al. (2010) definem que, para formação da área, recomenda-se escolher, preferencialmente, solos leves (argilo-arenosos) evitando-se áreas com pedras, pois dificultam as limpas e aumentam as despesas; evitar também áreas sujeitas a encharcamento, pois

provocam apodrecimento e morte das raquetes. O plantio deve ser efetuado dois meses antes do início da estação chuvosa, escolhendo entre os seguintes tipos de espaçamento: 1,0 x 1,0 m (10.000 plantas por ha), 1,0 x 0,5 m (20.000 plantas por ha), 1,0 x 0,25 m (40.000 plantas por ha) ou 2,0 x 0,10 m (52.282 plantas por ha).

Segundo Neves et al. (2010) no Nordeste, o espaçamento predominante no cultivo da palma é o de 1 m entre linhas, mas para facilitar os tratos culturais e as colheitas no interior do palmal tem sido recomendados atualmente espaçamentos de 1,40 a 1,80 m entre fileiras e 20 cm entre raquetes para variedades de raquete pequena e grande, respectivamente, permitindo o trânsito entre as linhas, possibilitando o monitoramento de possíveis ocorrências de pragas ou doenças, facilitando a aplicação de produtos fitossanitários e tratos culturais; e 9 a 25 cm entre raquetes a depender da população de planta desejada. Plantios mais adensados vêm sendo difundidos nesta região (mais de 100.000 plantas por ha), no entanto, este tipo de plantio deve ser evitado nas regiões onde existe incidência da cochonilha do Carmim, a fim de evitar locais de proliferação da praga e infestação da cultura.

Em pesquisa desenvolvida por Araújo (2009), o plantio de raquetes dentro dos sulcos, dispostas uma após a outra, no sentido leste-oeste, distanciadas conforme o espaçamento definido para cada tratamento, 1,7 m entre linhas e 10, 15, 20, 25 cm entre plantas e doses de fósforo 10; 15; 20 e 25 g SS. planta⁻¹ e com 50 % do seu comprimento enterradas ao solo, os maiores valores médios de produtividade de matéria verde e seca da palma forrageira foram obtidas quando as plantas foram adensadas ao menor espaçamento 1,7 x 0,10 m, com aplicação de superfosfato simples.

No caso dos sistemas de cultivos adensados, com elevada produção de biomassa, resultando em grandes quantidades de nutrientes, é necessária a adubação completa, incluindo macro e micronutrientes, com destaque para adubação nitrogenada, dada a importância do nitrogênio para o crescimento e produtividade da referida forrageira. Assim, um programa de adubação deve ser traçado ao longo dos ciclos de cultivo, com o propósito de se manter a perenidade do palmal em sistemas de cultivos adensados (CANDIDO et al.,2013).

Se o agricultor desejar realizar consórcio com outras culturas ou adotar tratos culturais com tração motorizada é recomendado o plantio em fileiras duplas de 3,0 x 1,0 x 0,50 m. Em acordo com Santos et al. (2006), a tecnologia, embora propicie resultados expressivos em produção com 250 a 300 t ha⁻¹ de matéria verde, dois anos após o plantio, demanda níveis de adubação mais altos além de maiores requerimentos em termos de limpas.

3.9 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS E ADUBAÇÃO ORGÂNICA DA PALMA FORRAGEIRA

A palma forrageira é uma cultura bem adaptada às condições adversas do semiárido, é uma alternativa para estas regiões por seu mecanismo fisiológico de absorção, aproveitamento e perda de água, além da captação atmosférica de CO₂ para utilização na fotossíntese e consequentemente absorção de nutrientes do solo. Este mecanismo de adaptação às condições adversas do clima pode ser confundido com as exigências edafoclimáticas ideais para que a planta possa expressar seu potencial.

Do ponto de vista físico, a palma forrageira, é uma cultura relativamente exigente quanto às características do solo. Podem ser indicadas áreas de textura arenosa à argilosa, sendo, porém mais frequentemente recomendados os solos argilo-arenosos. Além da fertilidade, é fundamental, também, que os mesmos sejam de boa drenagem, uma vez que áreas sujeitas a encharcamento não se prestam ao cultivo da palma (SANTOS et al., 2002). Já do ponto de vista químico, a palma forrageira, é exigente quanto à disponibilidade de nutrientes.

Para o cultivo da palma forrageira o conhecimento das condições químicas do solo e da exigência da cultura por nutrientes é fundamental, pois a produção colhida é toda exportada, e se, esses nutrientes não forem repostos ao longo do tempo a produtividade tende a diminuir pelo esgotamento do solo, provocando prejuízos ao sistema de produção, considerando que a instalação do palmar é a fase mais dispendiosa. Quantificar a extração e a exportação de nutrientes, em qualquer cultura, é fundamental para assegurar a produtividade e a sustentabilidade do sistema de produção agrícola adotado na propriedade. Nessa cultura, a colheita depende da definição da intensidade e posição de corte, se o corte vai acontecer com um ano ou dois anos e se vai preservar os cladódios primários ou de ordem superior (secundário e terciário).

A estimativa da quantidade de nutrientes extraída pela planta e da quantidade efetivamente exportada, que varia com a parte do vegetal colhida, possibilita a reposição correta desses nutrientes via adubação, de modo a manter a nutrição adequada das plantas e um balanço equilibrado de entrada e saída de nutrientes no sistema, para evitar a diminuição progressiva da fertilidade do solo. Segundo Blanco-macías et al. (2010), a ordem das necessidades de nutrientes pela palma é a seguinte: K > Ca > Mg > N > P.

O potássio tem ação fundamental no metabolismo vegetal, pelo papel que exerce na fotossíntese, como regulador da abertura e fechamento dos estômatos, influenciando

diretamente no processo de transformação de energia luminosa em energia química (Saraiva, 1990). Os teores de K^+ nas plantas variam entre 6 e 50 $g\ kg^{-1}$ de matéria seca da planta, considerando valores adequados entre 10 e 30 $g\ kg^{-1}$ como adequados para o crescimento normal das plantas. O cálcio tem ação fundamental no crescimento de meristemas, particularmente no crescimento e funcionamento apropriado dos ápices radiculares. Exerce papel estrutural na integridade das membranas celulares e atua como modulador de hormônios vegetais, regulando a germinação, o crescimento e a senescência. Retarda a senescência e a queda de folhas e frutos. Os teores de Ca^{2+} nas plantas variam entre 5 e 80 $g\ kg^{-1}$ de matéria seca da planta, considerando valores adequados entre 10 e 50 $g\ kg^{-1}$ como adequados para o crescimento normal das plantas. O magnésio tem papel estrutural como componente na molécula de clorofila, influencia o movimento de carboidratos das folhas para outras partes da planta e estimula a captação e transporte de P na planta. Os teores de Mg^{2+} nas plantas variam entre 1 e 10 $g\ kg^{-1}$ de matéria seca da planta, considerando valores adequados entre 3 e 5 $g\ kg^{-1}$ como adequados para o crescimento normal das plantas. O nitrogênio é necessário na síntese da clorofila e está envolvido na fotossíntese, caso não ocorra à planta deixa de absorver nutrientes. Também formam os aminoácidos, os quais formam as proteínas que estão ligadas ao sistema energético da planta. Os teores de N nas plantas variam entre 2 e 75 $g\ kg^{-1}$ de matéria seca da planta, considerando valores adequados entre 20 e 50 $g\ kg^{-1}$ como adequados para o crescimento normal das plantas. O fósforo desempenha papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular, além disso, promove a rápida formação e crescimento das raízes. Os teores de P nas plantas variam entre 0,5 e 3,0 $g\ kg^{-1}$ de matéria seca da planta, considerando valores entre 1,0 e 1,5 $g\ kg^{-1}$ como adequados para o crescimento normal das plantas (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA, et al., 1989; PAIS & JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004).

De maneira geral, a palma apresenta elevado conteúdo de minerais. Considerando que os teores de elementos minerais encontrados na matéria seca da palma forrageira obtidos por Santos et al. (1990) foram de 0,90; 0,16 e 2,58 $g\ kg$ para nitrogênio, fósforo, potássio, respectivamente, e supondo-se uma produção de 10 t de MS $ha^{-1}\ ano^{-1}$, estima-se que as quantidades exportadas desses nutrientes, seriam de 90, 16 e 258 $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, respectivamente. Para essa produção de matéria seca seriam necessários 195,48, 204,44 e 737,14 $Kg\ ha^{-1}$ de Ureia, Fosfato Monoamônico (MAP) e Cloreto de Potássio (KCl), respectivamente.

A adubação mineral e orgânica de manutenção é uma importante medida de manejo da cultura da palma, devendo ser realizada a cada corte, considerando a elevada extração de

nutrientes da cultura. Em caso de se optar pela adubação orgânica, pode ser utilizado estrume bovino e caprino, na quantidade de 10 a 30 t ha na época do plantio, e a cada dois anos, no período próximo ao início da estação chuvosa. Dubeux Jr. e Santos (2005) recomendam o uso de 10 a 30 t ha de esterco bovino após cada colheita, dependendo do espaçamento de plantio utilizado. Santos et al., (2002) sugerem que nos plantios mais adensados pode-se usar 30 t ha, contudo, Santos et al. (2008) verificaram resposta linear da produtividade da cultivar Clone IPA-20 até 80 t ha de esterco bovino.

A origem e a qualidade dos resíduos orgânicos estão relacionadas ao processo de produção, a espécie e a idade dos animais, seus manejos e esquemas de arração. Esses fatores ligados à origem exercem influência sobre a composição química e, por conseguinte, sobre as doses de resíduos a serem aplicados nas lavouras.

Os estercos de origem animal (bovino) têm sua composição variável e bastante dependente do teor de água, da idade do animal, da composição e da qualidade da ração fornecida, do índice de aproveitamento de nutrientes da ração pelos animais, da forragem consumida e dos produtos veterinários fornecidos aos animais (TEDESCO et al., 2008, CASSOL, 1999). O esterco bovino é a forma de adubo orgânico mais aplicado na agricultura e deve ser usado em solos pobres em matéria orgânica como a maioria dos solos do semiárido. No entanto, a qualidade destes resíduos deve ser considerada quando da escolha do material a ser aplicado na adubação. Os fatores a serem observados irão definir a qualidade do resíduo e a quantidade necessária a ser aplicada, visto que sua disponibilidade nas propriedades rurais típicas do semiárido nordestino é geralmente insuficiente para suprir as necessidades nutricionais das plantas forrageiras.

A incorporação de resíduos orgânicos, inclusive de estercos, ao solo afeta a dinâmica da massa microbiana e também a disponibilidade de alguns nutrientes, em especial o nitrogênio. Materiais que contêm alta concentração de carbono, mas pouco nitrogênio, ou seja, alta relação C/N, em geral são lentamente mineralizados e causam deficiência de nitrogênio às plantas. Neste caso, os microorganismos absorvem grande parte do N disponível, passando a fazer parte da biomassa microbiana do solo (Imobilização – transformação do N-inorgânico em formas orgânicas), o qual só volta a ser disponibilizado às plantas após a decomposição do material adicionado e da redução da massa microbiana (Mineralização – Transformação do N-orgânico em formas inorgânicas) (MIELNICZUK, 1999; GARRIDO et al., 2008).

No entanto, aplicações sucessivas de esterco por um longo prazo podem elevar os estoques de nutrientes do solo, principalmente as frações orgânicas de N e P, além do K

trocável e outros nutrientes. No caso de culturas permanentes, é possível que a lenta disponibilização do N aplicado como esterco no solo seja suficiente para suprir as necessidades da planta ao longo de seu desenvolvimento. Um exemplo são os resultados obtidos em estudos realizados com palma forrageira, em que a utilização de esterco animal incrementou a produtividade desta cultura, sendo estes resultados superiores aos obtidos com o uso isolado de fertilizantes químicos (DUBEUX Jr.; SANTOS, 2005). Contudo, a rápida decomposição dos adubos orgânicos pode levar a redução do crescimento da palma, quando apenas a adubação orgânica é utilizada de uma única vez. Assim, a associação de adubações orgânicas e minerais, ou uso de adubos orgânicos com diferentes taxas de decomposição, possivelmente aumentaria o sincronismo entre demanda da cultura e suprimento de nutrientes pelos adubos orgânicos (DUBEUX JR. et al., 2012).

A adição de quantidade adequada de esterco bovino de boa qualidade ao solo pode suprir as necessidades das plantas em macronutrientes, sendo o potássio o nutriente que atinge valor mais elevado no solo devido ao uso contínuo (SANTOS e SANTOS, 2008). Entre os vários efeitos benéficos da MOS, nos sistemas agrícolas, destaca-se a estimulação da microbiota do solo, condicionamento físico do solo (estrutura, porosidade), efeito tampão biológico e químico com fornecimento de cargas negativas e aumento da Capacidade de Troca de Cátions – CTC, nutrientes (N, P, K e S), controle térmico e melhor retenção de água (UNGERA et al., 1991; CONCEIÇÃO et al., 2005; BOULAL et al., 2011). Entretanto, sua adição em quantidade desmedida pode causar efeito negativo às plantas, em condição de solo muito ácido e argiloso. Neste caso, pode aumentar os teores de nitrogênio e salinização do solo, pela possibilidade de elevação da condutividade elétrica, proporcionando desequilíbrio nutricional e, conseqüentemente, afetando a produtividade da cultura (BRADY, 1979; BOTELHO et al., 2007).

No semiárido, em função do baixo índice pluviométrico, a velocidade de decomposição dos esterco (bovino, caprino, ovino e asinino) é mais lenta na superfície do solo. Em seis meses a decomposição do esterco incorporado a uma profundidade de 10 cm é de 45% e na superfície do solo apenas 15% (SOUTO et al., 2005). Os mesmos autores, estudando a decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semiárido da Paraíba, observaram que, apesar de ter uma relação C/N maior que os esterco caprino (21,6) e ovino (24,2), o esterco bovino (27,1) foi o que apresentou maior taxa de decomposição. Isso pode ser atribuído, provavelmente, à sua estrutura que favorece o ataque dos microrganismos. Já os esterco caprino e ovino, que estão na forma de "cíbalas", graças a uma membrana que os reveste, secam após serem excretados. Quando úmidas, as

cíbalas ficam túrgidas e macias, favorecendo, assim, a atividade dos microrganismos. Essas observações são confirmadas por Petersen et al. (1998), ao afirmarem que a estrutura dos esterco influencia a magnitude e a direção da atividade de biodegradação.

Saraiva (2014), avaliando o efeito de diferentes sistemas de cultivo (palma + leucena, palma + glirícidia e palma em cultivo isolado) com diferentes esterco (ovino, bovino, caprino e cama de frango) em Caruaru-PE, sobre características morfológicas e produtivas da palma IPA-Sertânia, verificou que, de maneira geral, as maiores produções foram registradas nos plantios de palma consorciada e adubada com esterco bovino.

Conforme Ernani e Gianello (1983) e Rheinheimer et al. (2000), a composição do esterco bovino possui de 30 a 58% de matéria orgânica; 0,3 a 2,9% de N; 0,2 a 2,4% de P_2O_5 ; 0,1 a 4,2% de K_2O e relação C/N de 18 a 32%. Estes valores são considerados como meio de cultura razoável para a produção bacteriana, no sentido de elevar a quantidade de bactérias presente no solo (microbiota do solo).

A adubação é um fator que pode interagir com o espaçamento utilizado, influenciando a produção de forragem obtida. Dubeux Jr. et al. (2010b) testaram o efeito de diferentes doses de adubação orgânica (20, 40 e 80 t ha de esterco bovino/2 anos) e diferentes populações de planta (20, 40, 80 e 160 mil plantas ha) e verificaram maior produção de biomassa da parte aérea ao utilizar 80 t ha de esterco.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA DO ESTUDO

O projeto de pesquisa foi realizado na unidade experimental de reúso de água na área comunitária de uso agrícola, pertencente ao Projeto de Assentamento Milagres, Apodi/RN, selecionado devido haver disponibilidade do efluente proveniente do tratamento de esgoto doméstico utilizando uma estação anaeróbica de tratamento de esgoto, composta por dois decanto digestores acoplados por dois filtros anaeróbicos de fluxo ascendente e descendente, preenchidos com pedra calcária e tijolos furado, respectivamente, com a finalidade de proporcionar maior contato entre os microrganismos e os resíduos a serem tratados. O tratamento do esgoto no referido assentamento é uma iniciativa do Projeto de Pesquisa elaborado pela UFERSA e edital financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, em que se opera uma estação de tratamento de baixo custo, voltada para prover o Assentamento, em modelo de agrovila na área comum, de saneamento básico dos efluentes numa perspectiva de reutilização do efluente tratado. Todo o processo da pesquisa para implantação do saneamento e construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) se deu em parceria com os próprios agricultores beneficiados, oportunizando a valorização da benfeitoria e o domínio da tecnologia implantada (FIGURA 1).



Figura 1– Foto aérea com destaque do local da obra.

Fonte: Google Earth (2015).

O Projeto de Assentamento de Reforma Agrária Milagres situa-se a 100 km da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA e 18 km da sede do município de Apodi/RN, cujas coordenadas geográficas são 5°35'17"S e 37°54'07"O, altitude de 153 m ao nível do mar, coordenado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). O assentamento possui 28 residências e dispõe de rede coletora e interceptora de esgoto, além de uma estação para tratamento preliminar e primário do esgoto doméstico bruto.

O clima predominante na área do assentamento é do tipo BSs'h' segundo Köppen e 4aTh segundo Bagnouls e Gaussen, com índice xerotérmico variando entre 150 e 200 mm (SUDENE, 1971). O regime pluviométrico básico da bacia onde assentamento está inserido origina-se da zona de convergência intertropical (ZCIT), apresentando duas estações: uma chuvosa, de certa duração (3 a 5 meses) que ocorre no verão e no outono, sendo chamado de “inverno”; e outra mais longa, seca que acontece no inverno e primavera, conhecida como “verão” segundo Maia (2004). Situa-se em uma faixa de isoietas médias que variam entre 600 a 700 mm anuais de chuvas e cujos regimes são irregulares.

A média da temperatura anual da bacia varia de 26 a 28 °C, sendo relativamente constante. A insolação anual apresentada em todo semiárido é em média de 2800 h/luz ano. Devido à baixa nebulosidade, a evaporação anual é de 2000 mm, o que corresponde a 7 mm diários. Comparando esses dados com os números da pluviosidade, nota-se um significativo déficit deste último, comprovando as dificuldades climáticas regionais.

Durante o período de condução do experimento (outubro de 2013/2014) foi instalado um pluviômetro de cunha com capacidade para suportar uma chuva de 130 mm. A leitura foi realizada depois de cada chuva acumulada durante o mês (FIGURA 2).

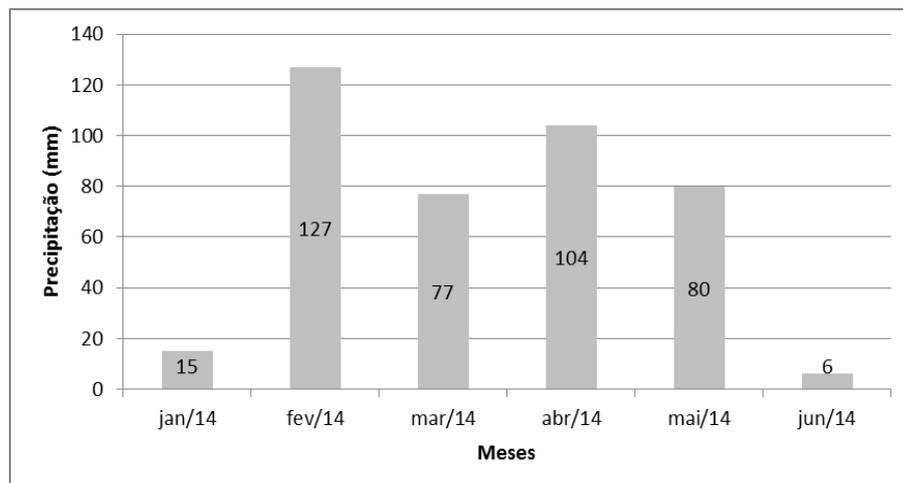


Figura 2 – Precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura (out/2013 a out/2014).

Fonte: Dados coletados na área do experimento com pluviômetro de cunha com capacidade para 130 mm.

Pode-se verificar um acumulado de 409 mm de chuva durante o período do experimento. As chuvas ocorreram de janeiro a maio de 2014, sendo que no restante do ano não houve registro de chuva na área experimental. A menor chuva registrada foi de 5 mm e a maior foi de 68 mm, sendo que esta última aconteceu em fevereiro/14, provocando alagamento e erosão. Ocorreram durante o cultivo vinte e três chuvas, sendo que destas apenas treze chuvas apresentaram volume acima de 10 mm.

Durante a condução do experimento foram monitoradas a umidade relativa do ar, a temperatura e a evapotranspiração potencial diária do local – Eto. A umidade relativa do ar mínima oscilou entre 23,2 e 49,6%, a umidade média variou entre 48,6 e 76,4%, e a umidade relativa máxima oscilou entre 71,7 e 93,6%. Sendo que a menor umidade relativa do ar observada foi no mês de outubro de 2013 e a maior umidade relativa do ar observada foi no mês de abril de 2014.

A temperatura mínima oscilou entre 22 e 23,9 °C, a temperatura média entre 26,5 e 29,1 °C, e a temperatura máxima oscilou entre 31,6 e 36,9 °C. Sendo que a menor temperatura foi observada no mês de junho de 2014 e a maior temperatura foi observada no mês de outubro de 2014.

A Eto mínima foi de 4,1 mm⁻¹ no mês de abril de 2014 e a máxima foram observadas no mês de outubro de 2013 com 7,9 mm⁻¹, tendo como média geral no período do experimento a Eto de 6,4 mm⁻¹ (FIGURA 3).

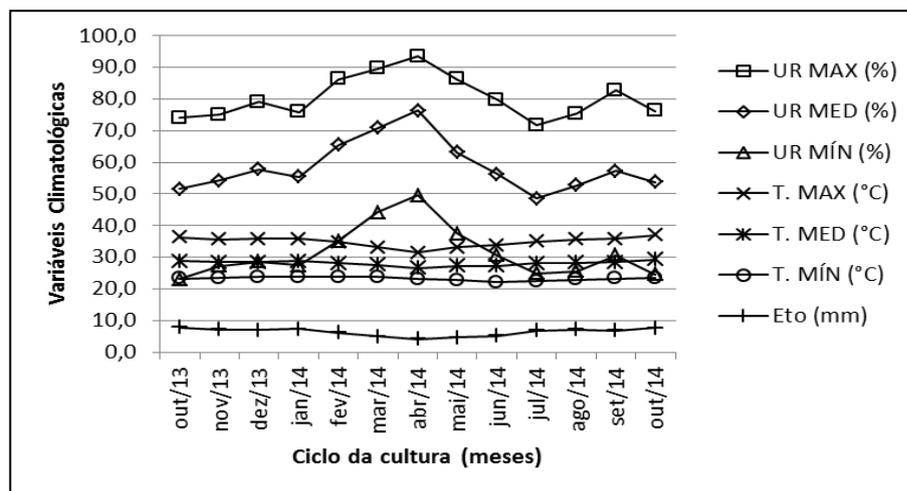


Figura 3 – Umidade relativa do ar, temperatura e evapotranspiração diária do local durante o ciclo da cultura (out/2013 a out/2014).

Fonte: EMPARN/Apodi-RN.

4.2 DECANTO-DIGESTOR ACOPLADO COM FILTROS ANAERÓBICOS SUBMERSOS (AFOGADOS) COM FLUXO ASCENDENTE E DESCENDENTE UTILIZADO PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO DO EXPERIMENTO

O sistema é constituído de um tanque séptico retangular, com duas câmaras em série separadas por uma parede janelada, um pequeno filtro de pedras de fluxo ascendente acoplado ao tanque séptico com comunicação direta, e dois filtros anaeróbios afogados, que ladeiam o tanque séptico.

A água residuária entra na câmara coletora de afluyente para em seguida entrar na calha de distribuição do afluyente, onde tubulações encaminham essa água para o fundo do reator.

Em contato com o leito de lodo (zona de digestão no fundo do reator), onde estão os microrganismos, a água residuária passa a sofrer degradação dos seus componentes biodegradáveis que são convertidos em gás.

Flocos de lodo são levados por bolhas de gás em fluxo ascendente através do digestor até as placas defletoras de decantação, onde batem e retornam a região de digestão dentro do reator. O fluxo em movimento descendente do lodo desgaseificado opera em contracorrente ao fluxo hidráulico dentro do digestor e serve para promover o processo de mistura para um contato entre as bactérias e a água residuária afluyente.

A fração líquida do substrato continua em fluxo ascendente através do decantador, extravazando por um tubo perfurado e deixando o reator através de calhas coletoras ou de tubulações.

O filtro acoplado ao tanque séptico comunica-se com o mesmo através de um fundo falso, abaixo do qual se situa um fundo inclinado. Este fundo inclinado propicia o retorno de lodo ao tanque e evita a colmatação do leito. O objetivo deste pequeno filtro é, principalmente, complementar a retenção de sólidos suspensos, encaminhando para os filtros anaeróbios afogados um esgoto com maior parcela dissolvida.

O efluente do tanque séptico com o pequeno filtro acoplado aflui imediatamente aos filtros que o ladeiam. Nestas unidades os esgotos são distribuídos e coletados através de tubos perfurados, colocados sobre e sob o meio suporte (leito). O objetivo destes filtros é a remoção da matéria orgânica dissolvida, para complementar o tratamento por ação biológica anaeróbia.

No final de cada filtro encontra-se um compartimento que dá acesso aos tubos perfurados do fundo do filtro. O lodo em excesso é removido automaticamente, através dos tubos perfurados, quando se esgota o compartimento à jusante dos filtros, porque isso provoca velocidades de fluxo bastante elevadas nos interstícios do leito.

Os filtros objeto deste trabalho compõem o sistema piloto utilizado em várias etapas de pesquisas na UFRN. Funcionam em paralelo, ambos recebendo esgoto proveniente de um grande tanque séptico de câmaras em série. Cada filtro tem 4,0 m de comprimento por 0,7 m de largura e profundidade média de 1,2 m, construídos em alvenaria de tijolos revestida.

O desenho esquemático do sistema piloto da UFRN possui quatro filtros anaeróbicos ladeando o tanque séptico, diferentemente do atual sistema construído no assentamento Milagres em Apodi – RN, que apresenta apenas dois filtros ladeando o tanque séptico, um de cada lado (FIGURA 4).

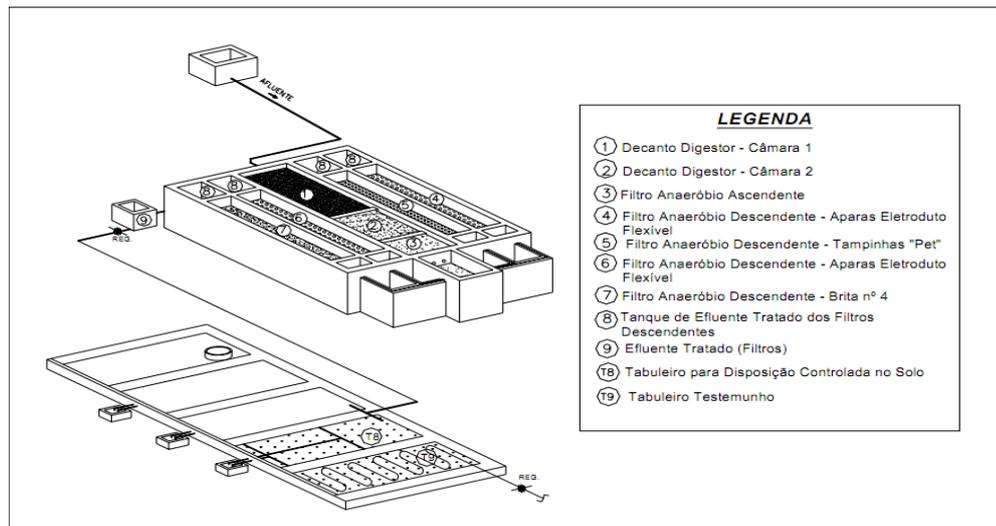


Figura 4 – Desenho esquemático do sistema piloto

Fonte: ANDRADE NETO et al, 1999.

Os tanques sépticos podem ser de câmara única, de câmaras em série ou de câmaras sobrepostas, e podem ter forma cilíndrica ou prismática retangular. A Figura 5 mostra desenhos esquemáticos de dois modelos, sendo que o utilizado no experimento no assentamento Milagres – RN foi o modelo em série (ANDRADE NETO et al, 1999).

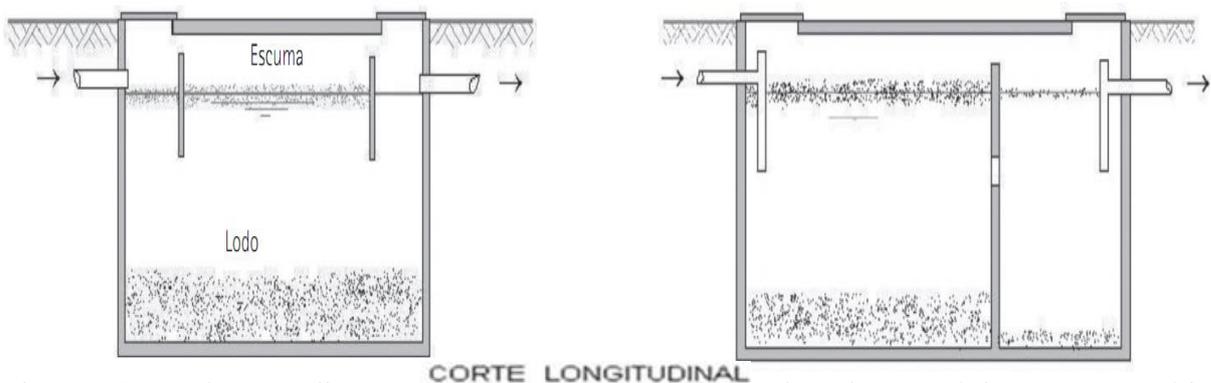


Figura 5 – decanto-disgetores ou tanques sépticos de câmara única e em série, respectivamente.

Fonte: ANDRADE NETO et al, 1999.

Conforme a Figura 6, o tanque utilizado no estudo é o mesmo utilizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, que consta de um modelo com câmaras em série que inclui um pequeno filtro com leito de pedras (no caso do atual projeto, utiliza-se de tijolos cerâmicos de 8 furos) na saída da segunda câmara, com bons resultados. O filtro de tijolos cerâmicos é suportado vigotas ou nervuras utilizadas em lajes pré-moldadas, espaçadas uma da outra em 5 cm, e comunica-se com a segunda câmara por meio de uma abertura por onde o esgoto flui sobre um fundo inclinado abaixo do filtro, antes de ascender através do leito filtrante de tijolos cerâmicos. O fundo inclinado permite o retorno do lodo em excesso ao decanto-digestor (ANDRADE NETO, 1997).



Figura 6 – Decanto-digestor acoplado com filtro anaeróbico submerso (afogado) de fluxo ascendente.

Fonte: ANDRADE NETO et al, 1999.

Conforme a Figura 7 o tanque utilizado no estudo é o mesmo utilizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN que consta de um modelo com câmaras em série que inclui um pequeno filtro com leito de tijolos cerâmicos de 8 furos nas câmaras que o ladeiam. Tubos perfurados são colocados sob e sobre os tijolos cerâmicos para coleta e distribuição do esgoto vindo do decantadores e filtro anaeróbico de fluxo ascendente, respectivamente. O objetivo destes filtros é a remoção da matéria orgânica dissolvida, para complementar o tratamento, por ação biológica anaeróbia.

Ao lado do filtro há um compartimento que serve para permitir a drenagem do excesso de lodo; dá acesso aos tubos perfurados do fundo do filtro; serve, eventualmente, para tratamento complementar; e mantém o filtro afogado. O lodo em excesso é removido automaticamente, através dos tubos perfurados, quando se esgota o compartimento à jusante dos filtros, porque isso provoca velocidades de fluxo bastante elevadas nos interstícios do leito (ANDRADE NETO, 1997).

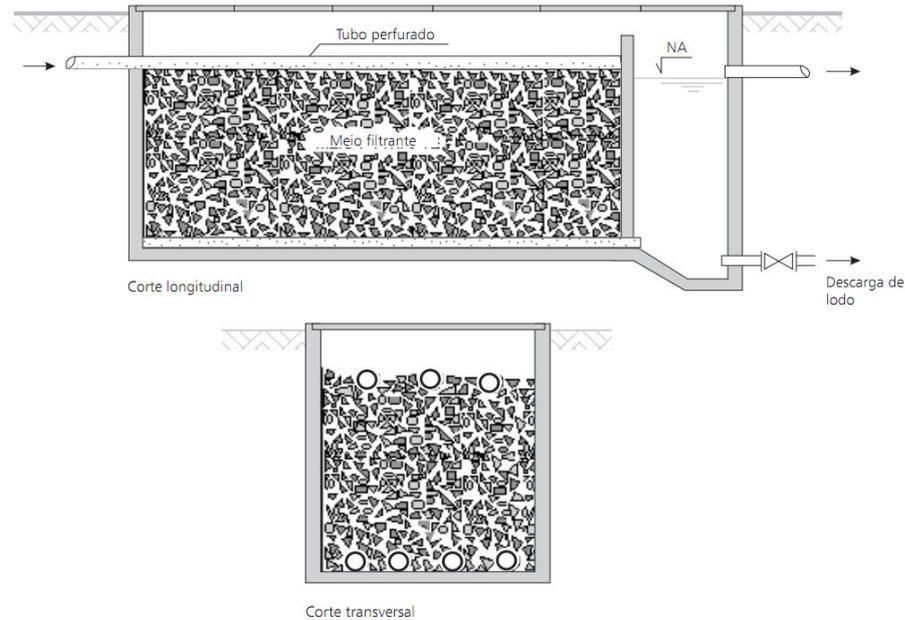


Figura 7 – Filtro anaeróbico submerso (afogado) de fluxo descendente.
 Fonte: ANDRADE NETO et al, 1999.

Apenas os filtros com fluxo ascendente têm sido significativamente aplicados ao tratamento de esgotos e pesquisados. Pouco se conhece sobre os filtros anaeróbios de fluxo descendente com leito afogado (submersos).

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental adotado para o cultivo da palma foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas 3 x (4 + 1), com 4 repetições. As variáveis estudadas foram três densidades de plantio (TABELA 1).

Tabela 1 – Espaçamento de cultivos de palma forrageira orelha de elefante mexicana e densidade total de plantas por hectare.

Entre plantas na fileira (m)	Fileira dupla (m)	Entre fileiras (m)	Densidade de plantio n° de plantas ha
0,10	0,80	2,20	66.667
0,13	0,80	2,20	52.282
0,20	0,80	2,20	33.333

E quatro intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento), sendo um a cada 2,3 dias utilizando água de abastecimento de poço artesiano e três intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a cada 7, 14 e 21 dias utilizando efluente de esgoto doméstico tratado. Mais um tratamento sem irrigação – sequeiro (controle) (TABELA 2).

Tabela 2 – Intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF com a fonte da água utilizada na irrigação e suas respectivas lâminas aplicadas.

IILF (3,5 mm p/ evento)	Fonte da água (%)	Lâmina aplicada (mm ⁻¹)
2,3	100 % poço artesiano	3,5
7	100 % esgoto doméstico tratado	3,5
14	100 % esgoto doméstico tratado	3,5
21	100 % esgoto doméstico tratado	3,5
Sequeiro	100 % água de chuva (não irrigada)	0,0

Os dados de crescimento (altura, número, comprimento, espessura e perímetro dos cladódios) e desenvolvimento (matéria verde por planta – MVPL, matéria verde total – MVTOT, matéria seca por planta – MSPL, matéria seca total – MSTOT, porcentagem de matéria seca – PORMS e exportação de nutrientes – (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu e Na) das plantas, assim como as análises de solo (pH, CE, PST, Na, MO, CTC, P, K, Ca e Mg) foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste de Fisher com o nível de significância mínimo de 5% de probabilidade e a comparação das médias entre os tratamentos através do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

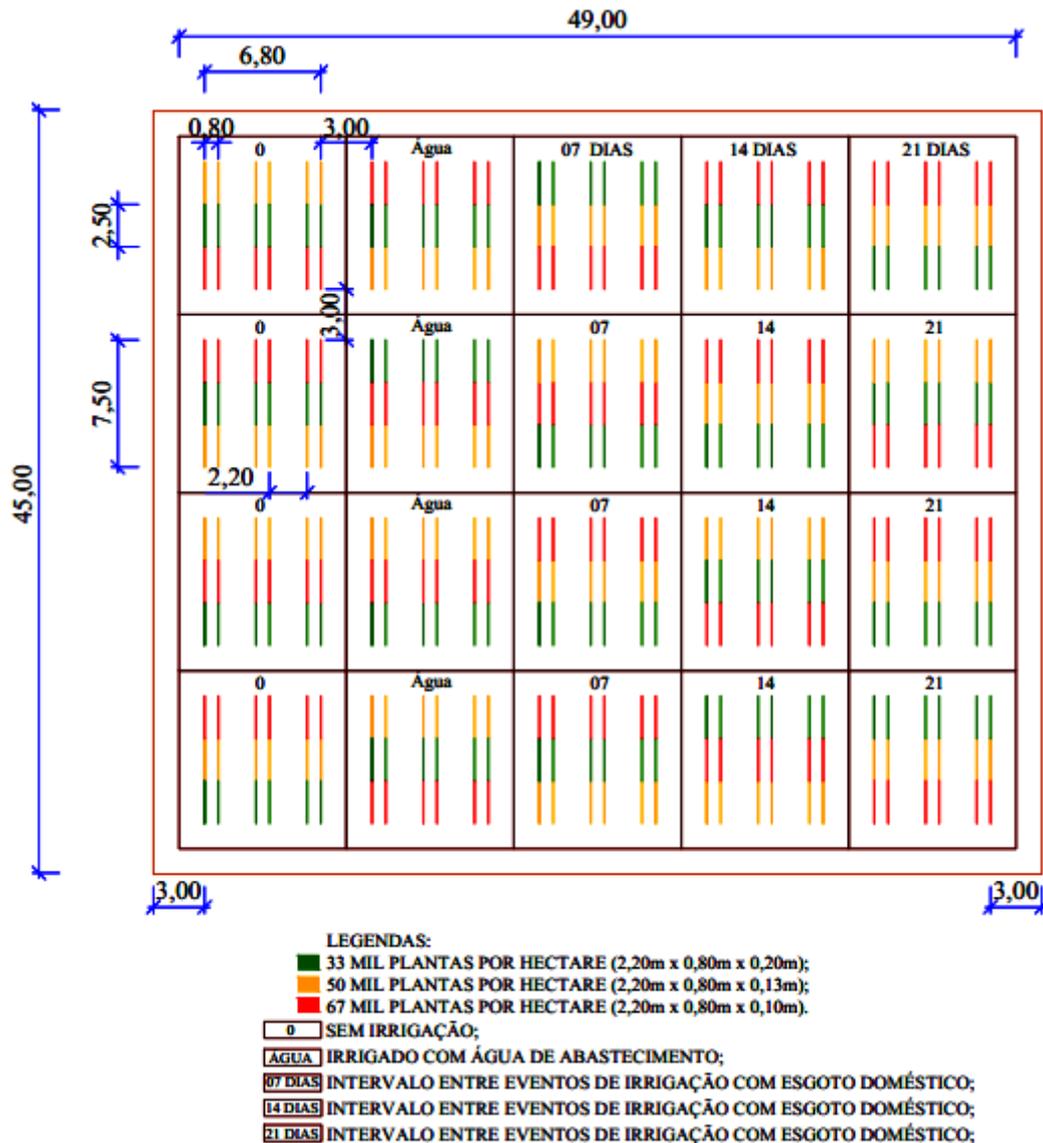
Todas as análises foram realizadas com auxílio do software SISVAR versão 5.6 para verificar a significância dos fatores estudados (FERREIRA, 2014). O esquema de análise de variância (ANOVA) do experimento se encontra na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise de variância (ANOVA): Hipótese para influência dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio sobre a produção de palma forrageira.

Causa da Variação	GL
Blocos	3
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)
Contraste	1
Regressão Linear	1
Regressão Quadrática	1
Desvio de Regressão	1
Resíduo (a)	12
Densidade de Plantio (DP)	2
Interação (TRxDP)	8
Resíduo (b)	30
CV 1	
CV 2	

A parcela útil do experimento foi considerada a fileira dupla (0,80 cm), ou seja, as fileiras centrais do espaçamento duplo, visto que a fertirrigação foi realizada entre elas e assim também se evitou a influência do tratamento ao lado, considerando que em alguns experimentos a planta do tratamento vizinho foi influenciada pelo tratamento com mais disponibilidade de água e nutrientes. Para evitar essa influência o croqui foi montado de maneira tal para que as parcelas ficassem 3,0 m distantes entre tratamentos e blocos (TABELA 4).

Tabela 4 – Croqui do experimento com cinco intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e três densidades de plantio.



4.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

4.4.1 Preparo do solo

A área experimental foi previamente preparada convencionalmente com aração e gradagem, em dois sentidos do terreno, para remoção de ervas daninhas predominantes na região e destorroamento do solo para facilitar o desenvolvimento das raízes. O preparo do solo para o plantio da palma forrageira contou com o nivelamento do terreno com nível topográfico para calcular as curvas de níveis da área com vistas a nivelar o sistema de irrigação com a finalidade de proporcionar equilíbrio na pressão do sistema. A abertura dos sulcos foi realizada com enxadas de um cultivador acoplado a um trator, com espaçamento entre enxadas de 0,40 m e a profundidade do sulco de 0,15 m, sendo as covas laterais utilizadas para o plantio dos cladódios e o sulco central utilizado para o direcionamento da água de irrigação (FIGURA 8).



Figura 8 – Aração e nivelamento do solo para plantio e montagem do sistema de irrigação no assentamento Milagres em Apodi – RN.

Fonte: Arquivo próprio.

4.4.2 Plantio e tratos culturais

Para o plantio foram utilizadas raquetes pré-selecionadas de *Opuntia Tuna L.* Mill variedade orelha de elefante mexicana. Estas, após a coleta, foram deixadas em repouso à sombra, por duas semanas. O plantio foi realizado 90 dias antes do início do período chuvoso, conforme recomendado por (SANTOS et al., 2006), utilizando os espaçamentos na fileira dupla de 0,10 x 0,80 m com densidade de 66.667 plantas por hectare; 0,13 x 0,80 m com densidade de 52.282 plantas por hectare; e 0,20 x 0,80 m com densidade de 33.333 plantas

por hectare, distando 2,20 m entre fileiras duplas. Os cladódios foram plantados dentro dos sulcos, dispostos um após outro (dominó), com as faces dos cladódios (raquetes) de frente para o sol, ou seja, no sentido leste-oeste e enterradas 50%. A adubação orgânica e química de fundação foi realizada dentro do sulco de plantio (FIGURA 9).



Figura 9 – Fotos do plantio da palma forrageira no assentamento Milagres em Apodi – RN.
Fonte: Arquivo próprio.

As capinas manuais foram realizadas de acordo com o desenvolvimento das ervas daninhas, com intervalos menos espaçados no período chuvoso. E o trato fitossanitário para a chochonilha-de-escama (*Diaspis echinocacti*) foi adaptado de resultados obtidos na literatura (CARVALHO *et al.*, 2006; LACERDA *et al.*, 2011), utilizando-se óleo de soja, detergente neutro e sal de cozinha nas proporções de 500 ml, 350 ml e 200 g, respectivamente, para completar um pulverizador costal de 20 l, em três aplicações a cada sete dias, se repetindo a depender da necessidade (infestação).

4.4.3 Caracterização dos atributos químicos e físicos do solo

Segundo a peça técnica do Plano de Desenvolvimento do Assentamento – PDA elaborado pela UFERSA, o solo predominante é o Podzólico, que na nova classificação denomina-se Argissolo (EMBRAPA, 2006).

As coletas das amostras de solo para identificação do impacto ambiental do reúso de água de esgoto doméstico na produção da palma forrageira para fins de análise química ao final do experimento foram realizadas nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade com auxílio de um trado. Foram realizadas 24 coletas de amostras de solo em cada tratamento, sendo 12 amostras na profundidade 0-20 cm e mais 12 amostras na profundidade 20-40 cm, totalizando 120 amostras nos cinco tratamentos que foram analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências Ambientais da UFERSA, conforme a metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997) (TABELA 5).

Tabela 5 – Atributos químicos e físicos do solo da área experimental.

Perfil do solo (m)	pH	MO g kg ⁻¹	P	K ⁺	Na ⁺	N	B	Cu	Zn	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	CTC	M
			mg dm ³						mg dm ³			cmol _c dm ³	%		
0 a 0,20	6,7	1,8	7,7	138	125	0,25	0,3	0,7	3,1	2,1	0,6	0,0	3,05	4,04	0
20 a 0,40	7,2	1,2	1,4	106	120	0,2	0,2	0,9	0,5	1,8	0,6	0,0	2,67	3,17	0
Perfil do solo (m)	Densidade do solo			Areia	Silte	Argila	Umidade (%)								
	g cm ³			kg kg ⁻¹		0,01 MPa	1,5 Mpa								
0 a 0,20	1,8			0,83	0,07	0,1	28,6				6,2				
0,20 a 0,40	1,69			0,55	0,07	0,38	18,2				12,2				

Nota: MO – matéria orgânica determinada pelo método Walkley-Black (DEFELIPO; RIBEIRO, 1981); pH em água (relação 1:2,5); P, K e Na – fósforo disponível, potássio e sódio trocável, extraídos com Mehlich 1 e determinados conforme o método definido por Defelipo e Ribeiro (1981); Ca, Mg, e Al – cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados conforme Defelipo e Ribeiro (1981); SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; m – saturação por alumínio; argila determinada conforme o método da pipeta (EMBRAPA, 1997); e densidade do solo determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Fonte: Costa (2012).

Trata-se de um solo de textura argilo-arenosa ideal para a prática do reúso de água de esgoto doméstico tratado, pelo fato de sua textura proporcionar retenção de boa parte dos nutrientes que podem causar impacto ambiental. Os atributos químicos e físicos foram estabelecidos nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade.

4.4.4 Variáveis de crescimento avaliadas

As mensurações de crescimento da palma forrageira foram realizadas a cada setenta e cinco dias (75, 150, 225, 300 e 375 dias) a começar após o plantio, observando os seguintes aspectos morfométricos: altura de planta (H), número de cladódios por planta (N), ordem de cladódios (primário e secundário) (O), comprimento (C), espessura (E), largura (L) e perímetro dos cladódios (P). Foram escolhidas quatro plantas ao acaso dentro da parcela útil e identificadas. Para as mensurações de altura de plantas, comprimento, largura, perímetro do cladódio, foi utilizada a fita métrica e a espessura do cladódio foi determinada por paquímetro manual (FIGURA 10).



Figura 10 – Fotos das medidas morfométricas da palma forrageira no assentamento Milagres em Apodi – RN.

Fonte: Arquivo próprio.

A estimativa de produção de massa verde da palma foi determinada no campo ao final do ciclo de um ano. Para determinação do peso foram utilizadas as mesmas plantas acompanhadas nas medidas morfométricas, ou seja, quatro plantas em cada subparcela, totalizando 12 plantas para cada parcela e 48 plantas em cada densidade (tratamento) nas

quatro repetições, totalizando 240 plantas avaliadas nos cinco tratamentos em todo experimento. As plantas foram arrancadas com auxílio de ferro de cova e foram pesadas individualmente no campo com auxílio de balança eletrônica digital. Foi determinado o peso médio para cada subparcela, em seguida, determinado a mesma média para cada densidade de plantio (tratamento) e o peso total foi determinado multiplicando o peso médio obtido para cada densidade de plantio do experimento pela respectiva densidade de plantio em 1 hectare, ou seja, 33.333 mil plantas por hectare, 52.282 mil plantas por hectare e 66.667 plantas por hectare, respectivamente.

As produções em matéria seca (MS) foram determinadas multiplicando-se a produção de matéria verde (MV) pelos teores de matéria seca (MS) das mesmas plantas acompanhadas nas medidas morfométricas. Depois da determinação do peso da matéria verde, foram coletadas amostras com auxílio de furadeira elétrica em toda a planta, respeitando a ordem e idade dos cladódios, para a determinação média da matéria seca por planta. O teor de MS foi determinado pela diferença do peso fresco de amostras pesadas em laboratório com balança de precisão e o peso seco das mesmas amostras secadas em estufa a 65°C até peso constante. A determinação da matéria seca total foi feita pela multiplicação entre a matéria verde total e sua porcentagem de matéria seca correspondente, e a porcentagem média de matéria seca foi determinada pela relação entre a matéria seca e fresca por planta, determinada em laboratório após a secagem em estufa a 65 °C, sendo em seguida calculada a média por tratamento.

4.5 ADUBAÇÃO QUÍMICA E ORGÂNICA DE FUNDAÇÃO

A adubação de fundação foi realizada com aplicação de adubos químicos associados a adubo orgânico (esterco bovino de curral oriundo da criação de vacas leiteiras).

Como há escassez de informações na literatura acerca da recomendação de adubação da palma forrageira pela análise de solo, utilizamos dados de trabalhos científicos sobre a exportação de nutrientes coletados a partir da análise foliar para fazer a adubação de fundação do experimento. Para estimar a necessidade de adubação química da palma forrageira do experimento, utilizou-se o cálculo da regressão levando em consideração a exportação de nutrientes da média dos cinco trabalhos, a composição química e a eficiência dos nutrientes (NPK) (TABELA 6).

Tabela 6 – Exportação de nutrientes (NPK) pela cultura da palma forrageira variedade *Opuntia Tuna L. Mill.*

Gênero	Minerais (% na matéria seca)			Autores
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	
<i>OPUNTIA</i>	0,9	0,16	2,58	Santos et al., (1990);
<i>OPUNTIA</i>	0,19	0,13	2,11	Santos et al (1997)
<i>OPUNTIA</i>	0,19	0,16	1,83	Santos (1989); Germano et al (1991); Cunha (1996), adaptado.
<i>OPUNTIA</i>	0,19	0,12	2,37	Wanderley et al (2002)
<i>OPUNTIA</i>	1,3	-	0,17	Donato (2011), adaptado.

Fonte: Lemos, adaptado.

A necessidade de nutrientes da cultura foi de 715,34 kg/ha⁻¹ de nitrogênio (N), 189,40 kg/ha⁻¹ de fósforo (P) e 1.602,96 kg/ha⁻¹ de potássio (K) para uma produção estimada em 40 t de matéria seca, cujo teor de MS foi estimado em 10%. Pelas características químicas do solo, do esterco e da água a serem aplicados, decidiu-se aplicar quimicamente os nutrientes mais limitantes: fósforo e nitrogênio. A fonte do adubo foi o MAP e o sulfato de amônio.

Optando pela aplicação do MAP na fundação como fonte de fósforo, foram aplicados 378,8 kg ha⁻¹ de P. No hectare, foram aplicados 0,057 kg metro linear, ou seja, 56,81 g metro linear ou 142,025 g/2,5 metros em cada subparcela. Como o MAP, além do fósforo, tem um percentual de nitrogênio (12%), também foi aplicado, concomitantemente, 6,81 g metro linear ou 17,04 g/2,5 metros na subparcela deste elemento na fundação. Além do MAP foi aplicado o sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄) com 640,98 kg ha⁻¹, ou seja, 96,14 g metro linear do elemento.

Com o período chuvoso de janeiro a maio de 2014 ocorreu o tombamento das plantas devido ao excesso de esterco em decomposição no sulco e pelo pequeno desenvolvimento das raízes. Com isso, houve a necessidade de fazer duas aplicações via fertirrigação com nitrogênio e fósforo como cobertura, consistindo em 359,96 kg ha⁻¹ de nitrogênio, tendo como fonte a ureia já considerando também os 12% de nitrogênio do MAP e a mesma quantidade de fósforo da adubação de fundação, ou seja, 568,20 kg ha⁻¹ de fósforo, tendo como fonte o MAP, adaptando as recomendações feitas por (SUASSUNA, 2004). Sendo uma no início e outra no meio do período chuvoso, ou seja, uma aplicação em janeiro e a outra em abril de 2014, com a finalidade de acelerar a decomposição dos resíduos e, conseqüentemente, aumentar o desenvolvimento e a fixação das raízes. Vale ressaltar que as duas aplicações foram feitas via fertirrigação, os cálculos feitos por metro linear são utilizados para traduzir a quantidade de nutriente utilizado e facilitar seu entendimento e aplicação no futuro.

Na semana do plantio foi feita a adubação orgânica de fundação, utilizando 30 t ha⁻¹ de esterco bovino de curral dentro do sulco de plantio, considerando o adensamento de plantio

conforme Santos et al. (2006). Ou seja, como há 6667 metros de plantio extrapolando para um hectare, aplicou-se 4,49 kg m⁻¹ linear ou 11,225 kg 2,5 m⁻¹ linear de esterco bovino em cada subparcela (FIGURA 11).



Figura 11 – Adubação orgânica da palma forrageira no assentamento Milagres em Apodi – RN.

Fonte: Arquivo próprio.

Ao ser aplicado a proporção de 30 t ha⁻¹ de esterco bovino em fundação, depois da análise físico-química, foi disponibilizado a quantidade de nutrientes que consta na Tabela 7.

Tabela 7 – Composição química do esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação no experimento de outubro de 2013 a outubro de 2014.

UMID. %	pH H ₂ O	CTC cmol _c dm ⁻²	M.O. g kg ⁻¹	CE mS/cm	NUTRIENTES MACRO (g kg ⁻¹)					NUTRIENTES MICRO (mg kg ⁻¹)				
					N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Fe	Mn
					19,33	2,10	19,77	12,84	7,94	4,92	57	30	21.975	262
4,18	7,08	50,33	407,24	12.990	MACRO (kg ha ⁻¹)					MICRO (kg ha ⁻¹)				
					579,9	63,00	593,1	385,20	221,82	147,60	1,71	0,90	659,25	7,86

Fonte: Laboratório de água e solos da EMPARN.

A ordem dos nutrientes contidos nos esterco foi: macronutrientes: K>N>Ca>Mg>P, e de micronutrientes: Fe>Mn>Zn>Cu.

4.6 MANEJO DA IRRIGAÇÃO E DA FERTIRRIGAÇÃO.

Como parâmetro para aplicação da irrigação nos quatro intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF foi utilizada a metade da ETo diária do local, definindo uma lâmina fixa de 3,5 mm. Desta forma, foram estudados: aplicação de

100% de esgoto doméstico em três intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa que foram 7, 14 e 21 dias; água de abastecimento de poço artesiano para manter a umidade do solo na capacidade de campo com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias; e sequeiro utilizando apenas água originária das chuvas. A umidade perdida pela evapotranspiração foi reposta às unidades experimentais apenas pela chuva no tratamento de sequeiro. Toda a aplicação da irrigação e da fertirrigação foi realizada via sistema de irrigação “bubbler” adaptado como forma de distribuição de água em microssulcos em nível. As lâminas de irrigação e fertirrigação de acordo com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa só deixaram de ser aplicadas quando houve chuvas com quantidade de água acumulada superior a 10 mm semanal, seguindo o programa normal de irrigação para a semana seguinte.

O fornecimento da irrigação foi realizado através do bombeamento do efluente doméstico tratado e da água de poço artesiano de dois reservatórios (cisterna de placa modelo pintadas com capacidade de 8.000 L) para duas caixas de PVC com capacidade para armazenar 1.000 L dispostas a 1,20 m do solo, a fim de se irrigar os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa por gravidade (FIGURA 12).



Fonte: Arquivo próprio.

Figura 12 – Montagem da caixa d’água de PVC para irrigação da palma forrageira no assentamento Milagres em Apodi – RN.

O fornecimento de água via os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa testemunha (sequeiro); irrigação com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com água de abastecimento de poço artesiano; assim como fertirrigação com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias com 100% de esgoto doméstico tratado nas três densidades de plantio. Os eventos de irrigação corresponde as lâminas totais adotadas para cada intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa, cuja

quantidade de água aplicada corresponde a sequeiro (apenas água de chuva), 2,3 dias (3,5 mm – para manter a umidade do solo na capacidade de campo) e 7, 14 e 21 dias (3,5 mm – metade da evapotranspiração local diária – ETo) (TABELA 8).

Tabela 8 – Chuva do período do experimento com o manejo da irrigação e fertirrigação no Assentamento Milagres, Apodi/RN.

Tratamentos	Densidade de Plantio (1000 ha ⁻¹)	Chuva (mm)	Irrigação Semanal (mm)	Irrigação Ciclo (mm)	Acúmulo de água no Ciclo (mm)
SEQ.	33	409	0	0	409
	50	409	0	0	409
	66	409	0	0	409
ABAST.	33	409	10,5	430,5	839,5
	50	409	10,5	430,5	839,5
	66	409	10,5	430,5	839,5
7 DIAS	33	409	3,5	144,0	553,0
	50	409	3,5	144,0	553,0
	66	409	3,5	144,0	553,0
14 DIAS	33	409	3,5	71,75	480,7
	50	409	3,5	71,75	480,7
	66	409	3,5	71,75	480,7
21 DIAS	33	409	3,5	47,8	456,8
	50	409	3,5	47,8	456,8
	66	409	3,5	47,8	456,8

A tensão da água no solo foi calculada com a equação de Van Genuchten, utilizando dados da curva de retenção da água do solo do experimento no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa testemunha de 2,3 dias para propiciar água próxima à capacidade de campo. As tensões na camada de 0-20 ficaram abaixo de 6,47 kPa (tensão na camada de 0-20 cm na capacidade de campo – CC) com exceção dos meses junho e agosto de 2014, por conseguinte, essas tensões demonstram haver percolação da água com lixiviação de nutrientes. As tensões na camada de 20-40 cm ficaram abaixo das tensões da camada de 0-20 cm, cuja tensão na CC na profundidade de 20-40 cm foi de 10,84 kPa, demonstrando que há disponibilidade de água e de ar, apesar de ser um Argissolo, conforme classificação. Neste

sentido, há um fluxo ascendente de água disponível para as raízes da planta fora do período de irrigação.

Os dados do monitoramento por sonda nos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não tiveram boa correlação. Entretanto, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias tiveram 3, 6 e 9 vezes menos água, respectivamente, que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias, ou seja, suas tensões foram mais elevadas, devido à redução da aplicação de água. O ponto de murcha permanente estimado na camada de 0-20 cm é de $0,062 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^3$, enquanto, aos 20-40 cm é de $0,122 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^3$ (FIGURA 13).

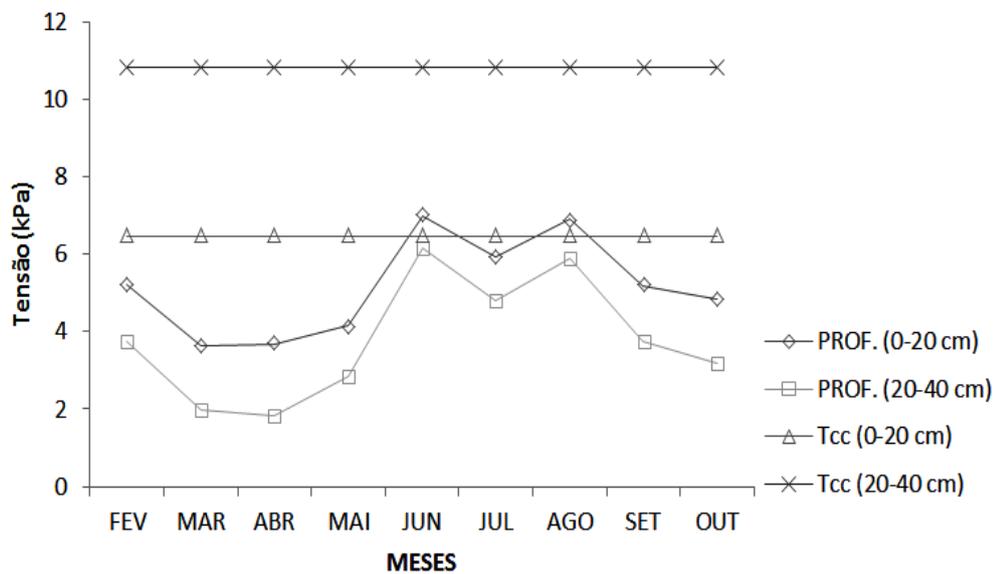


Figura 13 – Tensão da água no solo no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) de 2,3 dias, mantendo a umidade próxima à capacidade de campo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade.

4.7 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZADO NO EXPERIMENTO

As análises físico-químicas e microbiológicas do esgoto doméstico tratado e da água de abastecimento do poço artesiano do P.A. Milagres em Apodi/RN utilizados na irrigação. Seguiram a metodologia preconizada pelo Standart Methods of – APHA (2003) e compreendem a determinação dos seguintes parâmetros: pH; Condutividade Elétrica (CE); Nitrato (NO_3^-); Amônio (NH_4^+); Nitrogênio Total (NT); Fósforo (P); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Cloreto (Cl^-); Sódio (Na); dureza; salinidade; Cádmi (Cd); Cobre (Cu); Chumbo (Pb);

Cromo (Cr); Zinco (Zn); Níquel (Ni); Mercúrio (Hg); turbidez; relação de sódios trocáveis (RST); demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). A quantidade de nutrientes que consta na tabela está abaixo de suprir as necessidades da cultura calculada pelo método da exportação de nutrientes (TABELA 9).

Tabela 9 – Caracterização Físico-Química do esgoto doméstico primário e da água do poço artesiano do Assentamento Milagres, Apodi/RN.

	Concentração	Água Limpa (poço artesiano)	Concentração.
CE (dS m ⁻¹)	1,2	CE (dS m ⁻¹)	0,10
Ph	7,3	pH	7,0
SS (mg L ⁻¹)	44	SS (mg L ⁻¹)	0,0
SD (mg L ⁻¹)	350	SD (mg L ⁻¹)	50
Fe (mg L ⁻¹)	0,60	Fe (mg L ⁻¹)	0,40
Mn (mg L ⁻¹)	0,20	Mn (mgL ⁻¹)	0,07
Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	32,06	Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	12,02
Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	17,01	Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	12,15
DQO (mg L ⁻¹)	60,00		
DBO (mg L ⁻¹)	19,40		
N Total (mg L ⁻¹)	72,00	N Total (mg L ⁻¹)	0,0
P Total (mg L ⁻¹)	7,5	P Total (mg L ⁻¹)	-
K ⁺ (mg L ⁻¹)	23,7	K ⁺ (mg L ⁻¹)	11,5
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	161,61	Na ⁺ (mg L ⁻¹)	10,57
N-No ₃ (mg L ⁻¹)	0,10	N-No ₃ (mg L ⁻¹)	0,0
CT (mmolc L ⁻¹)	2,40	CT (mmolc L ⁻¹)	
Coliformes	8X10 ⁴	Coliformes Termotolerantes	0,0
Termotolerantes		(NMP 100 mL ⁻¹)	
(NMP 100 mL ⁻¹)			

Fonte: Adaptado: Lemos (2011), Costa & Costa (2012).

A quantidade de nutrientes acumulada de acordo com o manejo da fertirrigação, considerando os ciclos de umedecimento e secagem do solo. A aplicação seguiu os períodos seco e chuvoso do ano, quando havia um bom suprimento de água da chuva, acima de 10 mm, não havia a necessidade de se fertirrigar. Foi separado em fase para tentar interpretar o crescimento e desenvolvimento da palma forrageira nestes ciclos, visto que há um maior e menor desempenho da cultura em uma ou outra fase (TABELA 10).

Tabela 10 – Quantidade de nutrientes proveniente do esgoto doméstico tratado aplicado durante o ciclo da palma forrageira (outubro de 2013 a outubro de 2014) em três fases alternando estação seca e chuvosa.

FASE I – Outubro a dezembro de 2013					
IILF (3,5 mm p/ evento)	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
kg ha ⁻¹				
2,3 Dias	0,0	0,0	14,49	15,14	15,31
7 Dias	30,24	3,15	9,95	13,46	7,14
14 Dias	15,12	1,57	4,97	6,73	3,57
21 Dias	7,56	0,78	2,48	3,36	1,78
FASE II – Janeiro a maio de 2014					
IILF (3,5 mm p/ evento)	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
kg ha ⁻¹				
2,3 Dias	0,0	0,0	10,89	11,36	11,48
7 Dias	23	2	7,58	10,25	5,44
14 Dias	11	1,18	3,73	5,04	2,68
21 Dias	5	0,52	1,66	2,24	1,19
FASE III – Junho a outubro de 2014					
IILF (3,5 mm p/ evento)	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
kg ha ⁻¹				
2,3 Dias	0,0	0,0	24,15	25,24	25,51
7 Dias	50,4	5,3	16,59	22,4	11,9
14 Dias	25,2	2,6	8,29	11,2	6,0
21 Dias	21,8	2,3	7,18	9,7	5,2
ACUMULADO – Outubro de 2013 a outubro de 2014					
IILF (3,5 mm p/ evento)	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
kg ha ⁻¹				
2,3 Dias	0,0	0,0	49,53	51,74	52,30
7 Dias	103,7	10,8	34,12	46,2	24,5
14 Dias	51,7	5,4	16,89	23,0	12,2
21 Dias	34,4	3,6	11,32	15,3	8,1

Aplicando lâminas de irrigação no ciclo total da cultura de 144, 71,75 e 47,8 mm de água de esgoto doméstico tratado nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias, foram disponibilizados 103,7, 51,7 e 34,4 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N); 10,8, 5,4, e 3,6 kg ha⁻¹ de Fósforo (P); 46,2, 23,0 e 15,3 kg ha⁻¹ de Cálcio (Ca²⁺); e 24,5, 12,2 e 8,1 kg ha⁻¹ de Magnésio (Mg²⁺), respectivamente. E aplicando a lâmina de irrigação de 430 mm de água de abastecimento de poço artesiano no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina

fixa de 2,3 dias, foram disponibilizados 0,0 e 0,0 de Nitrogênio e Fósforo, mas teremos 49,53 kg ha⁻¹ de Potássio, 51,74 kg ha⁻¹ de Cálcio (Ca²⁺) e 52,30 kg ha⁻¹ de Magnésio (Mg²⁺).

4.8 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

O sistema de irrigação do experimento derivou do sistema Bubbler. É do tipo localizado de baixa pressão, com emissores de tubos de polietileno de diâmetro reduzido (3 a 5 mm de diâmetro interno), com vazão entre 30 e 120 L h, para o comprimento de emissores (microtubo) entre 0,50 e 3,00 m e submetido a uma carga hidráulica entre 1,0 e 2,0 m. A água aplicada cai no sulco de 1,0 a 3,0 m, construído com declividade máxima de 0,5% e com dimensões tais que durante um evento de irrigação o volume de água aplicado (Vap) seja inferior ao volume infiltrado (Iac) e armazenado na superfície dentro do sulco (Vsup) (MEDEIROS et al., 2014). Foi realizado cálculo para definição do diâmetro dos emissores, da carga hidráulica (altura da caixa de PVC), comprimento do sulco de irrigação e comprimento do microtubo do sistema de irrigação (FIGURA 14).



Figura 14 – Imagem do teste realizado para definição da altura da caixa de PVC, da dimensão do sulco e do espagete utilizado no sistema de irrigação no assentamento Milagres em Apodi – RN.

Fonte: Arquivo próprio.

A vazão do sistema de irrigação após o teste foi de 60 L hora⁻¹ realizado na área experimental, nivelando o sistema para perdas inferiores a 10% ou coeficiente de uniformidade superior a 90% (FIGURA 15).



Figura 15 – Teste de vazão do sistema de irrigação utilizado no experimento no assentamento Milagres em Apodi – RN.

Fonte: Arquivo próprio.

4.9 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

As análises químicas foram determinadas no laboratório de solo, água e planta (LASAP) do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas – DCAT da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. As análises químicas constam de: pH em água potenciometricamente na suspensão cuja proporção solo-líquido foi de 1:2,5 com tempo de reação de 30 minutos e agitação da suspensão antes da leitura (EMBRAPA, 2009). A Condutividade Elétrica do extrato de saturação (CEes) foi medida no extrato da pasta de saturação preparada, segundo método descrito por Richards (1954) e expressa em $\mu\text{S cm}^{-1}$. Cálcio – Ca^{2+} e Magnésio – Mg^{2+} foram determinados pelo método titulométrico, expressos em mmolc L^{-1} . Foram determinados os teores de fósforo (P), sódio (Na) e potássio (K), extraídos com Mehlich e determinado por colorimetria em presença do ácido ascórbico como catalisador e expressos em mg dm^{-3} (EMBRAPA, 2009); e cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) por espectrofotometria de absorção atômica, expressas em mg L^{-1} . A matéria orgânica do solo (MO) foi determinada por meio da oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio, segundo método Walkley-Black descrito por Mendonça & Mota (2005) e expressa em %.

4.10 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

A avaliação do estado nutricional das plantas foi realizada no laboratório de solos do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), atentando-se para o seguinte procedimento: para determinação da massa seca as amostras foram mantidas em estufa de circulação forçada com temperatura regulada para 65-70 °C, até que se obtivesse peso constante (três a quatro dias) em balança eletrônica com precisão de 0,01 g; na determinação dos teores dos nutrientes utilizou-se 0,2 g da massa seca.

Para determinação do nitrogênio, a amostra foi digerida utilizando-se ácido sulfúrico (H₂SO₄) em blocos para digestão com temperatura de 300 °C por duas horas (TEDESCO et al., 1995); quantificou-se o nitrogênio total através da destilação por arrasto de vapores.

Para a determinação dos demais macro e micronutrientes foi realizada a digestão via úmida em sistema fechado usando forno micro-ondas como fonte de calor e o HNO₃ concentrado para digerir a matéria seca. Para aplicação dessa técnica de digestão com aquecimento por micro-ondas em tubos de teflon pressurizados, utilizou-se o Digestor MARSTM fabricado pela CEM Corporation. Transferiu-se 0,5 g de matéria seca para tubo de teflon de 100 mL, adicionou-se 5 mL de HNO₃ 65 % p.a e colocou no cilindro de aço de segurança do equipamento. Introduziu-se o tubo no Digestor MARSTM e submeteu-o à temperatura de 170 a 180 °C, pressão de 20 a 25 bar e potência de 600 a 1000 W por 20 minutos e depois se manteve nesta temperatura por mais 15 minutos. Após desligar o Digestor MARSTM e esfriar os extratos, adicionou-se água destilada até completar o volume de 25 mL (extrato 1). Para cada bateria de amostras a serem analisadas foi realizada uma prova em branco adotando os mesmos procedimentos das demais amostras, excluindo-se apenas a colocação da matéria seca para digestão. O resultado desse processo foi à obtenção de um extrato líquido em que foram analisados: Cu, Zn, Fe, Mn, Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica – EAA, o fósforo (P), sódio (Na) e potássio (K), foram analisados por colorimetria e espectrofotometria de chama, respectivamente (FERREIRA, 2014).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA

5.1.1 Altura de plantas.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa ($P>0,05$) entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) na variável altura de plantas da palma forrageira nas fases analisadas. Assim como, não houve diferença significativa entre as densidades de plantio ($P>0,05$) nas fases analisadas. No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa ($P<0,01$) em todas as fases analisadas (TABELA 11).

Pode-se verificar que a variável altura de planta (AP) da palma forrageira orelha de elefante mexicana aos 75 DAP não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, mas aos 150, 225 e 375 DAP se ajustou a um modelo de regressão quadrático ($P<0,01$). No entanto, aos 300 DAP se ajustou a um modelo de regressão linear decrescente ($P<0,05$) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta (FIGURA 16).

Tabela 11 – Resumo da análise de variância e médias para altura de plantas de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹				
		AP_C1	AP_C2	AP_C3	AP_C4	AP_C5
Blocos	3	0,8081 ^{ns}	137,5816 ^{ns}	135,3460 ^{ns}	136,7333 ^{ns}	110,5031 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	322,3078 ^{**}	250,4054 ^{**}	540,6011 ^{**}	680,8654 ^{**}	724,4915 ^{**}
Contraste (irrig. x s/ irrig.)	1	1123,4190 ^{**}	376,4263 [*]	910,4173 ^{**}	2204,6281 ^{**}	2212,8797 ^{**}
Regressão Linear	1	134,5619 ^{ns}	216,2845 [*]	480,2064 [*]	242,6180 [*]	380,4629 [*]
Regressão Quadrática	1	29,7614 ^{ns}	371,8815 [*]	765,0523 [*]	207,6058 ^{ns}	304,0274 [*]
Desvio de Regressão	1	1,4891 ^{ns}	37,0294 ^{ns}	6,7285 ^{ns}	68,6098 ^{ns}	0,5961 ^{ns}
Resíduo (a)	12	29,4186	43,4373	85,0269	49,0422	60,6093
Densidade de Plantio (DP)	2	36,533 ^{ns}	77,7529 ^{ns}	73,1174 ^{ns}	54,1787 ^{ns}	154,1939 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	4,341 ^{ns}	17,5327 ^{ns}	50,9469 ^{ns}	110,5994 ^{ns}	77,0259 ^{ns}

Resíduo (b)	30	23,305	30,9567	63,7191	61,3524	61,6600
CV 1		13,9	10,2	12,1	8,0	9,4
CV 2		9,3	8,6	10,4	8,9	9,5

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias²				
	AP_C1	AP_C2	AP_C3	AP_C4	AP_C5
33.333	38,28 a	65,51 a	78,30 a	89,48 a	85,53 a
52.282	38,09 a	65,54 a	75,20 a	86,59 a	80,40 a
66.667	40,05 a	62,11 a	74,81 a	86,68 a	81,13 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias³				
	AP_C1	AP_C2	AP_C3	AP_C4	AP_C5
2,3	42,12 ⁺	64,85 ^{ns}	77,64 ^{ns}	86,23 ⁺	90,49 ⁺
7	42,78 ⁺	70,23 ⁺	83,43 ⁺	89,07 ⁺	95,21 ⁺
14	41,03 ⁺	67,14 ⁺	81,18 ⁺	87,17 ⁺	90,83 ⁺
21	37,94 ⁺	60,34 ^{ns}	69,96 ^{ns}	79,09 ^{ns}	85,92 ⁺
Sequeiro (testemunha)	30,15	59,38	68,31	70,21	75,46
DMS	6,21	7,55	10,57	8,92	8,02

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Aos 75 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral altura de planta de 40,97 cm. Aos 150, 225 e 375 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático decrescente com as equações da reta resultando nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 9,73, 9,65 e 8,79 dias com as alturas de planta de 69,51, 83,64 e 89,13 cm, respectivamente. Já aos 300 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com altura de planta de 92,45 cm.

Aos 75 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentaram diferença significativa a P>0,05 em relação à testemunha em condições de sequeiro. E aos 150 e 225 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram diferença significativa a P>0,05 em relação à testemunha, mas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 21 dias não apresentaram diferença significativa a P<0,05 em relação à testemunha (sequeiro). Já aos 300 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7 e 14 dias apresentaram diferença significativa a P>0,05 em relação à testemunha e o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias não apresentou diferença significativa à P<0,05. Mas aos 375 DAP os intervalos entre

eventos de irrigação com lâmina fixa apresentaram diferença significativa à $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro).

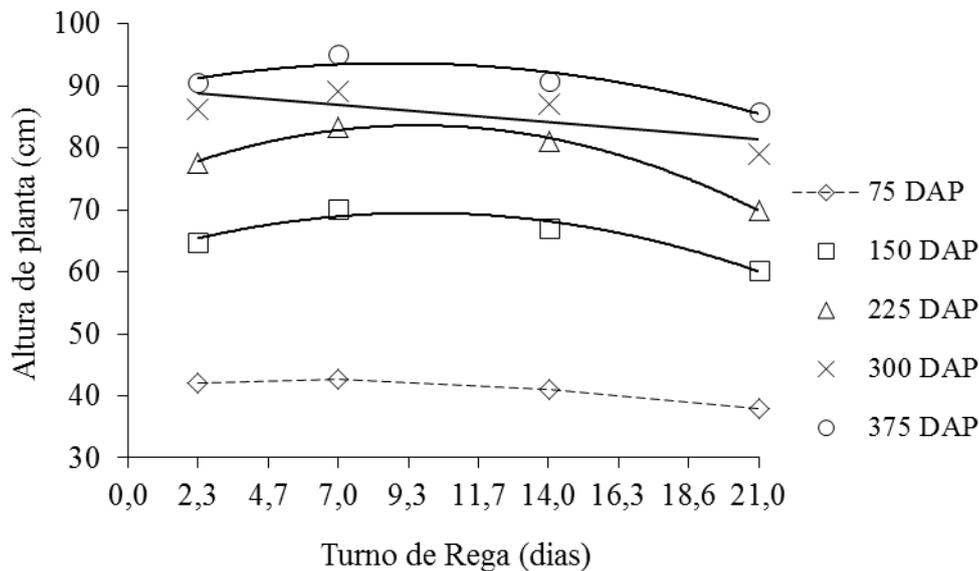
Os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 75 DAP não apresentaram diferença significativa entre eles, apesar de todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa terem apresentado diferença em relação à testemunha. Isso se deve certamente a fase inicial de condução do experimento, visto que as mudanças de crescimento na palma forrageira são lentas no período inicial para todas as variáveis estudadas.

Apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram diferença significativa aos 150 e 225 DAP em relação à testemunha (sequeiro), sugerindo haver influência da decomposição pela chuva da matéria orgânica disponibilizada via adubação de fundação, maior quantidade de água via fertirrigação nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de menor frequência, conseqüentemente, com maior quantidade de nutrientes mineralizados e disponíveis ao crescimento das plantas. A diferença significativa entre intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa supõe-se ser influenciada pela maior disponibilidade de água as plantas via fertirrigação, já que todos os tratamentos tiveram a mesma condição de adubação na fundação e de chuva, apesar de não equivalerem aos mesmos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Da mesma maneira que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias foi influenciado pela adubação de fundação, ou seja, pela disponibilidade de nutrientes mineralizados após o período chuvoso, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias também foi, mas apenas aos 150 e 225 DAT por conta da frequência de aplicação da fertirrigação ser maior.

Aos 300 DAP somente os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7 e 14 dias apresentaram diferença estatística significativa em relação à testemunha (sequeiro), sugerindo que durante este momento, no período seco do ano, as menores frequências de fertirrigação foram mais influentes. Neste período, o modelo de regressão linear apontou para a maior altura de planta com 92,45 cm no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias, reforçando a argumentação. Essa altura de planta foi superior também às médias da altura de planta de 50 clones de palma forrageira de um banco de germoplasma formado por 441 clones oriundos do Instituto Agrônômico de Pernambuco com 90,1 cm (SILVA et al, 2010), não diferindo estatisticamente dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 21 dias com 90,49 e 85,92 cm^{-1} , respectivamente. Donato (2011) verificou que para a altura média da palma forrageira, ajustou-se um modelo de regressão linear crescente em função das doses de esterco bovino. Souza (2015) também

verificou que a altura de plantas da palma Miúda sofreu influência da adubação orgânica e que essa influência ocorreu de forma quadrática aos níveis crescentes de adubação, ou seja, a elevação da quantidade de matéria orgânica incrementou a altura das plantas até a dose estimada de 29 t de MO ha⁻¹ ano⁻¹, em que foi observada altura média de 57,87 cm.

Já aos 375 DAP todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentaram diferença estatística significativa, demonstrando que o fator água via fertirrigação tem uma influência muito significativa no período mais seco do ano (segundo semestre) (FIGURA 16).



$$Y_{(AP_{C1})} = 40,97$$

$$Y_{(AP_{C2})} = 62,434 + 1,456077^{ns} X - 0,074817 * X^2$$

$$Y_{(AP_{C3})} = 73,642 + 2,07174^{ns} X - 0,107311 * X^2$$

$$Y_{(AP_{C4})} = 94,135 - 0,317835^{ns} X$$

$$Y_{(AP_{C5})} = 83,897 + 1,189877^{ns} X - 0,067648^{ns} X^2$$

$$R^2 = ns$$

$$R^2 = 94,08$$

$$R^2 = 99,46$$

$$R^2 = 46,76$$

$$R^2 = 99,91$$

Figura 16 – Altura de planta de palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm⁻¹) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Silva et al. (2010), trabalhando com características morfológicas e produtivas de 50 clones de palma forrageira, observaram altura média das plantas de 90,1 cm⁻¹ colhidos com 2 anos de idade, cuja altura variou entre 45,2 e 127,3 cm⁻¹. E Silva et al. (2015), verificaram diferença entre os clones avaliados, sendo a orelha de elefante mexicana juntamente com a IPA Sertânia, aqueles com maiores magnitudes com 80,56 cm contra 69,44 e 68,11 cm para a IPA Sertânia e Miúda, respectivamente.

Neste experimento, a altura de planta não sofreu influência significativa das densidades de plantio. No entanto, vários estudos do crescimento da palma forrageira através

de medidas morfométricas testando níveis de adubação orgânica e diferentes densidades de plantio concluem que há influência direta da densidade de plantio na altura de planta. Conforme Silva et al (2010); Sales et al (2013) e Souza (2015), com menor densidade populacional a palma forrageira apresenta uma maior altura de planta quando comparada com cultivos mais adensados.

Silva et al. (2015) verificaram diferença entre os clones avaliados, sendo a orelha de elefante mexicana juntamente com a IPA Sertânia aqueles com maiores magnitudes com 80,56 cm contra 69,44 e 68,11 cm para a IPA Sertânia e Miúda, respectivamente, com ciclo de 745 dias.

5.1.2 Número total de cladódios.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) na produção de palma forrageira aos 75, 150, 225 e 300 DAP, mas houve interação significativa a $P < 0,05$ aos 375 DAP. Assim como não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ aos 75, 150, 225 e 375 DAP, mas houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P < 0,01$ aos 300 DAP. No entanto, houve diferença significativa entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ aos 75, 225, 300 e 375 DAP, mas não houve diferença significativa a $P > 0,05$ aos 150 DAP (TABELA 12).

Pode-se verificar que o número total de cladódios (NC) aos 225, 300 e 375 DAP na palma forrageira orelha de elefante mexicana, se ajustou ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,01$, enquanto, aos 75 DAP se ajustou ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,05$. E aos 150 DAP não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta (FIGURA 17).

Nos dados sobre densidade de plantio (TABELA 12), apesar de não demonstrar diferença estatística significativa, os dados sugerem haver uma tendência à diminuição do número de cladódios por planta com o aumento da densidade de plantio, sendo que a menor densidade de plantio (33.333) apresentou diferença estatística significativa em relação às demais densidades de plantio (52.282 e 66.667) apenas aos 300 DAP com 21,77 contra 18,63

e 17,10 cladódios planta⁻¹, respectivamente. Esses resultados corroboram com os valores relatados por Dubeux Júnior et al. (2010), Ramos et al. (2011), que observaram maior número de cladódios por planta em menores densidades populacionais por apresentarem diferenças estatística significativa.

Tabela 12 – Resumo da análise de variância e médias para numero total de cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹				
		NC_T_C1	NC_T_C2	NC_T_C3	NC_T_C4	NC_T_C5
Blocos	3	13,3018 ^{ns}	2,1651 ^{ns}	13,9041 ^{ns}	41,1931 ^{ns}	7,2386 ^{ns}
III F (3,5 mm p/ evento)	(4)	101,0617 ^{**}	21,3619 ^{ns}	301,1376 ^{**}	718,7216 ^{**}	345,6776 ^{**}
Contraste	1	312,3829 ^{**}	58,1642 [*]	404,2750 ^{**}	916,5432 ^{**}	692,1048 ^{**}
Regressão Linear	1	34,1597 ^{ns}	4,2348 ^{ns}	533,0637 ^{**}	364,1513 ^{**}	198,4950 [*]
Regressão Quadrática	1	57,2834 [*]	17,7701 ^{ns}	255,9541 ^{**}	1461,1962 ^{**}	440,2984 ^{**}
Desvio de Regressão	1	0,4209 ^{ns}	5,2784 ^{ns}	11,2574 ^{ns}	132,9958 [*]	51,8125 ^{ns}
Resíduo (a)	12	11,6645	11,4996	27,1839	16,0256	30,4767
Densidade de Plantio (DP)	2	8,3528 ^{ns}	2,3716 ^{ns}	27,9459 ^{ns}	113,6098 ^{**}	62,8632 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	10,2748 ^{ns}	9,2311 ^{ns}	36,9420 ^{ns}	16,9023 ^{ns}	56,6923 [*]
Resíduo (b)	30	5,2222	8,1747	18,0065	14,5174	21,9780
CV 1		44,0	26,9	27,6	20,8	24,1
CV 2		29,4	22,7	22,4	19,8	20,4

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²				
	NC_T_C1	NC_T_C2	NC_T_C3	NC_T_C4	NC_T_C5
33.333	8,41 a	12,98 a	19,99 a	21,77 a	24,71 a
52.282	7,11 a	12,32 a	17,63 a	18,63 b	22,80 a
66.667	7,76 a	12,47 a	19,00 a	17,10 b	21,17 a

III F (3,5 mm p/ evento)	Médias ³				
	NC_T_C1	NC_T_C2	NC_T_C3	NC_T_C4	NC_T_C5
2,3	8,77 ⁺	13,04 ^{ns}	21,62 ⁺	10,99 ^{ns}	23,33 ⁺
7	10,35 ⁺	13,23 ^{ns}	24,54 ⁺	26,10 ⁺	29,55 ⁺
14	9,78 ⁺	14,08 ^{ns}	21,05 ⁺	27,05 ⁺	26,24 ⁺
21	6,71 ^{ns}	11,97 ^{ns}	13,48 ^{ns}	20,34 ⁺	19,24 ^{ns}
Sequeiro (testemunha)	3,20	10,62	13,68	11,35	16,10
DMS	3,91	3,88	5,97	4,59	6,32

¹ **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

² Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

³ + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Segundo Nascimento et al. (2011), o crescimento da palma forrageira é influenciado pela densidade de plantio, tendendo à redução de número, tamanho, forma e peso dos

cladódios, com o aumento da densidade populacional. O maior adensamento fez com que a planta emitisse menor número de novos brotos, uma vez que não havia espaço para que esses crescessem. Possivelmente, os cladódios não conseguiram se desenvolver devido à sobreposição dos mesmos. Por isso, o número e tamanho de cladódios por planta diminuíram com o aumento da densidade (CAVALCANTE et al., 2014).

Aos 75 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático decrescente com equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 9,70 dias com um número total de cladódios de 10,18. Aos 90 dias após o plantio Donato et al., (2014) verificaram média de 9,3 cladódios por planta, média semelhante a observada no presente estudo aos 75 DAP para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias que foi de 10,35.

Aos 150 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o número total de cladódios de 13,08 cladódios planta⁻¹. Aos 225 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7,94 dias com número total de cladódios de 23,89 cladódios planta⁻¹. Já aos 300 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 13,04 dias com número total de cladódios de 29,11 cladódios planta⁻¹. E aos 375 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 9,97 dias com número total de cladódios de 28,76 cladódios planta⁻¹.

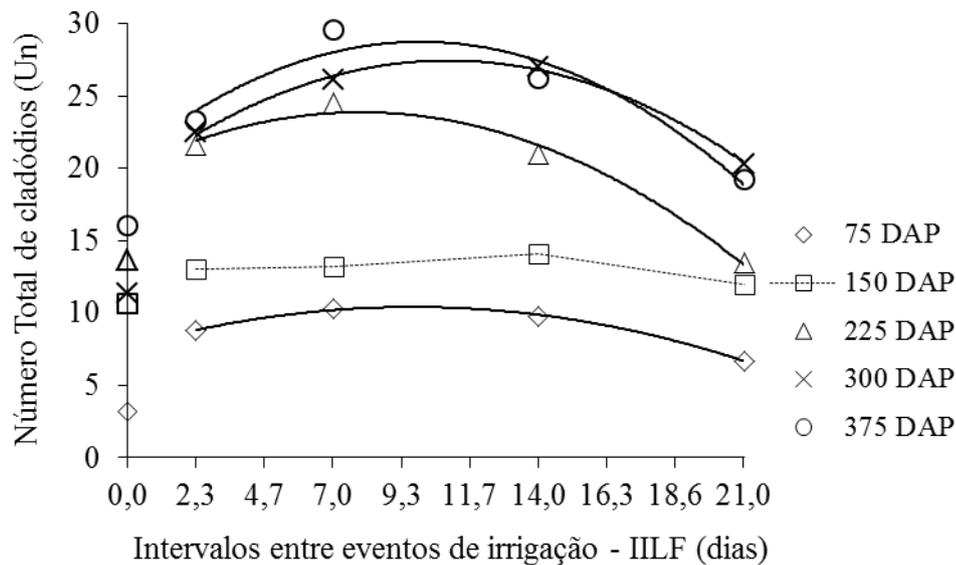
Aos 75, 225 e 375 DAP apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7 e 14 dias apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro. Mas aos 150 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Já aos 300 DAP apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro).

O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias foi o único intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa que não apresentou diferença significativa em relação à testemunha aos 75 DAP, indicando que esse intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa, menos frequente, não foi suficiente para superar o número total de cladódios

da testemunha no período seco inicial após o plantio (outubro-dezembro). Aos 150 DAP não houve diferença estatística significativa dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa em relação à testemunha, o que sugere haver nesse período influência direta das chuvas no número total de cladódios, como por exemplo, a disponibilidade de nutrientes mineralizados a partir da matéria orgânica originária da adubação de fundação quando há umidade suficiente. Já aos 225 DAP apenas também o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias não apresentou diferença significativa em relação à testemunha, indicando acontecer a mesma influência da fase inicial após o plantio, pois dias antes desta data iniciou-se o período seco do ano, com a deficiência de água influenciando o número total de cladódios em relação à testemunha em condições de sequeiro. Entretanto, aos 300 DAP apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias não apresentou diferença estatística significativa em relação à testemunha, sugerindo que o diferencial neste período, além da água disponível na fertirrigação, foi também os nutrientes presentes nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa provenientes do esgoto doméstico tratado. No segundo semestre (semestre sem chuvas) do ano houve apenas a oferta de água via fertirrigação, justificando a diminuição do número de cladódios no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias não apresentando diferença estatística significativa em relação à testemunha, pelo fato de a água ser proveniente de poço tubular artesianos. O que explica esse fenômeno é a adaptação morfo-fisiológica das plantas adaptadas ao estresse hídrico, em especial as cactáceas, que perdem suas folhas no período seco para se ajustar fisiologicamente à nova fase e a partir desta realidade iniciar o acúmulo de nutriente e água para seu crescimento dentro de uma realidade de limitação hídrica. Aos 375 DAP novamente apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias não apresentou diferença estatística significativa em relação à testemunha, demonstrando mais uma vez que os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente influenciaram no desempenho do número total de cladódios quando comparados com a testemunha nos períodos em que havia apenas a irrigação artificial.

O crescimento vegetativo está fortemente relacionado à disponibilidade de nutrientes no solo e também nos seus ciclos e ao conteúdo de água no solo, em virtude dos principais processos fisiológicos e bioquímicos dependerem de água, a exemplo da fotossíntese, respiração e transpiração. Consequentemente, o período de avaliação influenciou positivamente, ou seja, o número de cladódios por planta se elevou com o aumento do período de avaliação. Variou do menor número de cladódios com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 9,70 dias aos 75 DAP com 10,18 cladódios/planta ao maior

número de cladódios com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias aos 300 DAP com 29,11 cladódios/planta (FIGURA 17).



$$Y_{(NTF_C1)} = 7,659 + 0,569992^{ns}X - 0,029364^{ns}X^2$$

$$R^2 = 99,54$$

$$Y_{(NTF_C2)} = 13,08$$

$$R^2 = ns$$

$$Y_{(NTF_C3)} = 19,974 + 0,985833^{ns}X - 0,06207^*X^2$$

$$R^2 = 98,59$$

$$Y_{(NTF_C4)} = 3,859 + 3,8705^{**}X - 0,148304^{**}X^2$$

$$R^2 = 93,21$$

$$Y_{(NTF_C5)} = 20,669 + 1,623413^*X - 0,081409^{**}X^2$$

$$R^2 = 92,50$$

Figura 17 – Número total de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm^{-1}) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias apresentou aos 375 DAP um número total de 29,55 cladódios, diferindo estatisticamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Cunha et al., (2012) estudando a morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio encontraram valores que variavam de 27,75 a 36,08 cladódios, para ausência de adubação e para a dose de 300 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Isso se explica pelo fato de o nitrogênio ser o nutriente que estimula a divisão celular e promove o aparecimento de novos cladódios. Dubeux Júnior et al. (2010) não verificaram efeito significativo da adubação fosfatada e potássica no número de cladódios de palma forrageira. Silva et al. (2015) relataram que o reduzido número de cladódios da cultivar orelha de elefante mexicana pode estar relacionado ao hábito de crescimento ereto e semiaberto, estes favorecem a emissão da maioria dos cladódios no ápice do cladódio ‘mãe’ dificultando a emissão de cladódios laterais, reduzindo assim o número de cladódios por planta. Resultados estes condizentes com os observados por Nascimento et al. (2011)

estudando a caracterização morfométrica de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada.

O excesso de chuvas e as irrigações no primeiro semestre do ano, aliado a quantidade de matéria orgânica com alta relação C/N, juntamente com o mau crescimento das raízes, provocaram queda nos cladódios com maior intensidade nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de maior frequência, especialmente nos períodos após as chuvas. A adubação orgânica e mineral de fundação em demasia com excesso de nutrientes, mesmo que indisponível no primeiro momento, e as chuvas bem distribuídas para o primeiro semestre, juntamente com a oferta de água via fertirrigação, podem explicar uma tendência ao menor desempenho do número total de cladódios em todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, estudados em relação à testemunha aos 150 DAP. Silva et al. (2015), estudando o crescimento da palma forrageira com e sem adubação, concluíram que a adubação isolada influenciou o número de cladódios a partir dos 60 dias após o plantio. Este fato pode ter ocorrido devido ao processo de mineralização dos nutrientes minerais durarem alguns dias, é provável que as plantas só tenham se utilizado dos fertilizantes quando iniciaram a atividade fotossintética (SANTOS et al., 2010). Souza (2015), avaliando o efeito de diferentes níveis de adubação orgânica e mineral em duas frequências de colheita na palma Miúda, verificou que o número de cladódios por planta aumentou à medida que se elevou o nível da adubação orgânica, até atingir o ponto de máxima resposta com 24,56 e 27,74 t de MO ha⁻¹ ano⁻¹ e emissão de 20,39 e 36,63 cladódios, nas colheitas anuais e bienais, respectivamente.

O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias proporcionou o menor número total de cladódios aos 375 DAP, não havendo diferença estatística em relação à testemunha. Todavia, os valores médios obtidos para número de cladódios totais médios (19,24 cladódios/planta), mostraram-se superiores aos relatos de cultivos sob condições de sequeiro.

5.1.2.1 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre o número total de cladódios aos 375 DAP.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve apenas interação significativa a $P < 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) na produção de palma

forrageira aos 375 DAP. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado (TABELA 13).

Na densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias apresentou diferença estatística significativa ($P>0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro, indicando que esse intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente e irrigado com esgoto doméstico tratado foi o único a apresentar condições de umidade que o diferenciasses da testemunha. E na densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias apresentaram diferença estatística significativa ($P>0,05$) em relação à testemunha. Mas na densidade de plantio de 66.667 plantas por hectare apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram diferença significativa ($P>0,05$) em relação à testemunha.

O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias foi o único a apresentar diferença estatística significativa em relação à testemunha na densidade de plantio de 33.333 plantas por ha, indicando que esse intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente e fertirrigado com esgoto doméstico tratado foi o único a apresentar condições de umidade e nutrientes suficientes para influenciar o número total de cladódios aos 375 DAP.

Já na densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias apresentaram diferença estatística significativa em relação à testemunha, sugerindo que nestes intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa as plantas aproveitaram mais e melhor o solo do ponto de vista físico e químico devido ao adensamento.

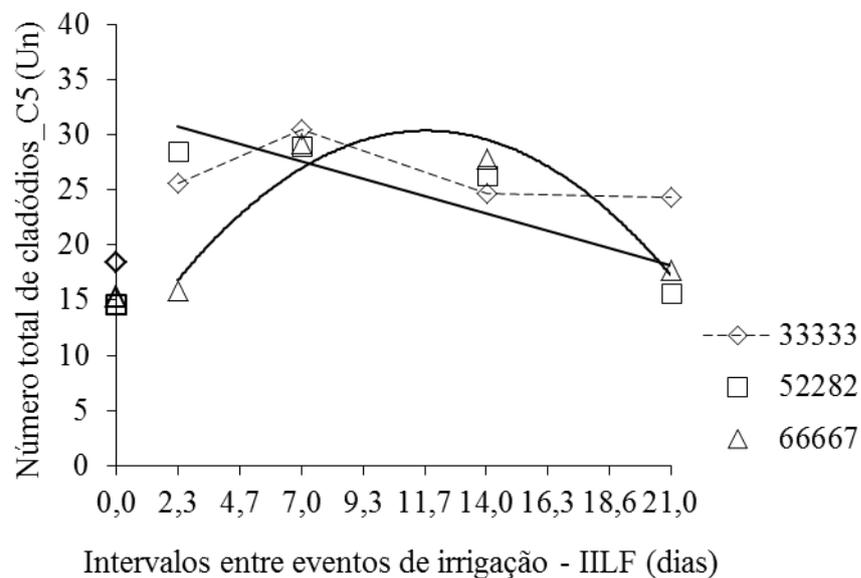
Tabela 13 – Teste de Dunnet Resumo da análise de variância e médias para o número total de cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio.

IILF (3,5 mm p/ evento)	NC_TOT_C5		
	33.333	52.282	66.667
2,3	25,67 ^{ns}	28,50 ⁺	15,83 ^{ns}
7	30,46 ⁺	29,00 ⁺	29,19 ⁺
14	24,63 ^{ns}	26,29 ^{ns}	27,79 ⁺
21	24,38 ^{ns}	15,63 ^{ns}	17,71 ^{ns}
Sequeiro	18,42	14,56	15,31
DMS	8,960		

Porém na densidade de plantio de 66.667 plantas por há, apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram diferença estatística

significativa em relação à testemunha, sugerindo novamente que os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de maior frequência e fertirrigados com esgoto doméstico tratado, apresentaram condições de umidade e nutrientes ideais para influenciar o número total de cladódios. Ou seja, houve um melhor aproveitamento do solo e dos nutrientes pelas plantas na maior densidade de plantio para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias fertirrigados com esgoto doméstico tratado.

Na densidade de plantio de 33.333 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o número total de cladódios em 26,28 cladódios planta⁻¹. Na densidade de plantio de 52.282 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com número total de cladódios de 27,62 cladódios planta⁻¹. Já na densidade de plantio de 66.667 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 11,72 dias com número total de cladódios de 30,37 cladódios planta⁻¹ (FIGURA 18).



$$Y_{(NTFC5_D33)} = 26,28$$

$$R^2 = \text{ns}$$

$$Y_{(NTFC5_D50)} = 32,394302 - 0,680402^{**}X$$

$$R^2 = 78,71$$

$$Y_{(NTFC5_D66)} = 9,282109 + 3,599954^{ns}X - 0,153587^{**}X^2$$

$$R^2 = 93,23$$

Figura 18 – Número total de cladódios da palma forrageira nas densidades estudadas aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Na última coleta das medidas morfométricas aos 375 DAP utilizando como parâmetro o número total de cladódios, percebeu-se que na menor densidade de plantio (33.333) e maior frequência de irrigação com esgoto doméstico tratado contendo nutrientes, obteve-se o melhor desempenho em relação à testemunha em condições de sequeiro. Ao aumentar a densidade de plantio para a densidade intermediária (52.282), conclui-se que as maiores frequências de irrigação com água proveniente de poço artesiano tubular e esgoto doméstico tratado foram superiores à testemunha em condições de sequeiro. Entretanto, no plantio mais adensado do experimento (66.667), os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de mais frequência, fertirrigados com esgoto doméstico tratado obtiveram maior desempenho em relação à testemunha em condições de sequeiro. Isso demonstra que os fatores mais influentes na relação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e densidade de plantio são: aproveitamento do espaçamento, luz solar, água e nutrientes nos espaçamentos mais adensados. Com isso, sugere-se haver cuidados especiais na fertilidade do solo com a utilização de espaçamentos mais adensados, sabendo que a palma forrageira é boa exportadora de nutrientes.

5.1.3 Comprimento de cladódios de palma forrageira.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) no comprimento dos cladódios de palma forrageira. Assim como, não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ (TABELA 14).

No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para comprimento dos cladódios aos 75 DAP. Como também, houve efeito significativo a $P < 0,05$ aos 300 DAP. Mas não houve efeito significativo a $P > 0,05$ aos 150, 225 e 375 DAP.

Pode-se verificar que o comprimento dos cladódios (CC) aos 75 DAP na palma forrageira orelha de elefante mexicana se ajustou a um modelo de regressão linear decrescente a $P < 0,01$. E aos 150 e 300 DAP se ajustou ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,01$. Mas aos 225 e 375 DAP não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de

esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta (FIGURA 19).

Aos 75 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com o comprimento do cladódio de 26,28 cm, respectivamente. Aos 150 e 225 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 11,82 e 11,09 dias com os comprimentos dos cladódios de 26,80 e 29,51 cm, respectivamente. Já aos 300 e 375 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram e nenhum modelo de regressão testado, ficando com suas médias com 30,60 e 30,61 cm, respectivamente, de comprimento de cladódios (FIGURA 19).

Aos 75 DAP todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro. Ao contrário, aos 150, 300 e 375 DAP todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença estatística significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha. Mas já aos 225 DAP apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram diferença significativa $P > 0,05$ em relação à testemunha (TABELA 14).

Todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 75 DAP apresentaram diferença estatística significativa com a testemunha, demonstrado que na fase inicial do crescimento da palma forrageira houve maior alongamento no comprimento dos cladódios, chegando a mais de dois terços dos valores do comprimento final aos 375 DAP. Do contrário, todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 150, 300 e 375 DAP não apresentaram diferença estatística significativa em relação à testemunha em condições de sequeiro, demonstrando que as fases de crescimento submetidas aos rigores do clima (chuvas, evapotranspiração e luminosidade) e manejo (fertirrigação) não foram suficientes para influenciar o comprimento do cladódio dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa em relação à testemunha. Entretanto, aos 225 DAP somente os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram diferença estatística significativa em relação à testemunha (sequeiro), justamente no período posterior as chuvas, quando ocorreu diminuição do crescimento da planta e queda dos cladódios, conseqüentemente, redução do comprimento dos cladódios. Há de se inferir que o alongamento dos cladódios ocorreu nos primeiros meses após o plantio e que as condições de

umidade natural provocadas pelo período chuvoso nas condições do experimento foram suficientes para provocar um considerável alongamento dos cladódios na fase inicial e depois, praticamente com exceção dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias aos 225 DAP, se manterem sem haver diferença significativa de acordo com o crescimento nas demais fases em relação à testemunha em condições de sequeiro.

Tabela 14 – Resumo da análise de variância e médias para comprimento dos cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹				
		CC_CL_C1	CC_CL_C2	CC_CL_C3	CC_CL_C4	CC_CL_C5
Blocos	3	4,6302 ^{ns}	3,2871 ^{ns}	5,1625 ^{ns}	5,1625 ^{ns}	5,1625 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	165,4556 ^{**}	19,7973 ^{ns}	33,8893 ^{ns}	33,8893 [*]	33,8893 ^{ns}
Contraste	1	500,2593 ^{**}	3,8557 ^{ns}	55,4977 [*]	55,4977 ^{ns}	55,4977 ^{ns}
Regressão Linear	1	127,2036 ^{**}	0,0854 ^{ns}	14,5027 ^{ns}	14,5027 ^{ns}	14,5027 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	28,8482 ^{ns}	74,7653 ^{**}	50,6750 ^{ns}	50,6750 ^{**}	50,6750 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	5,5114 ^{ns}	0,4827 ^{ns}	14,8819 ^{ns}	14,8819 ^{ns}	14,8819 ^{ns}
Resíduo (a)	12	9,6387	7,7645	10,9204	10,9204	10,9204
Densidade de Plantio (DP)	2	1,8642 ^{ns}	0,8245 ^{ns}	2,0305 ^{ns}	2,0305 ^{ns}	2,0305 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	4,9210 ^{ns}	8,8275 ^{ns}	15,5525 ^{ns}	15,5525 ^{ns}	15,5525 ^{ns}
Resíduo (b)	30	3,5264	4,3850	6,9269	6,9269	6,9269
CV 1		13,6	9,6	10,9	10,9	10,9
CV 2		8,2	7,2	8,7	8,7	8,7

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²				
	CC_CL_C1	CC_CL_C2	CC_CL_C3	CC_CL_C4	CC_CL_C5
33.333	22,95 a	29,11 a	30,23 a	28,59 a	30,22 a
52.282	22,46 a	28,73 a	30,38 a	28,10 a	30,62 a
66.667	23,03 a	28,80 a	29,77 a	28,26 a	30,11 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ³				
	CC_CL_C1	CC_CL_C2	CC_CL_C3	CC_CL_C4	CC_CL_C5
2,3	25,26 ⁺	27,61 ^{ns}	29,87 ^{ns}	27,31 ^{ns}	30,78 ^{ns}
7	26,27 ⁺	30,07 ^{ns}	32,50 ⁺	29,89 ^{ns}	31,53 ^{ns}
14	24,14 ⁺	30,43 ^{ns}	30,98 ⁺	28,69 ^{ns}	30,95 ^{ns}
21	21,36 ⁺	27,92 ^{ns}	29,06 ^{ns}	27,35 ^{ns}	29,18 ^{ns}
Sequeiro (testemunha)	17,04	28,37	28,20	28,35	29,14
DMS	3,56	3,19	3,79	2,07	2,55

¹ – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

² – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

³ – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

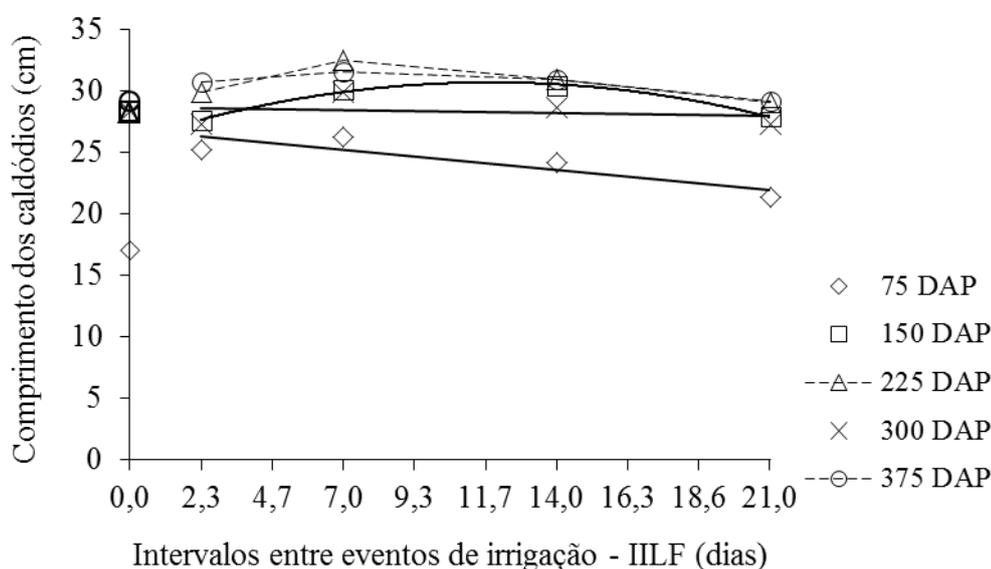
O comprimento médio dos cladódios das plantas de palma forrageira está relacionado diretamente com a disponibilidade de água e nutrientes, que são influenciados pela interceptação luminosa utilizada pela planta para a fotossíntese, cujo desempenho é afetado pelo espaçamento e densidade de plantio. O adensamento fez com que as plantas emitissem brotos verticais, uma vez que não houve espaço para que estes fossem emitidos lateralmente. Por outro lado, os cladódios não conseguiram se desenvolver devido à sobreposição. Como a planta tem a necessidade de crescer, acaba emitindo novos cladódios, sempre orientados verticalmente. Portanto, o tamanho e o número de cladódios por planta diminuiu, por passar a emití-los apenas na vertical. Corroborando com essa linha de conclusão, Cavalcante (2014) concluiu que houve uma redução no comprimento dos cladódios com o aumento da densidade de plantio. A maior população de plantas eleva a competitividade por nutrientes e interceptação luminosa. Já Silva (2014), encontrou resposta linear negativa ao aumento das densidades de plantio no cultivo de palma forrageira para o comprimento médio dos cladódios. O autor verificou que o comprimento dos cladódios varia de 31,9 a 27,6 cm na palma forrageira gigante, 27,1 a 24,2 cm na palma redonda e de 22,1 a 19,3 cm na palma miúda, respectivamente, da menor para a maior densidade de plantio.

No entanto, contrariando os estudos acima citados, este experimento não apresentou diferença significativa entre as densidades de plantio, ou seja, não houve diferença significativa entre as densidades estudadas no comprimento médio dos cladódios com o aumento da densidade de plantio. Entretanto, só houve diferença significativa em todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 75 DAP e exceção nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias aos 225 DAP, sendo estes influenciados pelo ajuste fisiológico das plantas como resposta ao início do período seco do ano (sem chuvas). O que pode também explicar este fenômeno é o excesso de adubação orgânica e mineral na fundação, aliado ao excesso de água das chuvas e de irrigação no primeiro semestre do ano. O mesmo resultado acontece aos 300 DAP com a resposta fisiológica das plantas a tendência para perda de cladódios em relação à fase anterior (225 DAP), cuja consequência foi à diminuição das dimensões dos cladódios por conta da diminuição da oferta de água, dentre eles, a redução do comprimento médio.

Aos 75 e 150 DAP o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias apresentou um comprimento médio de cladódio de 26,28 cm⁻¹ e 27,61 cm⁻¹, respectivamente. Média superior à encontrada por Silva et al. (2015), estudando o comprimento dos cladódios das três cultivares gigante, sertânia e orelha de elefante estudadas aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio, que observaram que as três cultivares tiveram médias muito próximas,

contudo a cultivar IPA – sertânia (baiana) foi a que evidenciou maiores médias, obtendo aos 150 DAP 24 cm de comprimento do cladódio. A cultivar orelha de elefante evidenciou um comprimento médio de cladódios aos 30, 60 e 150 DAP de 5,85, 19,87 e 21 cm⁻¹, respectivamente.

Aos 225 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias apresentaram comprimento médio de cladódio de 29,87, 32,50, 30,98, 29,06 cm⁻¹, respectivamente. As médias deste estudo foram superiores as médias encontradas por Oliveira Júnior et al., (2009) aos 210 DAP, que verificaram média do comprimento de 25,8 cm⁻¹, para a cultivar italiana.



$$Y_{(CC,C1)} = 26,808 - 0,230139^{**} X \quad R^2 = 78,73$$

$$Y_{(CC,C2)} = 26,011 + 0,793398^{*} X - 0,033547^{*} X^2 \quad R^2 = 99,36$$

$$Y_{(CC,C3)} = 30,60 \quad R^2 = \text{ns}$$

$$Y_{(CC,C4)} = 26,546 + 0,53442^{**} X - 0,024075^{**} X^2 \quad R^2 = 74,65$$

$$Y_{(CC,C5)} = 30,61 \quad R^2 = \text{ns}$$

Figura 19 – Comprimento de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm⁻¹) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa(3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com água de abastecimento oriunda de poço artesiano também reforça o argumento do excesso de água e de nutrientes no primeiro semestre, assim como na adaptação morfofisiológica da planta no segundo semestre com a queda dos cladódios e consequentemente redução das suas dimensões, em especial, o comprimento dos mesmos. Aos 150 DAP o referido intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa proporcionou um comprimento médio de cladódio de 27,61 cm⁻¹, e 150 dias após esse período de avaliação, diminuiu o comprimento médio de cladódio da avaliação seguinte aos 300 DAP, cujo comprimento médio dos cladódios foi de

27,31 cm⁻¹, menor que a avaliação anterior, apesar de não apresentar diferença estatística significativa. No entanto, com o decorrer do tempo ou o período de avaliação o comprimento de cladódio deveria aumentar e não diminuir conforme aconteceu.

5.1.4 Largura dos cladódios da palma forrageira.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) na largura dos cladódios de palma forrageira. Assim como, não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ (TABELA 15).

No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para a largura dos cladódios aos 75 e 225 DAP. Como também houve efeito significativo a $P < 0,05$ aos 150 DAP, mas não houve efeito significativo a $P > 0,05$ aos 300 e 375 DAP.

Pode-se verificar que a largura dos cladódios (LC) aos 150 e 225 DAP na palma forrageira orelha de elefante mexicana, se ajustou a um modelo de regressão quadrático ($P < 0,01$), mas não se ajustou aos 75, 300 e 375 DAP a nenhum modelo de regressão testado, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta (FIGURA 20).

Aos 75, 300 e 375 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, ficando suas médias com 16,49, 19,88 e 21,79 cm de largura de cladódios, respectivamente. Aos 150 e 225 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 12,61 e 14,59 dias com larguras de cladódios de 20,97 e 21,26 cm, respectivamente.

Aos 75 DAP todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro. Aos 150, 300 e 375 DAP todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Apenas aos 225 DAP somente o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14

dias apresentou diferença significativa a $P>0,05$ em relação à testemunha (sequeiro), embora essa diferença seja mínima.

Tabela 15 – Resumo da análise de variância e médias para largura dos cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹				
		L_CL_C1	L_CL_C2	L_CL_C3	L_CL_C4	L_CL_C5
Blocos	3	3,2990 ^{ns}	1,5245 ^{ns}	2,1565 ^{ns}	4,5365 ^{ns}	35,6639 ^{ns}
III F (3,5 mm p/ evento)	(4)	42,9389 ^{**}	16,3616 [*]	10,0776 ^{**}	5,2550 ^{ns}	54,1612 ^{ns}
Contraste	1	149,1053 ^{**}	3,9912 ^{ns}	5,4752 ^{ns}	0,0372 ^{ns}	20,1376 ^{ns}
Regressão Linear	1	2,0566 ^{ns}	5,8089 ^{ns}	18,6761 ^{**}	4,0534 ^{ns}	5,4868 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	20,5894 ^{ns}	52,2344 ^{**}	15,8018 ^{**}	10,0647 ^{ns}	79,4671 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	0,0044 ^{ns}	3,4119 ^{ns}	0,3573 ^{ns}	6,8647 ^{ns}	111,5535 ^{ns}
Resíduo (a)	12	6,2011	4,1907	1,4345	2,1987	54,9966
Densidade de Plantio (DP)	2	0,8523 ^{ns}	7,1704 ^{ns}	1,3307 ^{ns}	3,7731 ^{ns}	26,9291 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	1,9210 ^{ns}	3,6231 ^{ns}	3,7078 ^{ns}	3,6122 ^{ns}	19,5677 ^{ns}
Resíduo (b)	30	2,1858	3,1754	3,4971	2,7285	18,6774
CV 1		15,8	10,4	5,9	7,4	34,4
CV 2		9,4	9,0	9,2	8,3	20,1

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²				
	L_CL_C1	L_CL_C2	L_CL_C3	L_CL_C4	L_CL_C5
33.333	15,53 a	19,20 a	19,86 a	20,00 a	20,18 a
52.282	15,65 a	19,39 a	20,35 a	19,38 a	22,32 a
66.667	15,93 a	20,32 a	20,24 a	20,21 a	22,01 a

¹ **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

² Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

III F (3,5 mm p/ evento)	Médias ³				
	L_CL_C1	L_CL_C2	L_CL_C3	L_CL_C4	L_CL_C5
2,3	16,09 ⁺	17,83 ^{ns}	18,89 ^{ns}	18,80 ^{ns}	19,91 ^{ns}
7	17,09 ⁺	20,48 ^{ns}	20,50 ^{ns}	20,60 ^{ns}	25,17 ^{ns}
14	17,22 ⁺	20,61 ^{ns}	21,16 ⁺	20,12 ^{ns}	21,46 ^{ns}
21	15,58 ⁺	19,10 ^{ns}	20,66 ^{ns}	19,99 ^{ns}	20,65 ^{ns}
Sequeiro (testemunha)	12,55	20,15	19,55	19,82	20,35
DMS	2,85	2,34	1,37	1,70	8,50

¹ **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente. 20,92-18,18

² – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

³ – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 75 DAP apresentaram diferença estatística significativa em relação à testemunha em condições de sequeiro, demonstrando haver uma relação direta da largura com o comprimento do cladódio

no que diz respeito à marcha de crescimento, visto que há na fase inicial da palma forrageira um considerável crescimento com alongamento longitudinal e perpendicular do cladódio de forma semelhante, o que já não acontece nas outras fases estudadas. Do contrário, praticamente todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 150, 225, 300 e 375 dias não apresentaram diferença estatística significativa em relação à testemunha em condições de sequeiro, com exceção do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias aos 225 DAP, demonstrando que esse crescimento inicial, ocorrido com o período chuvoso do ano, perfaz mais de 80 % do crescimento em relação à última fase de coleta aos 375 DAP. Há de se deduzir que o crescimento mais significativo do cladódio ocorre nos primeiros meses após o plantio e que quando coincide com o período chuvoso, conforme aconteceu no experimento, haverá pouco crescimento nas fases seguintes de avaliação, não havendo diferença dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa em relação à testemunha em condições de sequeiro, assim como em relação ao intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa irrigado com água de abastecimento de poço artesiano tubular em condições de irrigação plena (capacidade de campo).

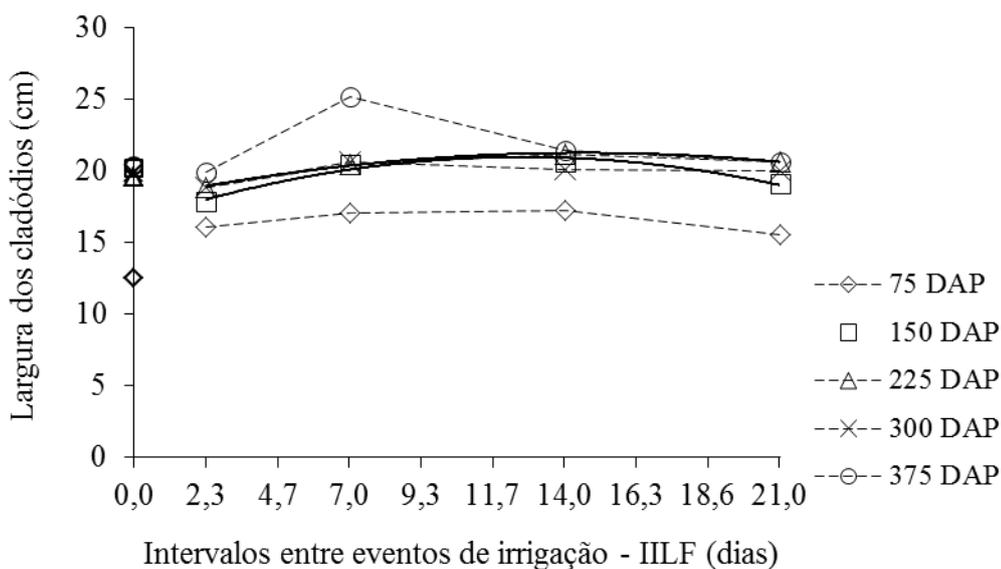
O excesso de água das chuvas e das frequências de irrigação no primeiro semestre do ano fez com que os melhores desempenhos ocorressem depois da mineralização da matéria orgânica e tendessem para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequentes irrigados com esgoto doméstico tratado (7 e 14 dias), a exemplo do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias que apresentou a maior largura de cladódios nas primeiras três fases que foram aos 75, 150 e 225 DAP com 17,22, 20,61 e 21,16 cm⁻¹, respectivamente, e do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias que apresentou a maior largura de cladódios nas duas últimas fases que foram aos 300 e 375 DAP (FIGURA 20).

Silva et al. (2015), estudando a largura e o perímetro dos cladódios de palma das três cultivares estudadas (IPA-sertânia (baiana), miúda e orelha de elefante) em função do tempo, obtiveram a cultivar com maior crescimento da largura dos cladódios a orelha de elefante ao longo dos dias, sendo a maior média de 16,8 cm, diferindo das demais cultivares que obtiveram médias de 12 e 10 cm, respectivamente para a IPA-sertânia (baiana) e a miúda. Esta diferença está associada à anatomia da cultivar orelha de elefante que proporciona maior crescimento em largura quando comparada as demais cultivares estudadas.

Por isso, entende-se não haver diferença estatística entre as densidades de plantio para todas as fases analisadas para a cultivar orelha de elefante utilizada no experimento. Contrariando este estudo, Silva (2014), afirma que a densidade de plantio proporcionou

redução significativa na largura média dos cladódios, que responderam de forma linear negativa a aumento da densidade de plantas, reduzindo aproximadamente 10,1 % da menor para a maior densidade de plantio.

Na mesma linha da explicação acima, há no segundo semestre apenas o fornecimento de água via fertirrigação com intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa fornecendo nutrientes prontamente mineralizados e disponíveis. Por isso, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias, e não o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias, proporcionou uma maior largura de cladódios nas fases finais aos 300 e 375 DAP com 20,60 e 25,17 cm^{-1} , respectivamente, em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, mesmo não havendo diferença estatística significativa. SALES et al., (2013), em experimento realizado em Soledade (PB), com palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), em função do espaçamento e doses de fósforo, obtiveram o valor médio de largura de cladódios de 16,03 cm, aos 360 DAP, valores bem abaixo aos encontrados neste experimento.



$$Y_{(LC,C1)} = 16,49$$

$$Y_{(LC,C2)} = 16,511 + 0,707357^{**}X - 0,02804^{**}X^2$$

$$Y_{(LC,C3)} = 17,978 + 0,450191^{**}X - 0,015422^{**}X^2$$

$$Y_{(LC,C4)} = 19,88$$

$$Y_{(LC,C5)} = 21,79$$

$$R^2 = \text{ns}$$

$$R^2 = 94,45$$

$$R^2 = 98,97$$

$$R^2 = \text{ns}$$

$$R^2 = \text{ns}$$

Figura 20 – Largura de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm^{-1}) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Com exceção da primeira fase (75 DAP) de avaliação, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias proporcionou a menor largura de cladódios, apesar de que em algumas dessas fases não apresentou diferença significativa em relação a alguns

intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. É importante salientar que esse tratamento é irrigado com água de abastecimento de poço tubular artesiano sem os nutrientes dos demais tratamentos originário do esgoto doméstico tratado. As prováveis explicações para a baixa influência deste tratamento testemunha na largura média dos cladódios de palma nos dois semestres do ano são: o excesso de água da chuva e da fertirrigação com água de abastecimento com limitação de nutrientes no primeiro e no segundo semestre do ano; aliado ao hábito de crescimento ereto ou na vertical da variedade orelha de elefante mexicana, também influenciada pela alta densidade de plantio, proporcionando um crescimento maior no sentido do comprimento em detrimento do crescimento lateral, ou seja, do crescimento no sentido da largura do cladódio.

Por outro lado, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias se constitui na menor frequência de aplicação da fertirrigação com esgoto doméstico tratado, por isso, aos 75 DAP apresentou a menor largura dos cladódios com $15,58 \text{ cm}^{-1}$, havendo diferença estatística significativa dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Jesus et al. (2011), avaliando clones de palma forrageira sob diferentes adubações aos 180 DAP, observaram valores de largura média de cladódios (LC) para a palma gigante de $12,26 \text{ cm}^{-1}$. Já Silva et al. (2015), estudando o crescimento da palma forrageira orelha de elefante, Sertânia e miúda, constataram que a largura do cladódio foi a variável que diferiu estatisticamente, ao nível de 5% pelo teste de tukey aos 60 DAP, sendo a cultivar orelha de elefante mexicana a que evidenciou maior média, correspondendo a $14,32 \text{ cm}^{-1}$, abaixo dos valores encontrados neste experimento.

No entanto, quando a matéria orgânica aplicada na fundação e na fertirrigação começou a mineralizar, aumentou o desempenho deste intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa que ultrapassou o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias aos 150 DAP com $19,10 \text{ cm}^{-1}$ contra $17,83 \text{ cm}^{-1}$, apesar de não haver diferença estatística significativa. SALES et al., (2013), estudando o crescimento da palma forrageira (*Opuntia ficus – indica* Mill.) em função de diferentes densidades de plantio em experimento realizado em Soledade – PB, encontraram resultados com valores médios de largura de cladódios de $12,5 \text{ cm}^{-1}$ aos 120 DAP, abaixo dos dados obtidos neste experimento.

Com o excesso de nutriente aplicado em fundação e das chuvas no primeiro semestre fica evidente o melhor desempenho do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias, visto que sua frequência de fertirrigação é mais espaçada, diminuindo dentre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a pressão do excesso de água sobre o crescimento das plantas, em especial da largura dos cladódios no primeiro semestre do ano. Já

no segundo semestre do ano o desempenho observado diz respeito aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a quantidade de nutrientes aplicados em cada um deles. O que justifica a diminuição da largura do cladódio aos 300 DAP quando comparado com o mesmo intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa na avaliação anterior aos 225 DAP, apesar de não haver diferença estatística significativa.

5.1.5 Espessura das folhas da palma forrageira.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) na espessura dos cladódios de palma forrageira. Assim como, não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ (TABELA 16).

No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para a espessura dos cladódios aos 75 e 300 DAP. Como também houve efeito significativo a $P < 0,05$ aos 375 DAP, mas não houve efeito significativo a $P > 0,05$ aos 150 e 225 DAP.

Pode-se verificar que a espessura dos cladódios (EC) aos 75, 225 e 375 DAP na palma forrageira orelha de elefante mexicana se ajustou ao modelo de regressão linear decrescente a $P < 0,05$ e aos 300 DAP se ajustou ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,05$, sendo que aos 150 DAP não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta (FIGURA 21).

Aos 75, 225 e 375 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com larguras de cladódios de 1,19, 1,70 e 1,75 mm, respectivamente. Aos 150 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, ficando sua média com 1,52 mm. Entretanto, aos 300 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 17,83 dias com espessura de cladódios de 1,11 mm.

Aos 75 DAP apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias apresentaram diferença significativa a $P>0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro. Aos 150 e 225 DAP todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença significativa a $P<0,05$ em relação à testemunha (sequeiro).

Tabela 16 – Resumo da análise de variância e médias para espessura dos cladódios de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹				
		ES_CL_C1	ES_CL_C2	ES_C_C3	ES_CL_C4	ES_C_C5
Blocos	3	0,0901 ^{ns}	0,0832 ^{ns}	0,1022 ^{ns}	0,1068 ^{ns}	0,0375 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	0,5038 ^{**}	0,1146 ^{ns}	0,1610 ^{ns}	2,1798 ^{**}	1,0163 [*]
Contraste	1	0,8628 ^{**}	0,2646 [*]	0,0212 ^{ns}	2,7842 ^{**}	0,7392 ^{ns}
Regressão Linear	1	0,9736 ^{**}	0,1835 ^{ns}	0,6065 ^{**}	4,0129 ^{**}	3,1060 ^{**}
Regressão Quadrática	1	0,0026 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0163 ^{ns}	0,7458 [*]	0,0097 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	0,1762 ^{ns}	0,0102 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	1,1764 ^{**}	0,2101 ^{ns}
Resíduo (a)	12	0,0470	0,0459	0,0648	0,1021	0,2062
Densidade de Plantio (DP)	2	0,0186 ^{ns}	0,0357 ^{ns}	0,0380 ^{ns}	0,0146 ^{ns}	0,0654 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	0,0118 ^{ns}	0,0506 ^{ns}	0,0467 ^{ns}	0,0578 ^{ns}	0,1056 ^{ns}
Resíduo (b)	30	0,0132	0,0323	0,0264	0,1161	0,0889
CV 1		22,7	14,4	16,3	24,0	32,9
CV 2		12,0	12,1	10,4	25,6	21,6

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²				
	ES_CL_C1	ES_CL_C2	ES_C_C3	ES_CL_C4	ES_C_C5
33.333	0,99 a	1,49 a	1,56 a	1,33 a	1,39 a
52.282	0,93 a	1,53 a	1,59 a	1,30 a	1,32 a
66.667	0,95 a	1,44 a	1,51 a	1,35 a	1,43 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ³				
	ES_CL_C1	ES_CL_C2	ES_C_C3	ES_CL_C4	ES_C_C5
2,3	1,16 ⁺	1,59 ^{ns}	1,72 ^{ns}	1,82 ⁺	1,78 ⁺
7	1,18 ⁺	1,58 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,74 ⁺	1,50 ^{ns}
14	0,88 ^{ns}	1,48 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,43 ^{ns}
21	0,84 ^{ns}	1,44 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,04 ^{ns}
Sequeiro (testemunha)	0,71	1,35	1,52	0,90	1,16
DMS	0,24	0,24	0,29	0,36	0,52

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Já aos 300 DAP apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias apresentaram diferença significativa a $P>0,05$ em relação à testemunha (sequeiro).

Mas aos 375 DAP apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias apresentou diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro).

Ocorreu relação linear positiva de espessura do cladódio em função do tempo até os 300 DAP para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias. Dos 300 até os 375 DAP ocorreu relação linear negativa. Também ocorreu relação linear positiva de espessura do cladódio em função do tempo até os 225 DAP para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias. O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias proporcionou relação linear negativa de espessura do cladódio em função do tempo dos 300 DAP, mas foi positiva dos 300 até os 375 DAP. E o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias proporcionou relação linear positiva de espessura do cladódio em função do tempo até 225 DAP. Mas dos 300 até os 375 DAP houve relação linear negativa em função do tempo.

Neste sentido, já era esperado que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com água de abastecimento de poço artesiano tubular proporcionasse uma tendência a maior espessura dos cladódios em todas as fases analisadas, sendo que aos 75 DAP apresentou uma tendência a segunda maior espessura média dos cladódios com $1,16 \text{ cm}^{-1}$, perdendo apenas para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias com $1,18 \text{ cm}^{-1}$, apesar de não haver diferença estatística significativa, mas diferiu estatisticamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias com $0,88$ e $0,84 \text{ cm}^{-1}$, respectivamente. Silva et al. (2015), estudando três cultivares de palma forrageira, avaliaram que a cultivar orelha de elefante evidenciou menores médias de espessura do cladódio, sendo a maior média obtida aos 150 dias após o plantio correspondendo a $1,0 \text{ cm}^{-1}$, valor abaixo do menor espessura do cladódio encontrado aos 150 DAP que foi no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias com $1,44 \text{ cm}^{-1}$.

No entanto, a tendência de fato a maior espessura média dos cladódios ocorreu apenas nas últimas quatro fases (150, 225, 300 e 375 DAP), apresentado diferença estatística significativa aos 300 DAP com $1,82 \text{ cm}^{-1}$ contra os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias com $0,98 \text{ cm}^{-1}$ e 21 dias com $1,21 \text{ cm}^{-1}$, assim como, diferiu significativamente aos 375 DAP com $1,78 \text{ cm}^{-1}$ contra os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias com $1,50 \text{ cm}^{-1}$, 14 dias com $1,43 \text{ cm}^{-1}$ e 21 dias com $1,04 \text{ cm}^{-1}$. O que justifica esse desempenho são as chuvas do primeiro semestre aliado o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa com maior frequência de irrigação a cada 2,3 dias.

No segundo semestre, prevaleceu a maior frequência de irrigação, disponibilizando mais água as plantas em relação aos outros intervalos entre eventos de irrigação com lâmina

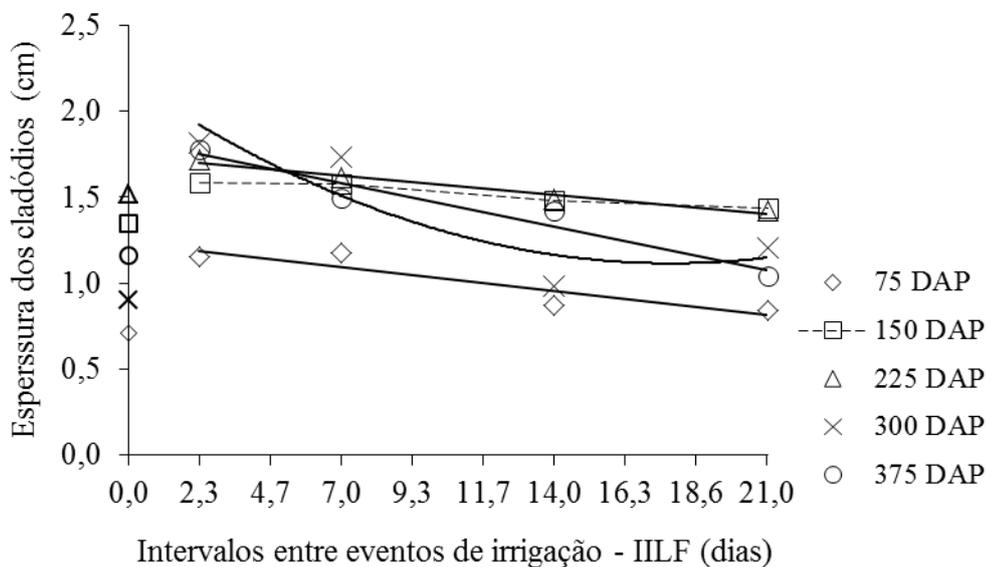
fixa menos frequentes, conseqüentemente, favoreceu uma maior espessura do cladódio. Para reforçar esse argumento, ao analisar a fase aos 300 DAP – fora do período chuvoso, em que se verifica a influência apenas da fertirrigação e a ocorrência de estresse hídrico em alguns intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, nos quais apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias não apresentaram redução da espessura do cladódio em relação à fase anterior, ou seja, aos 225 DAP. Os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 2,3, 7, 14 e 21 dias tiveram aos 225 DAP espessura média dos cladódios na seguinte ordem 1,72, 1,62, 1,49 e 1,42 cm^{-1} , respectivamente. Já aos 300 DAP os mesmos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa tiveram a seguinte ordem 1,82, 1,74, 0,98 e 1,21 cm^{-1} , respectivamente.

Corroborando com a expectativa, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias proporcionou uma tendência a segunda maior espessura dos cladódios em todas as fases analisadas, sendo que aos 75 DAP apresentou uma tendência a maior espessura média dos cladódios com 1,18 cm^{-1} , apesar de não haver diferença estatística significativa com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com 1,16 cm^{-1} , mas diferiu estatisticamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias com 0,88 e 0,84 cm^{-1} , respectivamente.

No entanto, a tendência de fato a segunda maior espessura média dos cladódios ocorreu apenas nas últimas quatro fases (150, 225, 300 e 375 DAP), apresentando diferença estatística significativa aos 300 DAP com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias com 0,98 cm^{-1} e 21 dias com 1,21 cm^{-1} . Como também apresentou diferença significativa aos 375 DAP com 1,50 cm^{-1} contra o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com 1,78 cm^{-1} .

No mesmo sentido, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias respeitaram a tendência dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa anteriormente avaliados conforme a frequência de aplicação. O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias mostrou uma tendência à terceira espessura de cladódios, enquanto o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias demonstrou uma tendência a menor espessura dos cladódios nas fases analisadas. A partir dos 225 DAP, período apenas com fertirrigação, houve uma diminuição no perímetro médio dos cladódios nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa em questão nas fases posteriores, ou seja, aos 300 e 375 DAP. Essa tendência aconteceu devido ao estresse hídrico sofrido pelas plantas, cujo intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa com maior frequência (14 dias) apresentou maior espessura média dos cladódios nas três últimas fases com 1,49, 0,98 e

1,43 cm⁻¹, respectivamente, apesar das reduções da espessura do cladódio em relação à fase imediatamente anterior (FIGURA 21).



$$Y_{(EC_C1)} = 1,236 - 0,020135^{**}X$$

$$R^2 = 84,47$$

$$Y_{(EC_C2)} = 1,52$$

$$Y_{(EC_C3)} = 1,739 - 0,015892^{*}X$$

$$R^2 = 97,36$$

$$Y_{(EC_C4)} = 2,181 - 0,119523^{**}X + 0,003351^{*}X^2$$

$$R^2 = 80,18$$

$$Y_{(EC_C5)} = 1,834 - 0,035962^{**}X$$

$$R^2 = 93,39$$

Figura 21 – Espessura de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (mm⁻¹) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

E o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias apresentou a menor espessura média dos cladódios nas três últimas fases com 1,42, 1,21 e 1,04, respectivamente, apesar também das reduções da espessura do cladódio em relação à fase imediatamente anterior. Silva et al. (2015), estudando as respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo, verificaram que a cultivar IPA-sertânia (baiana) juntamente com a miúda evidenciaram maiores rendimentos com médias de 1,47 e 1,39 cm, respectivamente. A cultivar orelha de elefante evidenciou menores médios, sendo a maior média obtida aos 150 dias após o plantio correspondendo a 1,0 cm.

Não houve diferença significativa entre as densidades de plantio dentro de cada fase de avaliação, assim como também em função do tempo. Resultado que contraria os estudos feitos por Silva et al., (2015) nos quais a espessura média dos cladódios foi influenciada pela densidade de plantio, podendo estar relacionada a uma estratégia da palma forrageira em reduzir o comprimento e a largura dos cladódios, priorizando a espessura e, conseqüentemente, o aumento da reserva de água.

5.1.6 Perímetro dos cladódios de palma forrageira.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve interação significativa a $P < 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) no perímetro dos cladódios de palma forrageira aos 150, 300 e 375 DAP. Contudo, não houve interação significativa a $P > 0,05$ aos 75 e 225 DAP. Assim como também não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ (TABELA 17).

No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para o perímetro dos cladódios aos 75 DAP. E também houve efeito significativo a $P < 0,05$ aos 225 e 300 DAP, mas não houve efeito significativo a $P > 0,05$ aos 150 e 375 DAP.

Pode-se verificar que o perímetro dos cladódios (PC) aos 75 DAP na palma forrageira orelha de elefante mexicana, se ajustou a um modelo de regressão linear decrescente a $P < 0,01$. E aos 150 e 375 DAP se ajustou ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,05$, assim como, aos 300 DAP também se ajustou ao modelo de regressão quadrático, mas a $P < 0,01$. Já aos 225 DAP não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta (FIGURA 22).

Aos 75 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com larguras de cladódios de 66,74 cm. Aos 150, 300 e 375 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 12,20, 11,65 e 10,89 cm com perímetros de cladódios de 77,72, 77,18 e 81,41 cm, respectivamente. Mas aos 225 DAP os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, ficando com sua média de 77,44 cm.

Aos 75 DAP todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro. Aos 150 e 375 DAP todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Já aos 225 DAP apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias

apresentaram diferença significativa a $P>0,05$ em relação à testemunha (sequeiro) e os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,33 e 21 dias não apresentaram diferença estatística significativa a $P>0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Mas aos 300 DAP somente o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias apresentou diferença estatística significativa a $P>0,05$ em relação à testemunha (sequeiro) e os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,33, 14 e 21 dias não apresentaram diferença estatística significativa $P>0,05$ em relação à testemunha (sequeiro).

Tabela 17 – Resumo da análise de variância e médias para o perímetro dos cladódios de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹				
		PER_FL_C1	PER_FL_C2	PER_FL_C3	PER_FL_C4	PER_FL_C5
Blocos	3	124,5753 ^{ns}	4,7220 ^{ns}	102,4926 ^{ns}	12,7828 ^{ns}	35,8712 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	899,8329 ^{**}	188,3853 [*]	183,3605 [*]	109,2052 [*]	56,6281 ^{ns}
Contraste	1	2825,6343 ^{**}	1,693440 ^{ns}	551,3995 ^{**}	65,6051 ^{ns}	49,6951 ^{ns}
Regressão Linear	1	565,8120 ^{**}	22,9135 ^{ns}	11,6991 ^{ns}	0,3393 ^{ns}	16,6216 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	202,1900 ^{ns}	717,9153 ^{**}	170,2290 ^{ns}	304,1506 ^{**}	159,9022 [*]
Desvio de Regressão	1	5,6954 ^{ns}	11,0188 ^{ns}	0,1142 ^{ns}	66,7259 ^{ns}	0,2934 ^{ns}
Resíduo (a)	12	46,1108	39,0979	38,2654	26,5272	25,8114
Densidade de Plantio (DP)	2	14,6961 ^{ns}	11,0323 ^{ns}	31,9193 ^{ns}	6,5649 ^{ns}	5,4065 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	33,0045 ^{ns}	42,5760 ^{ns}	21,8666 ^{ns}	41,9194 [*]	41,7490 [*]
Resíduo (b)	30	29,9263	31,4442	17,8581	18,0618	15,4534
CV 1		11,5	8,30	8,15	7,03	6,47
CV 2		9,2	7,45	5,57	5,80	5,01

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²				
	PER_FL_C1	PER_FL_C2	PER_FL_C3	PER_FL_C4	PER_FL_C5
33.333	58,38 a	74,55 a	74,50 a	73,28 a	78,23 a
52.282	58,75 a	75,34 a	76,91 a	72,66 a	79,10 a
66.667	60,01 a	76,03 a	76,37 a	73,81 a	78,16 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ²				
	PER_FL_C1	PER_FL_C2	PER_FL_C3	PER_FL_C4	PER_FL_C5
2,33	64,85 ⁺	70,27 ^{ns}	74,87 ^{ns}	70,54 ^{ns}	77,87 ^{ns}
7	65,51 ⁺	78,60 ^{ns}	78,65 ⁺	77,43 ⁺	80,56 ^{ns}
14	63,96 ⁺	79,83 ^{ns}	79,88 ⁺	75,44 ^{ns}	81,03 ^{ns}
21	55,59 ⁺	72,86 ^{ns}	76,36 ^{ns}	71,69 ^{ns}	76,37 ^{ns}
Sequeiro (testemunha)	45,32	74,97	69,86	71,16	76,68
DMS	7,78	12,42	7,09	5,90	8,50

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

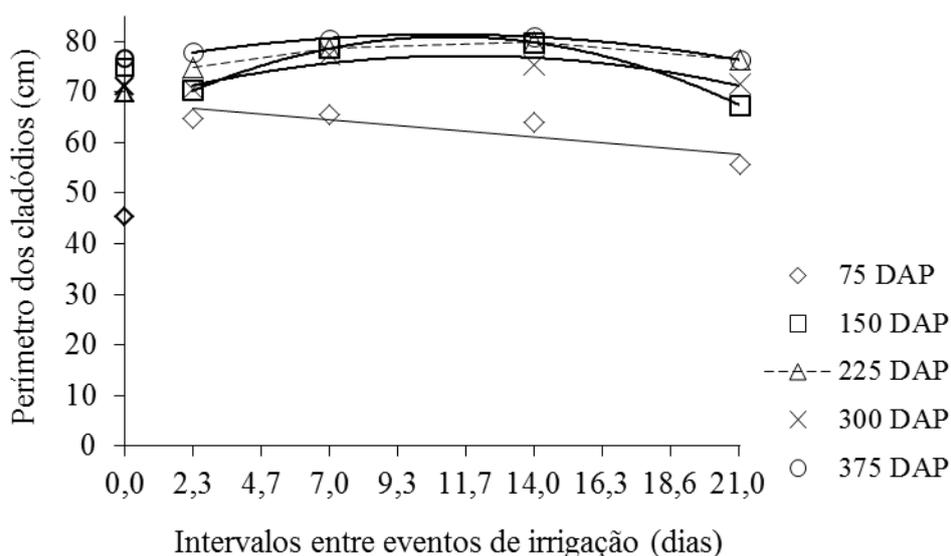
3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Era de se esperar que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias apresentasse maior perímetro médio dos cladódios em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa por ser o único turno na capacidade de campo, sendo os demais abaixo desse valor. No entanto, já aos 75 DAP o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias apresentou perímetro médio de $64,85 \text{ cm}^{-1}$, menor que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa 7 dias com $65,51 \text{ cm}^{-1}$ que apresentou uma tendência ao maior perímetro médio dos cladódios, apesar de não haver diferença estatística significativa (FIGURA 22). Isso se explica devido ao intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias ser de água de abastecimento de poço tubular artesiano que abastece a agrovila, enquanto, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias teve como origem o esgoto doméstico tratado com nutrientes disponíveis. Os nutrientes do esgoto doméstico tratado estão disponíveis porque estão mineralizados, enquanto a água de abastecimento tem nutrientes em pequenas quantidades, assim, apesar de sua frequência de irrigação ser maior, não houve tempo e nem foi eficiente suficiente para mineralizar a matéria orgânica utilizada na adubação de fundação, e, dessa forma, ser utilizada pelas plantas para o crescimento. O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias apresentou diferença estatística significativa aos 150 DAP com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias com $63,96$ e $55,59 \text{ cm}^{-1}$, respectivamente. Silva et al. (2015) verificaram que as cultivares orelha de elefante e IPA – sertânia (baiana) tiveram o mesmo comportamento, correspondendo à média de 57 e 54 cm^{-1} , respectivamente, aos 150 DAP, já a cultivar miúda obteve perímetro inferior às demais cultivares estudadas, valor menor ao apresentado neste estudo aos 75 DAP com o menor perímetro médio de cladódio proporcionado pelo intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias.

Nos demais dias após o plantio (150, 225, 300 e 375 DAP) o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias, juntamente com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias tiveram os menores perímetros médios dos cladódios, tendo aos 150 DAP $70,27$ e $72,86 \text{ cm}^{-1}$, respectivamente, e aos 375 DAP $77,87$ e $76,37 \text{ cm}^{-1}$, respectivamente. Oliveira Júnior et al. (2009) encontraram média para o perímetro de $60,42 \text{ cm}^{-1}$ aos 270 dias após o plantio cultivar Italiana, resultado semelhante ao encontrado nesta pesquisa mesmo utilizando cultivares diferentes.

O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias apresentou uma tendência ao maior perímetro médio dos cladódios em três fases analisadas (150, 225 e 375 DAP), apesar de apresentar diferença estatística significativa juntamente com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias em relação aos demais intervalos entre eventos

de irrigação com lâmina fixa somente aos 225 DAP, tendo os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 2,3, 7, 14 e 21 dias o perímetro médio medindo 74,87, 78,65, 79,88 e 76,36 cm⁻¹, respectivamente. O que pode explicar essa superioridade aos 150 e 225 DAP é a alta relação C/N do adubo orgânico aplicado em fundação, favorecendo um crescimento microbiano mais acentuado nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com maior frequência, apesar do período chuvoso. O crescimento microbiano proporcionado pela matéria orgânica com alta relação C/N limitou a disponibilidade de nitrogênio nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com maior frequência de aplicação, explicando o porquê do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias ser superior aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias nos períodos acima citados.



$$Y_{(PC_{C1})} = 67,858 - 0,485374^{**}X \quad R^2 = 73,13$$

$$Y_{(PC_{C2})} = 62,235 + 2,537736^{**}X - 0,103953^{**}X^2 \quad R^2 = 98,53$$

$$Y_{(PC_{C3})} = 77,44$$

$$Y_{(PC_{C4})} = 67,998 + 1,576325^{**}X - 0,067662^{**}X^2 \quad R^2 = 82,03$$

$$Y_{(PC_{C5})} = 75,594 + 1,068381^{**}X - 0,04906^{**}X^2 \quad R^2 = 99,83$$

Figura 22 – Perímetro de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP (cm⁻¹) em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Com o início do período seco no segundo semestre do ano (300 e 375 DAP), os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de maior frequência contendo nutriente de esgoto doméstico tratado (7 e 14 dias) tiveram maior desempenho, sendo que houve diferença estatística significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa apenas aos 300 DAP, justamente depois do ajuste fisiológico (estresse hídrico) sofridos pelas plantas depois do período chuvoso, quando houve diminuição e perda de matéria seca com conseqüente redução dos parâmetros morfofisiológicos. Fato que pode

ser explicado pelo efeito do déficit hídrico em uma planta de metabolismo CAM, pois já aos 300 DAP a quantidade de chuva foi nula, coincidindo com período de altas temperaturas e elevada evapotranspiração, fazendo com que as plantas paralisassem seu crescimento, perdendo água para o meio, tendo como consequência o murchamento, diminuindo assim seu perímetro.

Os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram perímetro médio de cladódios aos 300 DAP de 77,43 e 75,44 cm^{-1} , respectivamente. E os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 21 dias apresentaram 70,54 e 71,69 cm^{-1} , respectivamente, no mesmo período. Aos 375 dias os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram perímetro médio de cladódio de 80,56 e 81,03 cm^{-1} , respectivamente, sendo os maiores encontrados dentre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Gomes (2011) encontrou aos 360 DAP valores médios para o perímetro de cladódio da palma forrageira de 77,61 cm^{-1} . Andrade (2009), estudando a evolução do crescimento da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em função do adensamento e adubação com farinha de osso, em condições de campo, no município de Patos PB, obteve valores do perímetro médio dos cladódios durante o período experimental, de 74,02 cm, quando mensurados aos 510 DAP. Este dado se assemelha aos resultados determinados para média de PC observada nesta pesquisa para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP.

5.1.6.1 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre o perímetro dos cladódios aos 300 DAP.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve apenas interação significativa a $P < 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) no perímetro do cladódio da palma forrageira aos 300 DAP. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado (TABELA 18).

Na densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias apresentou diferença estatística significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro e os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,33, 14 e 21 dias não apresentaram diferença significativa a

P>0,05 em relação à testemunha (sequeiro), indicando que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente irrigado com esgoto doméstico tratado influenciou o perímetro dos cladódios aos 300 DAP. E nas densidades de plantio de 52.282 e 66.667 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença estatística significativa a P>0,05 em relação à testemunha (sequeiro), demonstrando que os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não influenciaram a densidade de plantio (TABELA 18).

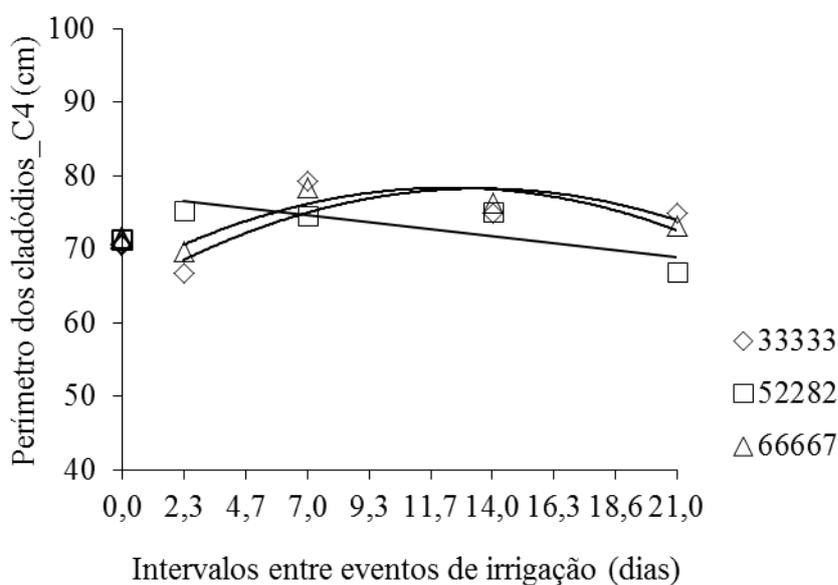
O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias foi o único a apresentar diferença estatística significativa em relação à testemunha em condições de sequeiro na densidade de plantio de 33.333 plantas por ha, indicando que esse intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente e fertirrigado com esgoto doméstico tratado foi o único a apresentar condições de umidade e nutrientes suficientes para influenciar o perímetro dos cladódios aos 300 DAP. Já na densidade de plantio de 52.282 e 66.667 plantas por hectare nenhum intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentou diferença estatística significativa em relação à testemunha (sequeiro), sugerindo que os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não foram suficientes para influenciar o adensamento, ou seja, a umidade gerada pelos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não foi suficiente para diferenciar os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa dentro do adensamento.

Tabela 18 – Teste de Dunnett resumo da análise de variância e médias para o perímetro de cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio.

IILF (3,5 mm p/ evento)	PER_CL_C4		
	33.333	52.282	66.667
2,3	66,69 ^{ns}	75,29 ^{ns}	69,63 ^{ns}
7	79,21 ⁺	74,64 ^{ns}	78,44 ^{ns}
14	74,88 ^{ns}	75,08 ^{ns}	76,36 ^{ns}
21	74,98 ^{ns}	66,96 ^{ns}	73,12 ^{ns}
Sequeiro	70,66	71,34	71,48
DMS	8,23		

Na densidade de plantio de 33.333 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 13,51 dias com o perímetro de cladódios de 78,27 cm aos 300 DAP. Mas na densidade de plantio de 52.282 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de linear decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de

2,3 dias com o perímetro de cladódios de 76,52 cm aos 300 DAP. Já na densidade de plantio de 66.667 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram novamente a um modelo de quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 12,45 dias com o perímetro de cladódios de 78,38 cm aos 300 DAP (FIGURA 23). Oliveira Júnior et al. (2009) encontraram média para o perímetro de 60,42 cm aos 270 dias após o plantio cultivar Italiana, resultado semelhante ao encontrado nesta pesquisa mesmo utilizando cultivares diferentes.



$$Y_{(PERC4_D33)} = 64,123699 + 2,094255^{**}X - 0,077496^{*}X^2 \quad R^2 = 58,80$$

$$Y_{(PERC4_D50)} = 77,448619 - 0,402312^{**}X (2,3) (76,52) \quad R^2 = 66,57$$

$$Y_{(PERC4_D66)} = 66,620672 + 1,907662^{ns}X - 0,077375^{**}X^2 \quad R^2 = 78,27$$

Figura 23 – Perímetro de cladódios da palma forrageira nas densidades estudadas aos 300 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

O perímetro do cladódio da palma forrageira orelha de elefante foi influenciado pelo intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias irrigado com esgoto doméstico tratado na densidade de 33.333 plantas por ha. Neste intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa quando existiu espaço para o crescimento da planta houve emissão de um menor número de cladódios e, em compensação, houve também um aumento do perímetro do cladódio aos 300 DAP. Ao haver aumento da densidade de plantio para 52.282 e 66.667 plantas por hectare neste período, também houve aumento não significativo do perímetro dos cladódios dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, assim como em relação à testemunha. Podemos inferir que a arquitetura da planta foi influenciada pela densidade de plantio e pelo intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa, cujo intervalo entre

eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente fertirrigado com esgoto doméstico tratado na menor densidade de plantio (33.333 plantas por ha) influenciou aumentando o perímetro dos cladódios aos 300 DAP.

5.1.6.2 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre o perímetro dos cladódios aos 375 DAP.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve apenas interação significativa a $P < 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) no perímetro da palma forrageira aos 375 DAP. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado (TABELA 19).

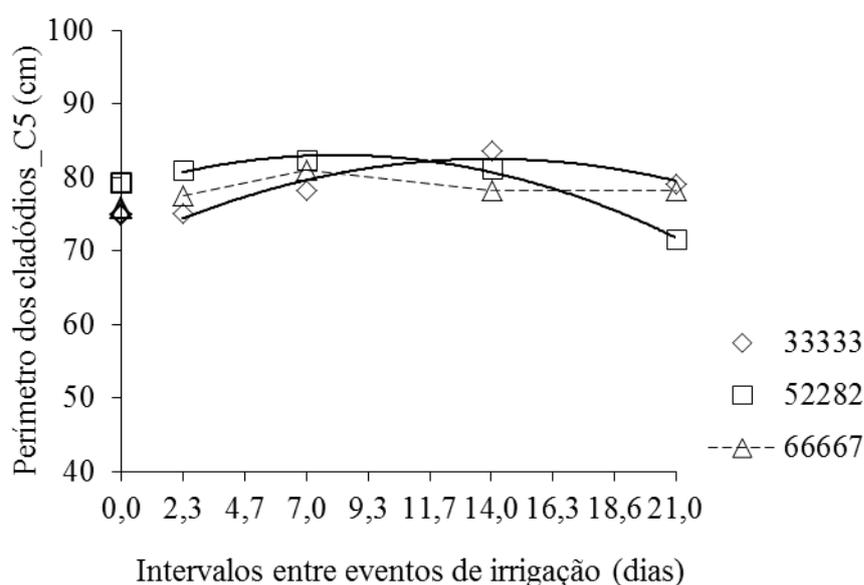
Na densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro aos 375 DAP. Mas nas densidades de plantio de 52.282 e 66.667 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença estatística significativa ($P > 0,05$) em relação à testemunha (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 19).

Tabela 19 – Teste de Dunnet resumo da análise de variância e médias para o perímetro de cladódios da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio.

IILF (3,5 mm p/ evento)	PER_CL_C5		
	33.333	52.282	66.667
2,3	75,07 ^{ns}	81,01 ^{ns}	77,52 ^{ns}
7	78,25 ^{ns}	82,34 ^{ns}	81,08 ^{ns}
14	83,68 ⁺	81,22 ^{ns}	78,18 ^{ns}
21	79,17 ^{ns}	71,63 ^{ns}	78,30 ^{ns}
Sequeiro	75,01	79,29	75,74
DMS	7,84		

Na densidade de plantio de 33.333 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 13,92 dias com o perímetro de cladódios de 82,54 cm aos 375 DAP. Mas na densidade de plantio de 52.282 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também se ajustaram a um modelo de regressão

quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 8,16 dias com o perímetro de cladódios de 83,05 cm aos 375 DAP. Já na densidade de plantio de 66.667 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o perímetro do cladódio de 78,77 cm aos 375 DAP (FIGURA 24). Andrade (2009), trabalhando em condições de sequeiro em nível de campo, no Município de Teixeira-PB, obteve valores médios para perímetro de cladódio da palma forrageira de 74,02 cm aos 510 DAP. E Lima (2011) obteve aos 300 DAP 75,24 cm e aos 360 DAP foi de 77,88 cm, valor próximo ao referido trabalho, devido ao manejo da cultura.



$$Y_{(\text{PERC5_D33})} = 70,85008 + 1,680501 * X - 0,060363 * X^2 \quad R^2 = 89,99$$

$$Y_{(\text{PERC5_D50})} = 78,503068 + 1,114943^{ns} * X - 0,068319^{**} * X^2 \quad R^2 = 99,01$$

$$Y_{(\text{PERC5_D66})} = 78,77 \quad R^2 = ns$$

Figura 24 – Perímetro de cladódios da palma forrageira nas densidades estudadas aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Na última coleta das medidas morfométricas aos 375 DAP utilizando como parâmetro o perímetro dos cladódios, percebeu-se que na menor densidade de plantio 33.333 plantas por hectare e na frequência de irrigação intermediária de 14 dias com esgoto doméstico tratado contendo nutrientes obteve-se o melhor desempenho em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e à testemunha em condições de sequeiro. Houve pelo menos três ciclos de umedecimento e secagem do solo durante o ano com respostas fisiológicas diferente da cultura para cada um deles. O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias na densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare

apresentou a melhor recuperação ou crescimento do perímetro do cladódio ao final do ciclo aos 375 DAP. O que pode ter influenciado diretamente tal desempenho foi o espaçamento e umidade adequada ao desenvolvimento do perímetro nas fases mais críticas com as chuvas e a umidade elevada e com a seca e a baixa umidade do solo. Os outros intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa nas demais densidades de plantio devem ter influenciado negativamente o desenvolvimento do perímetro do cladódio influenciando a criticidade dos períodos de disponibilidade exacerbada de água, assim como na sua escassez no período seco do ano.

Ao aumentar a densidade de plantio para a densidade de 52.282 e 66.667 plantas por ha, percebe-se haver aumento do perímetro dos cladódios com a influência dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, mesmo que entre e dentre as densidades de plantio não haja diferença estatística significativa. Percebe-se claramente que as densidades de plantio e os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa por pouco não influenciaram o perímetro do cladódio aos 375 DAP, não fosse a densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare no Intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias com diferença significativa menor que um ponto.

5.1.7 Matéria verde por planta (MVPL), matéria verde total (MVTOT), matéria seca por planta (MSPL), matéria seca total (MSTOT) e porcentagem de matéria seca (PORMS).

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a 5% de probabilidade ($P > 0,05$) entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) na produção de palma forrageira para as variáveis: matéria verde por planta (MVPL), matéria verde total (MVTOT), matéria seca por planta (MSPL), matéria seca total (MSTOT) e porcentagem de matéria seca (PORMS). Mas houve efeito significativo entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa ($P < 0,01$) para todas as variáveis estudadas. Enquanto não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os fatores densidades de plantio (DP) (33.333 e 52.282 plantas ha^{-1} ano $^{-1}$) para as variáveis: matéria verde por planta ano $^{-1}$ (MVPL), matéria seca por planta ano $^{-1}$ (MSPL) e porcentagem de matéria seca ano $^{-1}$ (PORMS). Entretanto, para essas mesmas variáveis houve diferença significativa ($P > 0,05$) para a densidade de 66.667 plantas ha^{-1} ano $^{-1}$ (TABELA 20).

Tabela 20 – Resumo da análise de variância e médias para matéria verde por planta, matéria verde total, matéria seca por planta, matéria seca total e porcentagem de matéria seca da palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹				
		MVPL	MVTOT	MSPL	MSTOT	PORMS
Blocos	3	6,406 ^{ns}	13118729583,333 ^{ns}	0,059 ^{ns}	73986552,384 ^{ns}	2,227 ^{ns}
ILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	427,287 ^{**}	1019526479500,000 ^{**}	1,155 ^{**}	2613653970,000 ^{**}	140,145 ^{**}
Contraste	1	1122,160 ^{**}	2672420240671,980 ^{**}	1,077 [*]	2438733493,856 [*]	555,718 ^{**}
Regressão Linear	1	266,221 ^{**}	610586079693,138 ^{**}	1,128 [*]	2369454517,693 [*]	3,552 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	288,779 ^{**}	715713518654,841 ^{**}	2,123 ^{**}	5036759471,901 ^{**}	0,951 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	31,990 ^{ns}	79386078930,029 ^{ns}	0,291 ^{**}	609668405,986 ^{ns}	0,359 ^{ns}
Resíduo (a)	12	15,712 ^{**}	28956196341,666	0,140	297096443,916	2,370
Densidade de Plantio (DP)	2	36,533 ^{ns}	887177902000,000 ^{**}	0,325 ^{ns}	3837694295,500 ^{**}	7,799 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	4,340 ^{ns}	18875587475,000 ^{ns}	0,031 ^{ns}	24982609,081 ^{ns}	2,259 ^{ns}
Resíduo (b)	30	23,305	44054659200,000	0,206	431572130,000	2,803
CV 1		26,9	23,2	32,2	30,1	17,5
CV 2		32,8	28,7	39,1	36,3	19,0

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²				
	MVPL	MVTOT	MSPL	MSTOT	PORCMS
33.333	16,191 a	539.717,103 b	1,306 a	43.544,261 b	9,096 a
52.282	13,558 a	695.287,767 b	1,108 a	56.816,171 b	9,203 a
66.667	14,347 a	956.508,352 a	1,069 a	71.240,758 a	8,072 a

ILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ³				
	MVPL	MVTOT	MSPL	MSTOT	PORCMS
2,3	16,74 ⁺	824,30 ⁺	1,15 ^{ns}	56,29 ^{ns}	6,73 ⁻
7	21,25 ⁺	1.052,04 ⁺	1,59 ⁺	77,32 ⁺	7,34 ⁻
14	17,93 ⁺	891,16 ⁺	1,33 ⁺	65,84 ⁺	7,45 ⁻
21	11,52 ⁺	576,60 ⁺	0,84 ^{ns}	42,10 ^{ns}	7,55 ⁻
Sequeiro (testemunha)	6,05	308,41	0,89	44,45	14,88
DMS	4,54	195,01	0,43	19,75	1,76

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

No entanto, houve diferença significativa a P<0,01 para o fator densidade de plantio (DP) (66.667 plantas por ha por ano) para a variável matéria verde total ano⁻¹ (MVTOT) e matéria seca total ano⁻¹ (MSTOT).

5.1.8 Produção média de matéria verde de plantas de palma.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) na matéria verde por planta de palma forrageira aos 375 DAP. Assim como, não houve interação significativa a $P > 0,05$ para densidade de plantio. Entretanto, houve diferença significativa para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ (TABELA 20).

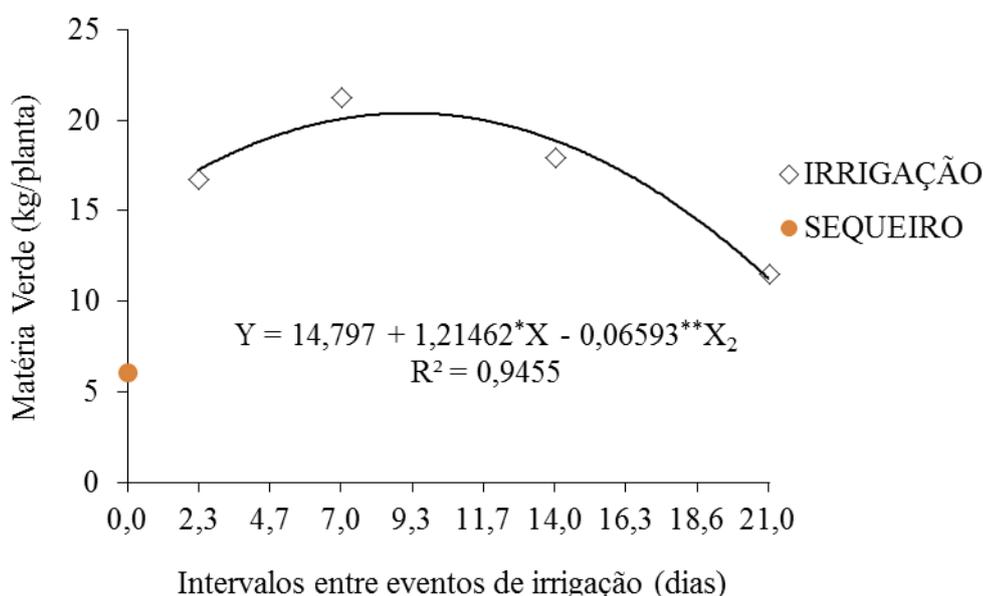
Pode-se verificar que produção média de matéria verde por planta ano⁻¹ (MVPL) na palma forrageira orelha de elefante mexicana se ajustou ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,01$ com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 9,2 dias com uma produção de 20,39 kg planta⁻¹, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta, independente da densidade de plantio (FIGURA 25).

Todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para a variável matéria verde por planta. Entretanto, ao considerar as médias dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a testemunha, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 14 e 7 dias apresentam as melhores médias com 16,74, 17,93 e 21,25 kg por planta, respectivamente. Isso demonstra que os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequentes utilizando água de abastecimento de poço artesiano tubular e esgoto doméstico tratado apresentaram melhores desempenhos independentemente da densidade de plantio adotado. O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias diferiu estatisticamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e da testemunha em condições de sequeiro, apresentando médias com 11,52 kg por planta contra 6,05 kg por planta do sequeiro.

Sob condição individual da planta e independente da densidade de plantio, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias utilizando fertirrigação com esgoto doméstico tratado apresentou melhor desempenho, demonstrado que as condicionantes irrigação somada a adubação de fundação, juntamente com a fertirrigação foram determinantes para o desempenho do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa

mais frequente nessas condições. Entretanto, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não foram suficientes para influenciar as densidades de plantio.

FERREIRA et al. (2003) relataram uma produção de massa verde com dois anos de cultivo de $24,7 \text{ kg planta}^{-1}$ para o clone da cultivar IPA-20, os valores foram aproximados ao deste experimento, se tais valores não fossem auferidos com um ano de antecedência. FERREIRA ainda relata que a massa verde por planta de todos os genótipos estudados reduziu de forma quadrática com o aumento da densidade de plantio e, comparando a produção de massa verde por planta da menor para a maior densidade de plantio, as produções por espécie foram de 11.886 a 7.997 g, na palma Miúda, de 11.338 a 6.475 g, na palma Redonda, e de 10.020 a 5.010 g na palma gigante, respectivamente.



$$Y_{(MVPL)} = 14,797 + 1,21462 * X - 0,06593 ** X^2 \quad R^2 = 94,55$$

Figura 25 – Produção média de matéria verde por planta em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Corroborando com FERREIRA, Silva et al. (2014) notaram que a massa verde por cladódio na palma gigante e Redonda respondeu de forma linear negativa com o aumento da densidade de plantio. Já Silva et al. (2014), estudando diferentes densidades de plantio (10.000, 20.000, 40.000 e 80.000 plantas por ha), verificaram que a palma forrageira Redonda e gigante tem maior teor de umidade na massa verde da forragem, e em cultivo adensado, reduz a massa verde. A redução da massa verde por planta, com o aumento das densidades de plantio da palma forrageira, pode ser explicada pela redução do comprimento e da largura do cladódio e do número de cladódios por planta, proporcionados por uma provável competição das plantas por luz, água e nutrientes na solução do solo.

Ambos os resultados contrariam os resultados encontrados neste estudo, visto que não houve diferença significativa entre as densidades de plantio estudadas para a matéria verde por planta. Tal resultado se deve possivelmente às boas condições de nutrição e irrigação das plantas submetidas, especialmente, no primeiro semestre.

A definição de qual intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa utilizar, visto que não há diferença significativa na densidade de plantio, dependerá dos recursos para a implantação do palmar. Independentemente, como o clima em que o experimento está instalado é semiárido com limitados recursos hídricos e baixa disponibilidade de adubos, se faz necessário avaliar economicamente e, em especial, ambientalmente, qual intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa definir. Com elevado conteúdo de água nas condições de semiaridez, a palma forrageira pode servir como uma rica reserva deste mineral para os animais via alimento.

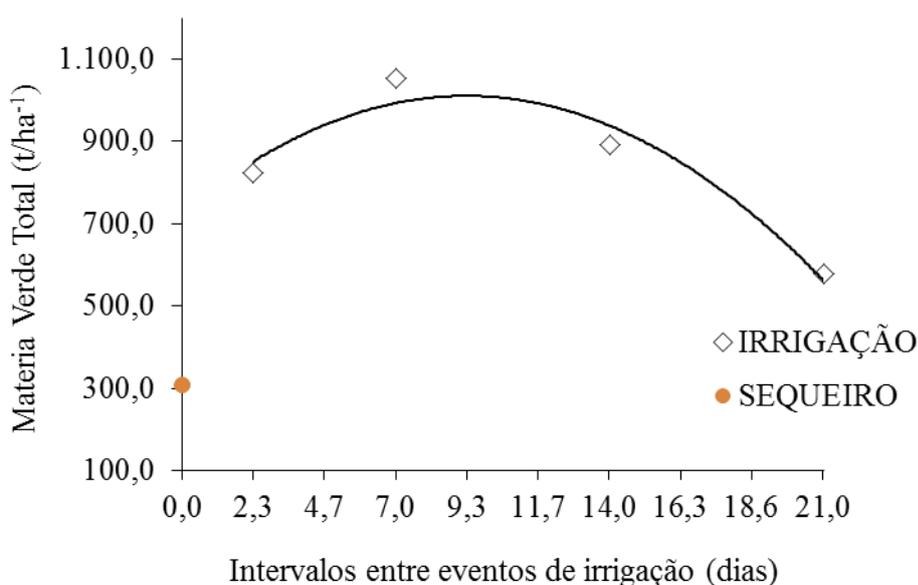
5.1.9 Produção de matéria verde total da palma forrageira.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) na matéria verde total de palma forrageira aos 375 DAP. Mas houve interação significativa a $P < 0,01$ para a densidade de plantio. Como também, houve diferença significativa para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ (TABELA 20).

A produção de matéria verde total $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (MVTOT) na palma forrageira orelha de elefante mexicana, se ajustou ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,01$ com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 9,3 dias com uma produção de $1.010,59 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta, independente da densidade de plantio (FIGURA 26). O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias proporcionou uma produção de matéria verde total da ordem de $1.052,04 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, diferindo estatisticamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (2,3, 14 e 21 dias). Enquanto, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias proporcionou uma produção de $891,16 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, superior à produção obtida pelo intervalo entre eventos de irrigação

com lâmina fixa testemunha com 2,3 dias que chegou a produção de 824,29 t ha⁻¹ ano⁻¹, mesmo não havendo diferença estatística. Logo o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias obteve a menor produção de matéria verde total com 576,60 t ha⁻¹ ano⁻¹, diferindo estatisticamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (2,3, 7 e 14 dias).

Todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentaram diferença estatística significativa ($P > 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a variável matéria verde total. Entretanto, ao considerar as médias dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a testemunha, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias apresentou a melhor média com 1.052,04 t ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Isso demonstra que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente de 7 dias utilizando esgoto doméstico tratado apresentou melhor desempenho apresentando diferença estatística em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, seguido dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 14 dias utilizando água de abastecimento de poço artesianos tubular e esgoto doméstico tratado, respectivamente, apresentando-se diferente estatisticamente em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e à testemunha em condições de sequeiro. Dentre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias diferiu estatisticamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, em especial, da testemunha em condições de sequeiro.



$$Y_{(MVTOT)} = 726,26 + 61,098^{**} X - 3,2822^{**} X^2 \quad R^2 = 94,35$$

Figura 26 – Produção de matéria verde total em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Houve resposta positiva para produção de massa verde total da palma forrageira, sendo diretamente proporcional ao aumento das densidades de plantio. Por conseguinte, a densidade de plantio de 66.667 plantas/hectare diferiu estatisticamente das demais densidades (33.333 e 52.282 plantas por hectare) apresentando maior desempenho. Mas apesar da densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare apresentar maior produção de matéria verde que a densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare, suas médias não diferiram estatisticamente. O aumento da produção com a densidade de plantio se deve ao aumento do número de plantas por hectare, já que não houve diferença significativa no peso médio da massa verde por planta.

As maiores produções de matéria verde aconteceram proporcionalmente às maiores lâminas de irrigação de acordo com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, pelo fato da cactácea palma forrageira com metabolismo CAM aproveitar mais e melhor a captação de CO₂ durante o dia utilizando-o na fotossíntese, principalmente nos períodos mais amenos do dia, durante as manhãs e nos finais das tardes. A exceção para a maior produção ocorre no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com água de abastecimento de poço artesiano na capacidade de campo como testemunha absoluta, pelo fato de haver limitação dos demais nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas, que não há em quantidade e qualidade adequada para expressão do potencial produtivo da palma nas condições deste tratamento.

De maneira geral, tem-se verificado que com espaçamentos mais adensados se obtêm maiores produções, porém esse sistema de plantio requer maiores investimentos na implantação e existem dificuldades nos tratos culturais do palmal. Neste sentido, Nascimento et al. (2011) e Cavalcante et al. (2014), estudando densidade de plantio e adubação da palma forrageira, encontraram também resposta quadrática positiva para produtividade de massa verde da palma forrageira, nas maiores densidades de plantio, estando diretamente relacionada ao aumento do número de plantas por hectare, uma vez que os números de cladódios por planta e o tamanho desses cladódios diminuíram com o aumento das densidades.

Silva et al. (2014) verificaram que a palma forrageira Miúda apresenta melhor potencial produtivo no cultivo mais adensado (80.000 plantas por ha), sendo que a produtividade de massa verde nas densidades de plantio de 10.000 a 80.000 plantas por ha, foi de 118 a 639 t ha⁻¹, para a palma Miúda, e de 113 a 518 t ha⁻¹ para a palma Redonda e de 100 a 400 t ha⁻¹ para a palma gigante, respectivamente.

5.1.10 Produção média de matéria seca de plantas de palma forrageira.

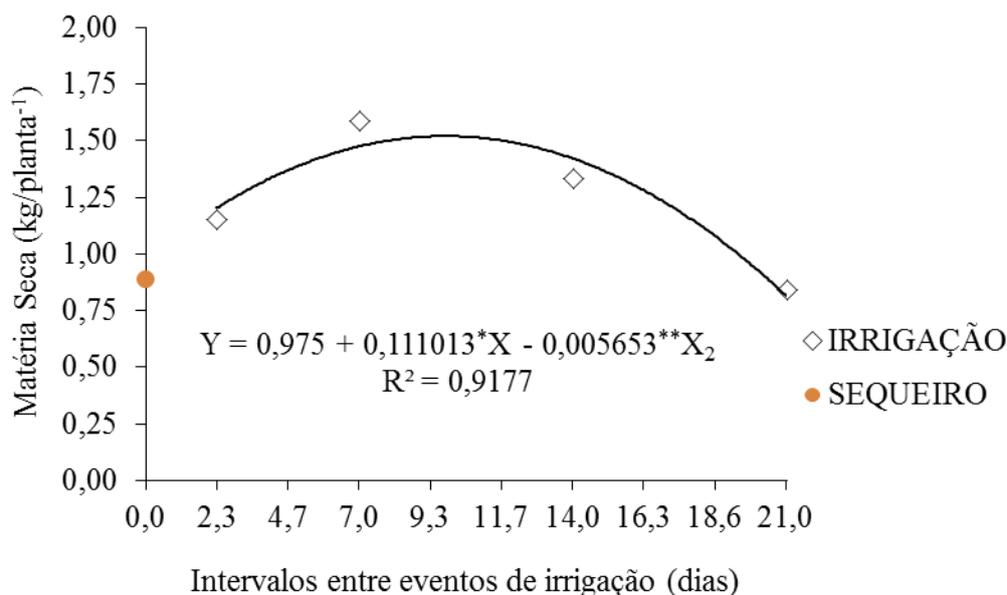
De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – IILF e densidade de plantio (DP) na matéria seca de plantas de palma forrageira aos 375 DAP. Assim como, não houve interação significativa a $P > 0,05$ para densidade de plantio (DP) (33.333, 52.282 e 66.667 plantas por ha por ano) para a variável matéria seca de plantas ano⁻¹. Entretanto, houve diferença significativa para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ (TABELA 20).

A produção de matéria seca por planta (MSPL) na palma forrageira orelha de elefante mexicana se ajustou ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,01$, com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 9,82 dias com uma produção de 1,52 kg planta⁻¹, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta, independente da densidade de plantio (FIGURA 27).

Apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para a variável matéria seca de plantas de palma forrageira e os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,33 e 21 dias não apresentaram diferença estatística significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Considerando as médias dentre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias proporcionou uma produção de matéria seca em um ano de cultivo da ordem de 1,59 kg planta⁻¹, apresentando diferença estatística significativa a $P < 0,05$ em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Assim como o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias proporcionou uma produção de matéria seca plantas ano⁻¹ da ordem de 1,33 kg por planta, também apresentando diferença estatística significativa a $P < 0,05$ em relação a todos os outros intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, sendo superior a produção obtida pelo intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa testemunha com 2,3 dias que foi de 1,15 kg por planta de matéria seca em um ano. Logo o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias obteve a menor produção de matéria seca com 0,84 kg por planta.

De maneira geral a matéria seca das plantas é influenciada pela disponibilidade de nutrientes (com ciclo dos elementos no solo e na atmosfera) e de água para que as plantas

possam acumular matéria seca através da fotossíntese. A adubação química e orgânica na fundação no plantio da palma forrageira possibilitou a disponibilidade de nutrientes de forma proporcional para que as plantas acumulassem matéria seca, no entanto, o diferencial foi a disponibilidade de água nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, salientando que os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 7, 14 e 21 dias aplicaram-se 3,5 mm com 100% de água de esgoto doméstico tratado, mas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa 2,3 dias aplica-se 3,5 mm com água de abastecimento de poço artesiano na capacidade de campo como testemunha absoluta. Para a produção de matéria seca planta ano⁻¹ quem influenciou significativamente foram os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, enquanto as densidades de plantio não o fizeram significativamente por se tratar de avaliação individual de plantas das subparcelas, mesmo nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa contendo nutriente de esgoto doméstico tratado. O que pode explicar essa tendência foi a quantidade elevada de nutrientes a que foram submetidos os tratamentos de forma proporcional durante a adubação de fundação, diferindo apenas entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Visivelmente há uma influência da adubação proporcional aos tratamentos pelos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa irrigados com esgoto doméstico tratado por se tratar de nutrientes essenciais as plantas já mineralizados que se encontram prontamente disponíveis.



$$Y_{(MSPL)} = 0,975 + 0,111013 * X - 0,005653 ** X^2$$

$$R^2 = 91,77$$

Figura 27 – Produção média de matéria seca por planta em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

No entanto, a quantidade de nutrientes não foi suficiente para influenciar e explicar a diferença nas produções de matéria seca por planta por ano quando se trata da avaliação do fator densidade, visto que a avaliação é individual. Ou seja, houve influência da adubação para o fator densidade, mas ela não foi suficiente a ponto de ser significativa por se tratar de uma avaliação individual.

Contudo Silva et al. (2014), estudando diferentes densidades de plantio (10.000, 20.000, 40.000 e 80.000 plantas por ha) com aplicação de adubação de fundação com 250 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16, na forma de ureia, super triplo e cloreto de potássio, respectivamente, e 10.000 kg ha⁻¹ de esterco ovino, verificaram quanto à produção de massa seca por planta, uma redução em todos os genótipos de forma quadrática para a Miúda e Redonda e linear para a palma gigante. Verificou-se que a produção de massa seca por planta da menor para a maior densidade de plantio foi de 850 a 559 g na palma Miúda, de 582 a 332 g na palma Redonda e de 581 a 251 g na palma gigante. A redução da massa seca por planta, com o aumento das densidades de plantio da palma forrageira, pode ser explicada pela redução do comprimento e da largura do cladódio e do número de cladódios por planta, proporcionados por uma provável competição das plantas por luz, água e nutrientes na solução do solo.

Apesar do baixo teor de matéria seca verificado na palma forrageira, os altos valores na quantidade de água disponível por hectare se constituem em um fator interessante em regiões semiáridas, nos períodos de estiagem e falta de água, quando a palma pode servir como rica reserva desse nutriente para os animais, via alimento.

5.1.11 Produção de matéria seca total da palma forrageira.

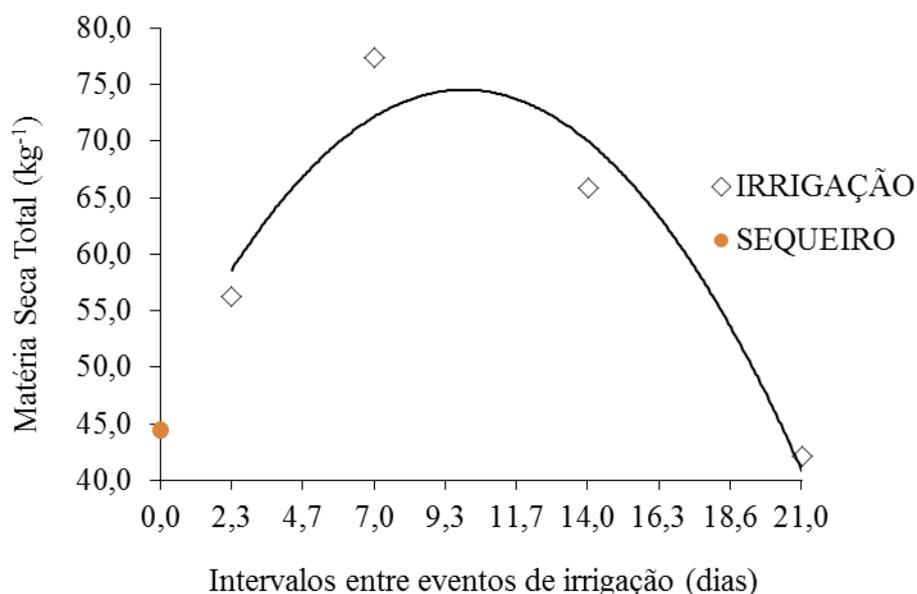
De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) na produção total de matéria seca da palma forrageira aos 375 DAP. Mas houve interação significativa a $P < 0,01$ para densidade de plantio (DP) (33.333, 52.282 e 66.667 plantas) para a variável produção total de matéria seca. Como também, houve diferença significativa para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ (TABELA 20).

A produção de matéria seca total hectare ano⁻¹ (MSTOT) na palma forrageira orelha de elefante mexicana se ajustou ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,01$, com a equação

da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 9,93 dias com uma produção total de matéria seca de $74,53 \text{ t ha}^{-1}$, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta, independente da densidade de plantio.

Apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias apresentaram diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para a variável matéria seca de plantas de palma forrageira; os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,33 e 21 dias não apresentaram diferença estatística significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Entretanto, ao considerar as médias dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a testemunha, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias proporcionou uma produção total de matéria seca da ordem de $77,32 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Enquanto o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias proporcionou uma produção de matéria seca total da ordem de $65,84 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, superior à produção obtida pelo intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa testemunha com 2,3 dias que foi de $56,29 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de produção total de matéria seca. Logo, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias obteve uma produção de matéria seca total de $42,09 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Houve resposta positiva para produção total de massa seca da palma forrageira, sendo diretamente proporcional ao aumento das densidades de plantio. Por conseguinte, a densidade de plantio de 66.667 plantas/hectare diferiu estatisticamente das demais densidades (33.333 e 52.282 plantas por hectare). Mas, apesar da densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare apresentar maior produção de matéria verde que a densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare, suas médias não diferiram estatisticamente (FIGURA 28). O aumento da produção com a densidade de plantio deve estar relacionado ao aumento do número de plantas por hectare, já que não houve diferença significativa no peso médio da massa seca por planta. Segundo Nascimento et al. (2011), o aumento da produtividade (t de MS por ha por 2 anos) nas maiores densidades de plantio está diretamente relacionado ao maior número de plantas, que, mesmo com menos cladódios e cladódios menos pesados, proporcionou maior produtividade.



$$Y_{(MSTOT)} = 47,364 + 5,4698^{**} X - 0,2753^{**} X^2 \quad R^2 = 92,39$$

Figura 28 – Produção de matéria seca total em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Silva et al. (2014) verificaram que a palma forrageira Miúda apresenta melhor potencial produtivo no cultivo mais adensado (80.000 plantas por ha), sendo que a produtividade de massa seca nas densidades de plantio de 10.000 a 80.000 plantas por hectare foi de 8,5 a 44,7 t ha⁻¹ para a Miúda, de 5,8 a 26,5 t ha⁻¹ para a Redonda e de 5,8 a 20,2 t ha⁻¹ para a gigante. O aumento da produtividade de massa seca nas maiores densidades de plantio da palma forrageira está diretamente relacionado ao aumento de produtividade de massa verde.

Pesquisas realizadas pelo Acordo IPA/UFRPE mostram que, em meados da década de 90, a palma apresentava produção média de 10 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹ (Santos et al., 2006a), enquanto ao final desta mesma década, Santos et al. (2000) constataram produção de 20 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹. Recentemente, o clone orelha de elefante mexicana se destacou quanto produtividade com produção de aproximadamente 55 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹ (Santos et al., 2011), sendo o corte realizado aos dois anos, conservando-se os cladódios primários e sob condições de sequeiro. Vale ressaltar que neste experimento, conforme Santos D.C. – comunicação pessoal houve algum comprometimento de stand em algumas parcelas, o que pode ter diminuído a competição entre plantas e promovido a alta produção observada.

Neste experimento se conseguiu produzir 44,4 t de matéria seca, valores bem próximos ao relatado na experiência acima. No entanto, este experimento foi conduzido durante um ano ao invés de dois anos como consta no relato acima. Entretanto, como se trata

de palma adensada e adubada com esgoto doméstico tratado, a produção máxima chegou a 77,32 t ha⁻¹ ano⁻¹ com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias. Santos et al. (2006) verificaram que no cultivo adensado a produção de matéria seca aumentou em torno de 80% se comparada com o cultivo tradicional.

5.1.12 Porcentagem de matéria seca da palma forrageira.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) na porcentagem de matéria seca da palma forrageira aos 375 DAP. Assim como, não houve interação significativa a $P > 0,05$ para densidade de plantio. Entretanto, houve diferença significativa para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ (TABELA 20).

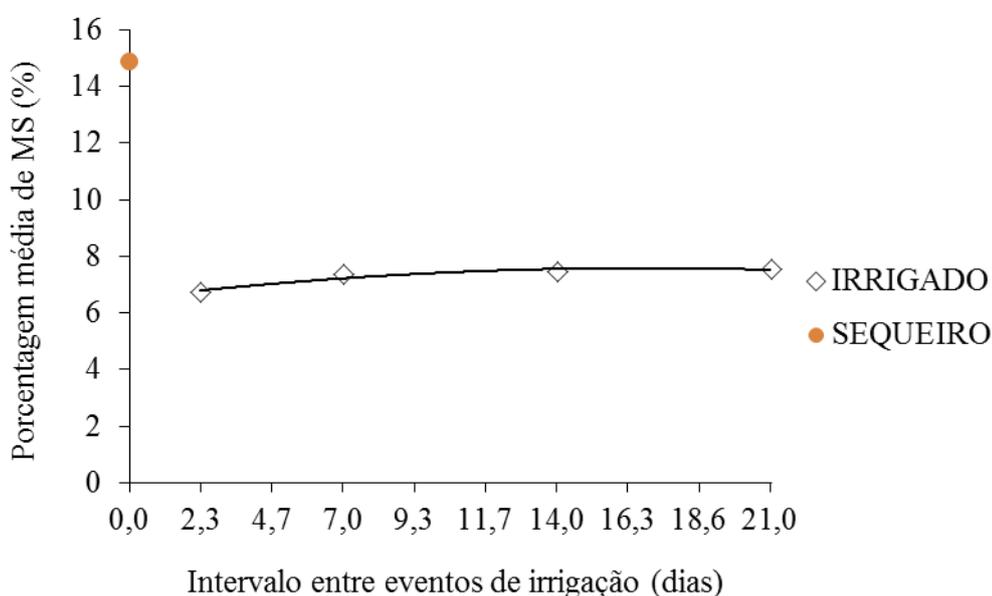
A porcentagem de matéria seca ha⁻¹ ano⁻¹ (PORCMS) na palma forrageira orelha de elefante mexicana não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, ficando com sua média com 7,27 %, em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta, independente da densidade de plantio.

Todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para a variável porcentagem de matéria seca. No entanto, essa diferença foi negativa, apresentando os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa uma porcentagem de matéria seca menor que a testemunha.

Entretanto, ao considerar as médias dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a testemunha, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias proporcionou uma porcentagem média de matéria seca da ordem de 7,55%. Enquanto, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias apresentou uma porcentagem média de matéria seca da ordem de 7,45%, superior à porcentagem média obtida pelo intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa testemunha com 2,3 dias que foi de 6,73 de matéria seca. Logo, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias obteve uma porcentagem de matéria seca de 7,34%. Não houve diferença significativa a $P > 0,05$ entre

os fatores densidades de plantio (DP) (33.333, 52.282 e 66.667 plantas ha⁻¹) para a variável porcentagem de matéria seca (FIGURA 29).

Apesar de não haver diferença estatística significativa, houve uma tendência à diminuição da porcentagem de matéria seca da palma forrageira orelha de elefante mexicana com o aumento da frequência dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Quando aumenta a frequência do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa, aumenta também a disponibilidade de água às plantas, conseqüentemente, o teor de água dentro da planta. Haverá uma menor concentração de minerais de dos cladódios, portanto, cladódios menos lignificados e com baixa porcentagem de matéria seca.



$$Y_{(\text{PORCMS})} = 7,27$$

Figura 29 – Porcentagem de matéria seca total em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Do contrário, com a diminuição da frequência dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, haverá menor disponibilidade de água no cladódio, conseqüentemente, maior concentração de nutrientes, portanto, cladódios mais lignificados com maior porcentagem de matéria seca. Neste experimento, a testemunha absoluta que foi o sequeiro obteve uma porcentagem de matéria seca da ordem de 14,88%. Com essa porcentagem chega a dobrar a porcentagem de matéria seca em relação ao intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa menos frequente, ou seja, de 21 dias com 7,55%. Isso significa que sequeiro poderá ter uma produção de matéria verde cinquenta por cento menor, no entanto, quando essa produção é transformada em matéria seca, os resultados de produtividade se equivalem.

5.2 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS UM CICLO CULTURAL DE PALMA IRRIGADA

5.2.1 pH do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para o pH do solo na profundidade de 0-20 e 20-40 cm no cultivo da palma forrageira. Assim como não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ nas profundidades estudadas (TABELA 21).

No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para o pH do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, assim como na sua média.

Nas profundidades de 0-20, 20-40 cm, assim como em sua média, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentaram diferença negativa significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para os valores do pH do solo.

O pH do solo em 0-20 cm de profundidade foi influenciado pelo cultivo da palma forrageira orelha de elefante mexicana e se ajustou ao modelo de regressão linear crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias que gerou o pH de 4,72. Nos 20-40 cm de profundidade, se ajustou ao modelo de regressão linear decrescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias que gerou o pH de 4,84. Já a média de ambos não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o valor do pH de 4,63 (FIGURA 26).

De acordo com a CFSEMG (Ribeiro et al., 1999), as classes agronômicas de interpretação da acidez ativa do solo (pH) são as seguintes: menor que 4,5, muito baixo; 4,5 – 5,4, baixo; 5,5 – 6,0, bom; 6,1–7,0, alto; e maior que 7,0, muito alto. A classe agronômica “bom” é tida como adequada, enquanto as demais, como inadequadas.

Conforme análise (TABELA 1) o pH natural do solo da área experimental é de 6,7 e 7,2 a 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente. Com os tratamentos aplicados, nos 0-20 cm de profundidade o pH do solo variou de 4,64 a 4,67 com os intervalos entre eventos

de irrigação com lâmina fixa de 7 e 21 dias, respectivamente, e a testemunha absoluta (sequeiro) ficou com pH acima com 5,70.

Tabela 21 – Resumo da análise de variância e médias para o potencial hidrogeniônico – pH do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		pH_20	pH_40	pH_MED
Blocos	3	0,311873 [*]	0,27533 ^{ns}	0,048396 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	3,316106 ^{**}	3,569448 ^{**}	3,062205 ^{**}
Contraste	1	12,267282 ^{**}	11,757227 ^{**}	12,010900 ^{**}
Regressão Linear	1	0,565859 [*]	0,689156 [*]	0,001518 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,340705 ^{ns}	0,225446 ^{ns}	0,002964 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	0,090577 ^{ns}	1,605965 ^{ns}	0,233437 ^{ns}
Resíduo (a)	12	0,081149	0,135489	0,079482
Densidade de Plantio (DP)	2	0,035227 ^{ns}	0,094792 ^{ns}	0,060463 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	0,110218 ^{ns}	0,115340 ^{ns}	0,077913 ^{ns}
Resíduo (b)	30	0,088082	0,077468	0,055003
CV 1		5,93	7,49	5,80
CV 2		6,18	5,66	4,83

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²		
	pH_20	pH_40	pH_MED
33.333	4,75 a	4,85 a	4,80 a
52.282	4,83 a	4,98 a	4,91 a
66.667	4,81 a	4,92 a	4,87 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ³		
	pH_20	pH_40	pH_MED
2,3	4,33 ⁻	5,03 ⁻	4,68 ⁻
7	4,64 ⁻	4,45 ⁻	4,54 ⁻
14	4,67 ⁻	4,77 ⁻	4,72 ⁻
21	4,66 ⁻	4,53 ⁻	4,59 ⁻
Sequeiro (testemunha)	5,70	5,80	5,75
DMS	0,32	0,42	0,32

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

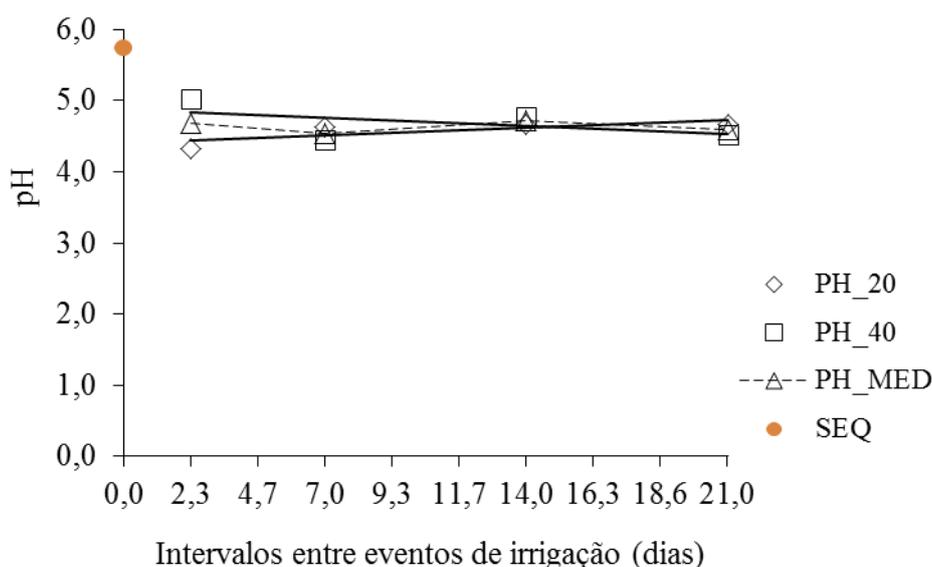
2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Mas aos 20-40 cm de profundidade o pH do solo ficou entre 4,53 aos 21 dias e 5,03 aos 2,3 dias com a testemunha absoluta (sequeiro) com pH acima com 5,80, sendo que os dois últimos pH's foram diferentes significativamente dos demais intervalos entre eventos de

irrigação com lâmina fixa (FIGURA 30). A acidificação do solo mais acentuada aconteceu nos intervalos entre irrigações mais frequentes e irrigados com esgoto doméstico tratado, devido à oxidação biológica da matéria orgânica depender de água para o crescimento dos microrganismos, gerando mais acidez.

De acordo com Ribeiro et al. (1999), o pH do solo do experimento quanto à classificação química categoriza como “acidez elevada” e quanto à classificação agrônômica como pH” baixo”.



$$Y_{(pH_{20})} = 4,404 + 0,01535^{**}X$$

$$R^2 = 56,75$$

$$Y_{(pH_{40})} = 4,883 - 0,016939^*X$$

$$R^2 = 27,34$$

$$Y_{(pH_{MED})} = 4,63$$

Figura 30 – pH do solo após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Há muitas reações que podem justificar o aumento da acidez do solo com a aplicação de fertilizantes e de matéria orgânica, seja na forma de fertirrigação e de reúso de água ou na utilização de esterco na adubação de plantas: dissociação do gás carbônico presente no solo com a irrigação – a oxidação biológica de compostos orgânicos produz CO_2 , o qual reage com água para formar ácido carbônico, que se dissocia liberando prótons (H^+); reação de fertilizantes amoniacais, como por exemplo, o amônio (NH_4^+) contida no nitrogênio do MAP e no nitrogênio da Uréia – $CO(NH_2)_2$. E na própria decomposição da matéria orgânica, a mineralização da matéria orgânica fornece amônio – NH_4^+ ao solo, este, ao ser transformado em peroxinitrato – NO_4^- , contribui para a sua acidificação. O NH_4^+ pode, também, deslocar o Al^{3+} adsorvido no complexo de troca para a solução do solo, ocasionando acidificação; na hidrólise do Alumínio (Al^{3+}) liberando Hidrogênio (H^+), por ocasião da erosão e das chuvas

lixiviando os cátions Cálcio (Ca^{2+}) e o Magnésio (Mg^{2+}), substituindo por Alumínio (Al^{3+}), Manganês (Mn^{4+}) e Hidrogênio (H^+) nos sítios de troca dos minerais de argila e pela secreção ácida das raízes das plantas ao absorver um cátion e liberar o Hidrogênio de maneira equivalente. A acidez do solo pode ser acentuada pela absorção dos cátions básicos pelas culturas e exportada nas colheitas, resultando no aumento de formas trocáveis de H^+ e de Al^{3+} no complexo sortivo (CTC efetiva), favorecendo maiores concentrações deste íon na solução do solo. Como já foi mencionado, o Al^{3+} na solução do solo sofre hidrólise gerando acidez.

É importante lembrar que o H^+ está sendo continuamente produzido no solo como resultado, por exemplo, da mineralização de compostos orgânicos com produção de CO_2 e do intemperismo dos silicatos, que libera Al^{3+} em solução.

As reservas de nutrientes na matéria orgânica deixam de ser utilizadas em solos com pH baixo, pois os agentes (bactérias) que a mineralizam rapidamente e liberam os nutrientes (principalmente N, S e B) para as plantas trabalham ativamente em pH próximo da neutralidade. Em pH ácido, fungos e actinomicetos mineralizam lentamente a matéria orgânica (MALAVOLTA, 1986), caso que deve ter acontecido com o esterco aplicado no experimento. Foram aplicados 30 t de esterco bovino por hectare de acordo com a densidade de plantio e no final do experimento ainda havia matéria orgânica a ser decomposta, demonstrando a lenta decomposição do material devido ao baixo pH do solo que, conseqüentemente, foi influenciado pelos fertilizantes e pela matéria orgânica aplicada. As altas produtividades do experimento, apesar da acidificação do solo, podem ser explicadas pela alta quantidade de nutrientes contidos nos adubos aplicados, como também pelos mecanismos de adaptação da planta, como por exemplo, a absorção de água, conseqüentemente, nutrientes com potenciais hídricos do solo mais baixo.

Segundo McBride (1994), a ionização do H de ácidos carboxílicos, fenólicos, e, principalmente, de álcoois terciários da matéria orgânica, contribui para a acidez do solo. Entretanto, em condições de acúmulo de matéria orgânica e no estágio final de sua mineralização, a oxidação de elétrons pode ocasionar um aumento no pH do solo. Adicionalmente a mineralização, há liberação de nutrientes que se encontravam imobilizadas nos tecidos para a solução do solo, propiciando aumento de seu pH. Mas também podem liberar compostos como o N e S que, ao sofrerem oxidação, podem liberar prótons na solução do solo, acidificando o solo.

5.2.2 CE do solo sob o cultivo de palma forrageira irrigado com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para a Condutividade Elétrica – CE do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm no cultivo da palma forrageira. Assim como não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ nas profundidades estudadas (TABELA 22).

No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para a CE do solo a 0-20 cm de profundidade, mas não houve diferença significativa a 20-40 cm de profundidade e a média das duas profundidades a $P > 0,05$ nas profundidades estudadas.

Apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias na profundidade de 0-20 cm apresentaram diferença negativa significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para os valores da CE do solo. Os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa nas profundidades de 0-20, 20-40 cm, assim como em sua média, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro.

A CE do solo nos 0-20 cm de profundidade foi influenciada pelo cultivo da palma forrageira orelha de elefante mexicana e se ajustou ao modelo de regressão linear crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias que gerou a CE de $0,17 \text{ dS m}^{-1}$. Nos 20-40 cm de profundidade, não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o valor de $0,15 \text{ dS m}^{-1}$. Já a média se ajustou ao modelo de regressão linear crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias que gerou a CE de $0,17 \text{ dS m}^{-1}$.

De modo geral, a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, prejudicial para maioria das culturas é igual ou superior a 2 dS m^{-1} (FERNANDES et al., 2010; HOLANDA et al., 2010), porém, o U. S. Salinity Laboratory classifica solo salino como os que possuem condutividade elétrica superior a 4 dS m^{-1} , pH inferior a 8,5 e percentagem de sódio trocável inferior a 15% (DAKER, 1988).

Tabela 22 – Resumo da análise de variância e médias para a condutividade elétrica – CE solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		CE_20	CE_40	CE_MED
Blocos	3	0,0088*	0,0062 ^{ns}	0,0037 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	0,0316**	0,0097 ^{ns}	0,0064 ^{ns}
Contraste	1	0,0581**	0,0279 ^{ns}	0,0014 ^{ns}
Regressão Linear	1	0,0593**	0,0042 ^{ns}	0,0237*
Regressão Quadrática	1	0,0089 ^{ns}	0,0061 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	0,0000 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,0003 ^{ns}
Resíduo (a)	12	0,0025	0,0189	0,0034
Densidade de Plantio (DP)	2	0,0079 ^{ns}	0,0443 ^{ns}	0,0044 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	0,0070 ^{ns}	0,0175 ^{ns}	0,0053 ^{ns}
Resíduo (b)	30	0,0032	0,0161	0,0055
CV 1		36,5	92,5	40,8
CV 2		41,5	85,4	52,1

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²		
	CE_20	CE_40	CE_MED
33.333	0,117 a	0,202 a	0,159 a
52.282	0,135 a	0,130 a	0,133 a
66.667	0,157 a	0,113 a	0,135 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ³		
	CE_20	CE_40	CE_MED
2,3	0,06 ⁻	0,16 ^{ns}	0,11 ^{ns}
7	0,11 ⁻	0,15 ^{ns}	0,13 ^{ns}
14	0,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}
21	0,16 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Sequeiro (testemunha)	0,20	0,11	0,15
DMS	0,05	0,16	0,06

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

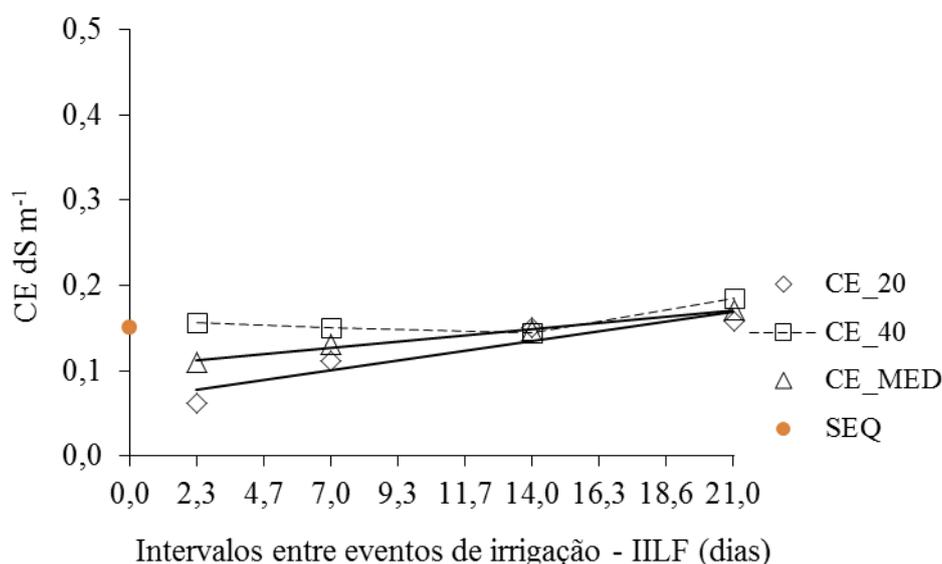
2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Com os tratamentos aplicados, aos 0-20 cm de profundidade a CE do solo variou de 0,06 a 0,16 dS m⁻¹ com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 21 dias, respectivamente, e a testemunha absoluta (sequeiro) ficou com pH acima com 0,20 dS m⁻¹, sendo que os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias obtiveram as CE's mais elevadas e diferiram significativamente dos demais intervalos entre

eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias com 0,06 e 0,11 dS m⁻¹, respectivamente, diferindo significativamente também da testemunha absoluta (sequeiro) (FIGURA 31).

A adição de quantidade adequada de esterco bovino de boa qualidade ao solo pode suprir as necessidades das plantas em macronutrientes (SANTOS e SANTOS, 2008). Entretanto, sua adição em quantidade desmedida pode causar efeito negativo às plantas, em condição de solo muito ácido e argiloso, como é o caso do solo do experimento. Neste caso, pode aumentar a salinização do solo, pela possibilidade de elevação da condutividade elétrica, proporcionando desequilíbrio nutricional e, conseqüentemente afetando a produtividade da cultura (BRADY, 1979; BOTELHO et al., 2007).



$$Y_{(CE_{20})} = 0,066 + 0,004969^{**} X$$

$$R^2 = 86,86$$

$$Y_{(CE_{40})} = 0,15$$

$$Y_{(CE_{MED})} = 0,105 + 0,003144^{*} X$$

$$R^2 = 98,65$$

Figura 31 – CE do solo após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Aos 20-40 cm de profundidade a CE do solo ficou entre 0,15 dS m⁻¹ aos 14 dias e 0,18 dS m⁻¹ aos 21 dias, com a testemunha absoluta (sequeiro) com a CE abaixo com 0,11 dS m⁻¹ e não houve diferença significativa entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, assim como com a testemunha absoluta.

A água de irrigação proveniente do esgoto doméstico tratado utilizado para irrigar nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias possui uma CE de 1,2 dS m⁻¹ e a água de abastecimento utilizada para irrigação do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias possui uma CE de 0,10 dS m⁻¹. De acordo com Rhoades et al (1999), a classificação da água para irrigação é ligeiramente salina (água de irrigação) e

não salina (potável e água de irrigação), sendo que a concentração de sais pode ser menor que 500 mg L^{-1} e entre $500\text{-}1500 \text{ mg L}^{-1}$, caracterizando-as como água de irrigação e, potável e água de irrigação, respectivamente. Como a CE da água de irrigação proveniente do esgoto doméstico tratado, da água de abastecimento de poço artesiano e a CE da zona radicular no solo são abaixo de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$, conclui-se que essas águas são adequadas para irrigar culturas sensíveis a salinidade.

5.2.3 PST do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve interação significativa a $P < 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa ($3,5 \text{ mm p/ evento}$) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para a Percentagem de Sódio Trocável – PST na profundidade de 0-20 cm. No entanto, não houve interação significativa a $P > 0,05$ na profundidade de 20-40 cm e entre as médias das duas profundidades. Houve diferença significativa a $P < 0,01$ entre as densidades de plantio a 0-20 cm de profundidade, mas não houve diferença significativa a $P > 0,05$ na profundidade de 20-40 cm, entretanto, houve diferença significativa a $P < 0,01$ na média das duas profundidades (TABELA 23).

Houve, ainda, efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para a PST nas duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), assim como na sua média.

Apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias nas profundidades de 0-20, 20-40 cm, assim como na sua média, apresentaram diferença significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para os valores da PST do solo. Somente o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias não apresentou diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro) nas profundidades analisadas e na sua média.

Considerando as médias dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e da testemunha, verificamos que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias, mais frequente e irrigado com esgoto doméstico tratado, apresentou diferença significativa a $P < 0,05$ em relação aos demais turnos e à testemunha, demonstrando haver influência do esgoto doméstico no acúmulo de sódio na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

Tabela 23 – Resumo da análise de variância e médias para percentagem de sódio trocável – PST solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		PST_20	PST_40	PST_MED
Blocos	3	0,879972 ^{ns}	2,217269 ^{ns}	1,399248 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	200,234252 ^{**}	83,797253 ^{**}	129,350512 ^{**}
Contraste	1	216,935100 ^{**}	130,637081 ^{**}	171,064130 ^{**}
Regressão Linear	1	88,896338 ^{**}	110,022279 ^{**}	99,177961 ^{**}
Regressão Quadrática	1	194,400715 ^{**}	73,080263 ^{**}	126,466641 ^{**}
Desvio de Regressão	1	300,704856 ^{**}	21,449388 ^{ns}	120,693317 ^{**}
Resíduo (a)	12	3,755812	4,734634	2,033892
Densidade de Plantio (DP)	2	25,257130 ^{**}	6,760555 ^{ns}	7,149573 ^{**}
Interação (TRxDP)	8	12,053238 ^{**}	5,287531 ^{ns}	1,291973 ^{ns}
Resíduo (b)	30	2,953025	4,144771	0,959208
CV 1		37,32	56,52	31,54
CV 2		33,10	52,88	21,66

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²		
	PST_20	PST_40	PST_MED
33.333	6,20 a	3,36 a	4,78 a
52.282	3,98 a	3,69 a	3,84 a
66.667	5,40 a	4,49 a	4,94 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ²		
	PST 0_20	PST 20_40	PST_MED
2,3	0,77 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,89 ^{ns}
7	10,50 ⁺	5,61 ⁺	8,06 ⁺
14	6,25 ⁺	5,94 ⁺	6,10 ⁺
21	7,05 ⁺	5,78 ⁺	6,41 ⁺
Sequeiro (testemunha)	1,39	0,90	1,14
DMS	2,22	2,49	1,63

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Por conseguinte, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias irrigado com água de abastecimento de poço artesiano tubular, apresentou a menor PST na camada de 0-20 cm de profundidade com diferença significativa a $P<0,05$ em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, apesar de não apresentar diferença significativa em relação à testemunha em condições de sequeiro, demonstrando

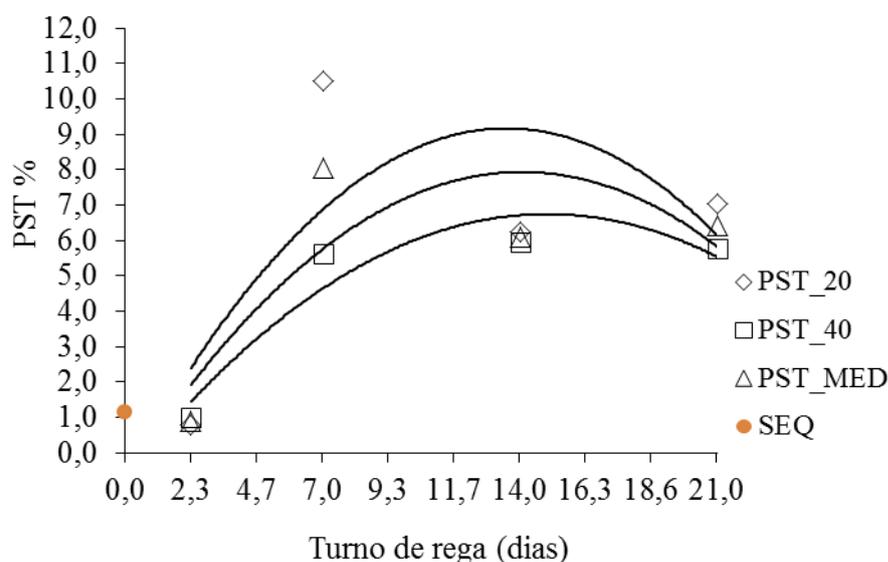
haver pouco sódio na água de abastecimento, além do que, por ser o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente em relação aos demais, provocou lixiviação do sódio trocável. O fato do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias ser superior à testemunha na camada de 0-40 cm de profundidade reforça essa tendência, apesar de não haver diferença significativa.

A PST do solo nos 0-20 cm de profundidade foi influenciada pelo cultivo da palma forrageira orelha de elefante mexicana e se ajustou ao modelo de regressão quadrático crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 13,51 dias que gerou a PST de 9,17%. Nos 20-40 cm de profundidade, se ajustou ao modelo de regressão quadrático crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14,96 dias que gerou a PST de 6,75%. Já a média se ajustou ao modelo de regressão quadrático crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14,06 dias que gerou a PST de 7,93% (FIGURA 32).

As quantidades de Sódio (Na^+) encontradas na análise de solo feitas antes do cultivo demonstram valores de 125 mg dm^3 ou 250 kg ha^{-1} nos primeiros 0-20 cm de profundidade e 120 mg dm^3 ou 240 kg ha^{-1} nos 20-40 cm de profundidade. A contribuição da água de esgoto doméstico tratado utilizado na irrigação foi de $161,61 \text{ mg dm}^{-3}$ e de água de abastecimento de poço artesiano de $11,5 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. A água de esgoto doméstico tratado contribui com quase 15 vezes mais Na^+ do que a água de abastecimento do poço artesiano. Nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias (144 mm), 14 dias (71,75 mm) e 21 dias (47,8 mm) irrigada com água de esgoto doméstico tratado gera um total de $232,71 \text{ kg ha}^{-1}$, $115,95 \text{ kg ha}^{-1}$ e $77,24 \text{ kg ha}^{-1}$ de Na^+ . No intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias (430 mm) irrigada com água de abastecimento de poço artesiano dá um total de $49,50 \text{ kg ha}^{-1}$ de Na^+ no solo, abaixo do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa menos frequente irrigado com esgoto doméstico tratado. Porém, o esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação contribuiu com 9.840 kg ha^{-1} de Na^+ , mesmo assim sua mineralização foi lenta e ao final do ciclo ainda havia uma quantidade considerável de esterco a ser decomposto.

De 0-20 cm de profundidade a PST do solo variou de 0,77 a 10,50% com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias, respectivamente, sendo que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias diferiu estatisticamente dos demais e a testemunha absoluta (sequeiro) ficou com PST de 1,39%, assim como os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias obtiveram PST's de 6,25 e 7,05%,

respectivamente, e também diferiram significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Aos 0-20 cm de profundidade, a PST mais elevada foi a do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias com 10,5%, classificando o solo quanto a sodicidade de “medianamente sódico”. Os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias foram classificados como “não sódico” e “ligeiramente sódico”, assim como o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa irrigado com água de abastecimento de poço artesiano foi classificado como “não sódico” e a testemunha (sequeiro) também como “ligeiramente sódico” (MASSOUD,1971) (FIGURA 32).



$$Y_{(PST_{20})} = -0,71 + 1,462124 ** X - 0,054094 ** X^2 \quad R^2 = 48,51$$

$$Y_{(PST_{40})} = -0,679 + 0,992543 ** X - 0,033166 ** X^2 \quad R^2 = 89,51$$

$$Y_{(PST_{MED})} = -0,695 + 1,227334 ** X - 0,04363 ** X^2 \quad R^2 = 65,15$$

Figura 32 – Percentagem de Sódio Trocável – PST do solo após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Com a grande quantidade de Na^+ aplicado no solo, houve aumento significativo da PST em curto espaço de tempo. A testemunha (sequeiro), nas duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm), apresentou valor de PST baixa, demonstrando que há naturalmente um processo de lixiviação influenciado pelo clima, em especial pela chuva. Como o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com água de abastecimento de poço artesiano também apresentou baixa PST, demonstra que, além da água possuir uma baixa quantidade de sódio, a frequência de irrigação promove a lixiviação deste cátion resultando em baixas PST's do solo nas duas profundidades. Entretanto, há que se tomar cuidado com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa nas irrigações mais frequentes, pois grosso modo, mais um ciclo da cultura no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias seria

suficiente para modificar a PST de medianamente sódico para “fortemente sódico”. Entretanto, a interpretação desta hipótese não é tão simples, visto que a quantidade dos outros cátions – CTC e o pH também influenciam no acúmulo e, conseqüentemente, a percentagem de sódio trocável.

É importante analisar a proporção entre os cátions presente no solo, visto que o excesso de uns em detrimento de outros pode explicar o acúmulo em superfície ou lixiviação. Para que o sódio se sobressaia na superfície do solo em relação aos demais cátions, são necessárias elevadas quantidades deste nutriente em relação aos demais, ocorrendo o fenômeno do produto de ação das massas, cujo cátion de menor valência tem preferência no sítio de troca em relação aos demais por conta da alta concentração do elemento no solo. Ou seja, há indícios de que em longo prazo a água residuária de esgoto doméstico venha a salinizar e/ou sodificar o solo, conforme aponta a literatura para o reúso de água de origem doméstica. O que justifica tal teoria é o fato do sódio se acumular em concentrações maiores nos 0-20 cm em relação aos 20-40 cm de profundidade.

Contudo, de 20-40 cm de profundidade a PST do solo nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 14 dias ficaram entre 1,02 e 5,94%, respectivamente, sendo que este último não teve diferença significativa com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 21 dias, mas houve diferença significativa com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias. E a testemunha absoluta (sequeiro) ficou com 0,90%. Aos 20-40 cm de profundidade a PST mais elevada foi a do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias com 5,94%, classificando o solo quanto à sodicidade de “não sódico”. Os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 21 dias foram classificados como “não sódico”, assim como o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa irrigado com água de abastecimento de poço artesiano foi classificado como “não sódico” e a testemunha (sequeiro) também como “não sódico” (MASSOUD,1971).

Os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de maior frequência proporcionaram maior PST nas duas profundidades, em especial aos 0-20 cm de profundidade com desempenho maior do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias. Nos 20-40 cm de profundidade ocorreu uma variação não significativa entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, permanecendo a mesma interpretação para a análise superficial. Essas mudanças, apesar de não significativas, são interpretáveis, à medida que se entende que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa que acumulou mais na superfície, certamente terá seu conteúdo diminuído em profundidade. Vale salientar

também que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias corresponde a quase 50% do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias e o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias corresponde a quase 70% do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias. Isso faz com que os conteúdos nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias fiquem mais próximos um do outro do que destes em relação ao intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias.

Já as médias das duas profundidades variaram de 0,89 a 8,06% nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias, respectivamente, sendo que este último diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Assim como os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias com 6,10% e 21 dias com 6,41% também diferiram estatisticamente em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Enquanto o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias com 8,06% classificou o solo como “ligeiramente sódico”, os demais e a testemunha classificaram como “não sódico” de acordo com os critérios propostos por Massoud (1971).

Entretanto, de acordo com os valores de pH (FIGURA 23), CTC (FIGURA 24) e PST do solo em todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa estudados nas duas profundidades, podemos classificá-lo como solo “não sódico” e “não salino” (RICHARDS, 1954).

5.2.3.1 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre a PST (%) do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve apenas interação significativa a $P < 0,01$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) na percentagem de sódio trocável (PST) da palma forrageira de 0 a 20 cm de profundidade. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado (TABELA 24).

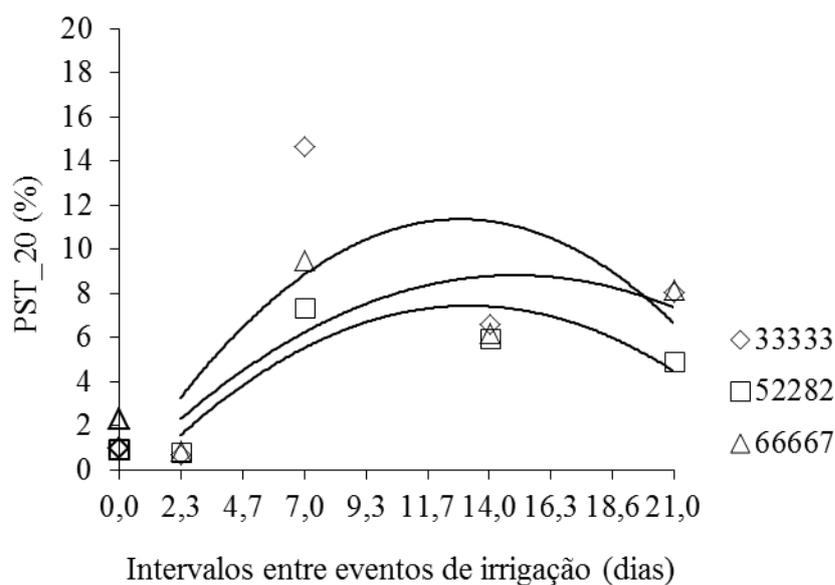
Nas densidades de plantio de 33.333, 52.282 e 66.667 plantas por hectare, apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias irrigados com esgoto doméstico tratado apresentaram diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à

testemunha em condições de sequeiro nas profundidades estudadas. O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias irrigado com água de abastecimento de poço artesiano tubular não apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha, indicando que esse intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa não foi suficiente para influenciar a PST nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, assim como na média das duas profundidades, por apresentar menores quantidades de sódio que o esgoto doméstico que é abundante neste elemento (TABELA 24).

Tabela 24 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para a PST do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

IILF (3,5 mm p/ evento)	PST 0-20 cm		
	33.333	52.282	66.667
2,3	0,68 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,86 ^{ns}
7	14,67 ⁺	7,34 ⁺	9,49 ⁺
14	6,61 ⁺	5,96 ⁺	6,19 ⁺
21	8,07 ⁺	4,91 ⁺	8,16 ⁺
Sequeiro	0,96	0,91	0,86
DMS	3,22		

Na densidade de plantio de 33.333 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 12,89 dias com a PST de 11,36% nos primeiros 0-20 cm de profundidade. Mas na densidade de plantio de 52.282 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 13,62 dias com a PST de 7,43% nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade. E na densidade de plantio de 66.667, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14,97 dias com a PST de 8,82% nos primeiros 0-20 cm de profundidade (FIGURA 33).



$$Y_{(PST20_D33)} = -0,646703 + 1,86262^{**}X - 0,072231^{**}X^2 \quad R^2 = 34,81$$

$$Y_{(PST20_D50)} = -1,182543 + 1,304632^{ns}X - 0,04934^{**}X^2 \quad R^2 = 74,01$$

$$Y_{(PST20_D66)} = -0,301578 + 1,219145^{ns}X - 0,040712^{**}X^2 \quad R^2 = 53,44$$

Figura 33 – PST do solo na camada de 0-20 cm de profundidade após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa fertirrigados com esgoto doméstico tratado contribuíram significativamente para a PST do solo nas densidades estudadas em relação à testemunha (sequeiro). Entretanto, o maior acúmulo de sódio em relação aos demais nutrientes aconteceu na densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare, seguido pela densidade de 66.667 plantas por hectare e depois pela densidade de 52.282 plantas por ha. Na densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare o acúmulo se justifica pela baixa densidade de plantio, assim como pelo baixo aproveitamento de nutrientes em relação às demais densidades. Já na densidade de 66.667 plantas por hectare se justifica pelo maior aproveitamento dos nutrientes, especialmente dos nutrientes mais necessários em relação ao sódio, ficando esse nutriente depositado no solo. Que em menor proporção na densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare demonstrando nessa densidade de plantio certamente a planta absorveu mais sódio do que nos demais densidades. A sequência para a contribuição da PST no solo aconteceu de acordo com a frequência dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, acontecendo da maior frequência para a menor frequência, ou seja, de 7, 14 e 21 dias fertirrigados com esgoto doméstico tratado.

5.2.4 Teores de Na^+ do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve interação significativa a $P < 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para o Sódio (Na^+) do solo na profundidade de 20 cm, mas não houve interação significativa a $P > 0,05$ na profundidade de 40 cm e nem na média das duas profundidades (TABELA 25).

Houve diferença significativa a $P < 0,01$ para a profundidade de 20 cm entre as densidades de plantio, entretanto, para a profundidade de 40 cm e para a média das duas profundidades não houve diferença significativa a $P > 0,05$.

Houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para o sódio nas duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), assim como na sua média.

Apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias na profundidade de 0-20, 20-40 cm, assim como na sua média, apresentaram diferença significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para os valores sódio (Na) do solo. Somente o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias na profundidade de 0-20 cm apresentou diferença estatística negativa significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro) e na profundidade de 20-40 cm, assim como na sua média, não apresentou diferença significativa em relação à testemunha (sequeiro).

O Na do solo nos 0-20 cm de profundidade foi influenciada pelo cultivo da palma forrageira orelha de elefante mexicana e se ajustou ao modelo de regressão quadrático crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 13,82 dias que gerou conteúdo de Na de $112,14 \text{ mg dm}^{-3}$. Nos 20-40 cm de profundidade, se ajustou ao modelo de regressão quadrático crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14,27 dias que gerou o conteúdo de Na de $80,65 \text{ mg dm}^{-3}$. Já a média se ajustou ao modelo de regressão quadrático crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14,02 dias que gerou o conteúdo de Na de $90,39 \text{ mg dm}^{-3}$.

Tabela 25 – Resumo da análise de variância e médias para o teor de sódio – Na⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		NA_0_20	NA_20_40	NA_MED
Blocos	3	433,255234 ^{ns}	528,390588 ^{ns}	356,162391 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	18911,191790 ^{**}	10296,202888 ^{**}	13557,841325 ^{**}
Contraste	1	20826,516166 ^{**}	16207,419636 ^{**}	18444,680935 ^{**}
Regressão Linear	1	14377,619105 ^{**}	11978,631727 ^{**}	13150,764413 ^{**}
Regressão Quadrática	1	22752,150645 ^{**}	12882,899479 ^{**}	17469,041118 ^{**}
Desvio de Regressão	1	17688,481243 ^{**}	115,860709 ^{**}	5166,878831 ^{**}
Resíduo (a)	12	291,782514	465,183172	182,837980
Densidade de Plantio (DP)	2	1389,239128 [*]	387,721799 ^{ns}	159,662171 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	1744,364400 ^{**}	690,624816 ^{ns}	165,102727 ^{ns}
Resíduo (b)	30	388,303613	574,764179	184,081327
CV 1		29,87	46,97	26,23
CV 2		34,46	52,21	26,32

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²		
	NA_20	NA_40	NA_MED
33.333	66,77 a	41,70 a	54,24 a
52.282	51,65 a	45,56 a	48,60 a
66.667	53,14 a	5,049 a	51,81 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ³		
	NA_20	NA_40	NA_MED
2,3	10,33 ⁻	16,83 ^{ns}	13,58 ^{ns}
7	100,73 ⁺	59,61 ⁺	80,17 ⁺
14	77,91 ⁺	78,81 ⁺	78,36 ⁺
21	77,04 ⁺	61,28 ⁺	69,16 ⁺
Sequeiro (testemunha)	19,92	13,05	16,48
DMS	2,80	24,71	15,49

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

As quantidades de Sódio (Na⁺) encontradas na análise de solo feitas antes do cultivo, demonstram valores de 125 mg dm⁻³ ou 250 kg ha⁻¹ nos primeiros 0-20 cm de profundidade e 120 mg dm⁻³ ou 240 kg ha⁻¹ nos 20-40 cm de profundidade. A contribuição da água de esgoto doméstico tratado utilizado na irrigação foi de 161,61 mg dm⁻³ e de água de abastecimento de poço artesiano de 11,5 mg dm⁻³, respectivamente. A água de esgoto doméstico tratado contribui com quase 15 vezes mais Na⁺ do que a água de abastecimento do poço artesiano.

Nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias (144 mm), 14 dias (71,75 mm) e 21 dias (47,8 mm) irrigada com água de esgoto doméstico tratado da um total de 232,71 kg ha⁻¹, 115,95 kg ha⁻¹ e 77,24 kg ha⁻¹ de Na⁺. No intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias (430 mm) irrigada com água de abastecimento de poço artesiano da um total de 49,50 kg ha⁻¹ de Na⁺ no solo, abaixo do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa menos frequente irrigado com esgoto doméstico tratado. Porém, o esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação contribuiu com 147,60 kg ha⁻¹ de Na⁺, mesmo assim, sua mineralização foi lenta e ao final do ciclo ainda havia uma quantidade considerável de esterco a ser decomposto.

Nos primeiros 0-20 cm de profundidade o íon sódio – Na⁺ variou de 10,33 a 100,73 mg dm⁻³ com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias, respectivamente, sendo que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias diferiu estatisticamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a testemunha absoluta (sequeiro) ficou com 19,92 mg dm⁻³, assim como os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 e 14 dias obtiveram a quantidade de Na⁺ de 77,04 e 77,91 mg dm⁻³, respectivamente, e também diferiram significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A irrigação do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias é realizada com aplicação de água de abastecimento de poço artesiano utilizado no abastecimento da comunidade, mas a irrigação do Intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias é realizada com esgoto doméstico tratado, comprovando que a salinização do solo é proveniente do esgoto doméstico que é rico em matéria orgânica e substâncias ricas em sais, como por exemplo os detergentes e os sabões, ou seja, os produtos de limpeza em geral. As concentrações de Na⁺ no efluente de esgoto doméstico tratado variam de 50 a 250 mg L⁻¹. Supondo a aplicação de uma lâmina de 100 mm de efluente no solo, na concentração de 250 mg L⁻¹ de Na⁺, há um aporte de 250 kg ha⁻¹ de Na⁺. Havendo o acúmulo de Na⁺, efeitos negativos para a estrutura do solo podem ocorrer, caracterizando o processo de sodificação.

Os cátions Ca²⁺ e Mg²⁺ são os que predominam na solução e conseqüentemente no complexo de troca de cátions. Quando passa a haver um acúmulo de sais solúveis na solução, geralmente é o Na⁺ que predomina na solução do solo e, desta forma, o Na⁺ pode passar a ser o cátion predominante no complexo de troca devido ao deslocamento de Ca⁺² e Mg⁺², causado pelo fenômeno do produto de ações das massas, com conseqüente precipitação ou lixiviação desses cátions (RICHARDS, 1954). A grande proporção de Na⁺ nos sítios de troca dos minerais de argila reduz a atração entre as partículas do solo, ocasionando expansão e

dispersão. As partículas dispersas movem-se pelo solo ocupando os espaços porosos (IRVINE & REID, 2001) com conseqüente deterioração da estrutura do solo e das propriedades de infiltração de água e aeração, sendo problema sério em solos alcalinos, afetando o crescimento vegetal (RAIJ, 1991; RENGASAMY & OLSSON, 1991). Em valores de pH entre 7,5 e 8,2 o Ca^{2+} pode precipitar no solo na forma de CaCO_3 , ou, com o decréscimo do pH, o composto precipitado pode ter sua solubilidade aumentada (BOUWER & CHANEY, 1974).

Devido ao grande impacto nas propriedades do solo e rendimento das culturas, a determinação dos níveis de Na^+ na água de irrigação é essencial (FEIGIN et al., 1991). A irrigação com efluente comumente resulta em incremento da sodicidade devido à média-alta salinidade e altas concentrações de sódio de muitos efluentes (BALKS et al., 1998).

De 20-40 cm de profundidade o teor de Na^+ do solo nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 2,3 e 14 dias ficaram entre 16,83 e 78,81 mg dm^{-3} , respectivamente, sendo que este último diferiu significativamente apenas com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com 16,83 mg dm^{-3} . A testemunha absoluta (sequeiro) ficou com 13,05 mg dm^{-3} (FIGURA 34).

A elevada concentração salina do meio afeta a disponibilidade, transporte e particionamento da maioria dos nutrientes essenciais pelas plantas, devido ao baixo potencial total do solo e da competição química entre nutrientes e sais, reduzindo o crescimento das plantas. Com o aumento do estresse salino, ocorre um desequilíbrio no transporte de íons de Na^+ e Cl^- e outros nutrientes essenciais às plantas. Os efeitos do NaCl sobre a nutrição mineral resultam da toxicidade dos íons causada pela absorção excessiva do Na^+ e Cl^- afetando principalmente a absorção de K^+ e Ca^{2+} e NO_3^- (HU; SCHMIDHALTER, 2005).

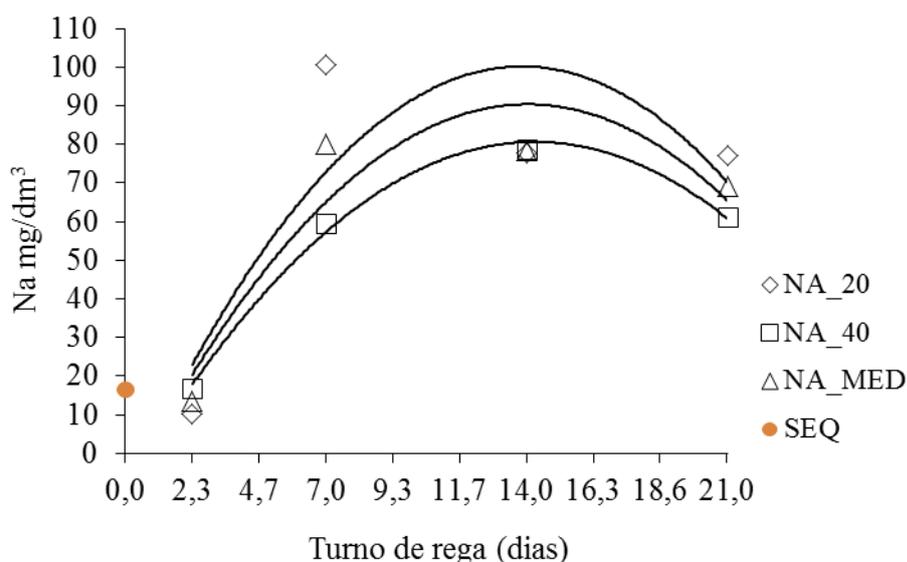
As médias das duas profundidades variaram de 13,58 a 80,17 mg dm^{-3} nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 7 dias, respectivamente, sendo que este último diferiu significativamente apenas do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com 13,58 mg dm^{-3} . A testemunha absoluta (sequeiro) ficou com 16,48 mg dm^{-3} .

Considerando a presença do Na^+ no solo, este apresenta comportamento similar ao do potássio e, nas soluções naturais, ocorre como cátion Na^+ trocável. Esse íon é facilmente removido do solo por lixiviação e, em geral, há menos sódio total que potássio em solos de climas úmidos (RAIJ, 1991).

O estresse salino induz a síntese de ácido abscísico que fecha os estômatos quando transportado para as células guardas, ocorrendo como resultado do fechamento estomático diminuição da fotossíntese e fotoinibição e estresse oxidativo (ZHU, 2007).

Em plantas adaptadas a meios salinos com elevadas concentrações de sódio, esse íon pode substituir em vários graus o potássio como um osmótico vacuolar. Entretanto, plantas sensíveis a sais não podem tolerar uma substituição comparável de potássio por sódio, talvez devido a sua inabilidade de reter sódio firmemente no vacúolo (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A disponibilidade de micronutrientes em solos salinos depende da solubilidade destes nutrientes, do pH e condutividade elétrica da solução e da natureza dos sítios de ligações na superfície de partículas orgânicas e inorgânicas. Dessa forma, a salinidade pode afetar diferencialmente as concentrações de micronutrientes na planta, o que dependerá da espécie e/ou cultivar, como também, do nível de salinidade (HU; SCHMIDHALTER, 2005).



$$Y_{(NA_{20})} = -11,691 + 16,183188^{**}X - 0,585208^{**}X^2 \quad R^2 = 67,73$$

$$Y_{(NA_{40})} = -9,051 + 12,569718^{**}X - 0,440358^{**}X^2 \quad R^2 = 99,54$$

$$Y_{(NA_{MED})} = -10,371 + 14,376451^{**}X - 0,512783^{**}X^2 \quad R^2 = 85,56$$

Figura 34 – Teor de sódio do solo após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Em geral, os sintomas de danos causados pelo estresse salino são a inibição do crescimento, desenvolvimento acelerado, senescência e morte durante a exposição prolongada. A inibição do crescimento é a lesão primária que leva a outros sintomas, embora a morte celular programada possa ocorrer também, sob choque de salinidade severa (ZHU, 2007). Os principais processos das plantas durante o estresse salino como a fotossíntese e síntese de proteína podem ser prejudicados e, como consequência, há redução na expansão da

superfície foliar (PARIDA; DAS 2005), com considerável diminuição na área foliar, biomassa fresca e seca de folhas e raízes (CHARTZOULAKIS; LAPAKI 2000), havendo dessa forma, diminuição significativa na taxa de crescimento das plantas (RHOADES et al., 2009). A alteração significativa na biomassa de raízes e parte aérea incrementa a razão raiz/parte aérea em algumas plantas, à medida que os níveis de NaCl^- aumentam (MELONI et al., 2001). Sob salinidade, as plantas apresentam números de folhas, altura de planta e comprimento de raízes reduzidas. Dessa forma, a análise de crescimento pode ser muito útil no estudo do comportamento vegetal sob diferentes condições ambientais e de cultivo, permitindo também selecionar cultivares ou espécies que apresentem características funcionais adequadas ao ambiente que foi submetida (BENINCASA, 2003).

5.2.4.1 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre sódio (Na^+) do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve apenas interação significativa a $P < 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) no perímetro da palma forrageira aos 375 DAP. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado (TABELA 26).

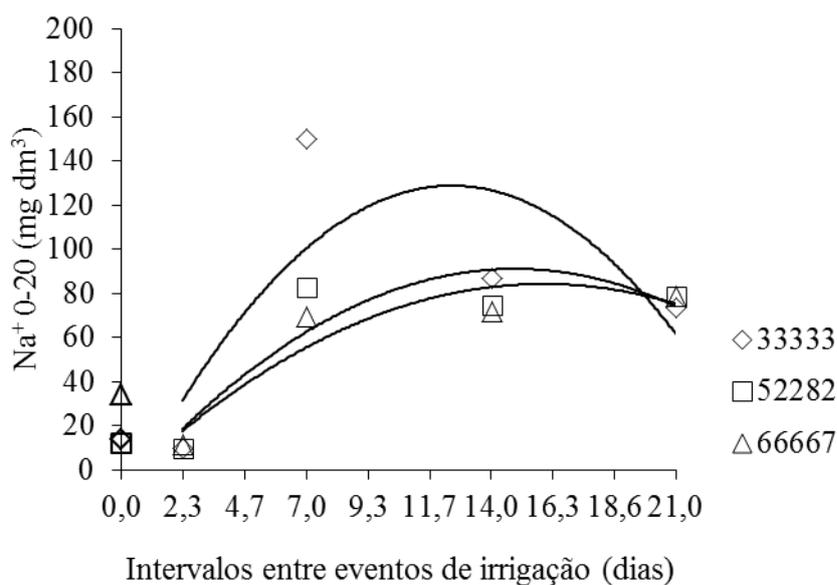
Nas densidades de plantio de 33.333, 52.282 e 66.667 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias apresentaram diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro, indicando que todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa irrigados com esgoto doméstico tratado influenciaram decisivamente para o acúmulo de sódio no solo em relação às condições iniciais de plantio, já que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias irrigado com água de abastecimento de poço tubular artesiano não apresentou diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Pode se inferir que o nutriente contido no esgoto doméstico tratado contribuiu para seu o acúmulo no solo, sendo diferencial entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de acordo com o volume de água aplicado (TABELA 26).

Tabela 26 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para o teor de sódio – (Na^+) do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

IILF (3,5 mm p/ evento)	Na 0-20 cm		
	33.333	52.282	66.667
2,3	9,61 ^{ns}	9,85 ^{ns}	11,53 ^{ns}
7	150,01 ⁺	82,58 ⁺	69,60 ⁺
14	87,12 ⁺	74,86 ⁺	71,76 ⁺
21	73,44 ⁺	78,96 ⁺	78,72 ⁺
Sequeiro	13,69	12,01	34,08
DMS		33,85	

Na densidade de plantio de 33.333 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 12,50 dias com o teor de sódio (Na^+) de 128,86 mg dm^{-3} nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade. Mas na densidade de plantio de 52.282 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14,88 dias com o teor de sódio (Na^+) de 91,17 mg dm^{-3} nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade. E na densidade de plantio de 66.667 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 15,95 dias com o teor de sódio (Na^+) de 84,33 mg dm^{-3} nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade.

O acúmulo de sódio no solo acontece nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de maior para menor frequência irrigados com esgoto doméstico tratado em relação à testemunha (sequeiro). O maior acúmulo de 7 dias, seguido pelos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias, respectivamente. Apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias apresentou menor acúmulo na densidade de 33.33 plantas por hectare (FIGURA 35).



$$Y_{(PST20_D33)} = -17,663775 + 23,447153^{**}X - 0,938037^{**}X^2 \quad R^2 = 53,06$$

$$Y_{(PST20_D50)} = -10,550474 + 13,672134^{ns}X - 0,459397^{**}X^2 \quad R^2 = 78,95$$

$$Y_{(PST20_D66)} = -6,859591 + 11,430207^{ns}X - 0,358185^{*}X^2 \quad R^2 = 87,18$$

Figura 35 – Na⁺ do solo na camada de 0-20 cm de profundidade após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Certamente, além da menor frequência e volume fertirrigado, as plantas desta densidade podem ter aproveitado com mais intensidade esse nutriente em relação aos demais cátions, o que não acontece nas demais densidades, pelo contrário, o fato da planta absorver outros cátions essenciais deve diminuir sua absorção e proporcionar maior acúmulo de sódio no solo.

5.2.5 MO do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para a matéria orgânica do solo – MOS nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm no cultivo da palma forrageira. Assim como não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, mas houve diferença significativa a $P < 0,05$ na média das duas profundidades.

Também não houve interação significativa a $P>0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm no cultivo da palma forrageira, mas a média das duas profundidades foi significativa ao nível a $P<0,05$ (TABELA 27).

Tabela 27 – Resumo da análise de variância e médias para o teor matéria orgânica – MO do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		MO_20	MO_40	MO_MED
Blocos	3	9,335742 [*]	5,598951 ^{ns}	0,756002 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	5,697426 ^{ns}	11,038294 ^{ns}	6,810955 [*]
Contraste	1	4,843632 ^{ns}	41,031332 [*]	18,517504 ^{**}
Regressão Linear	1	1,573838 ^{ns}	0,027753 ^{ns}	0,504853 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	13,654802 [*]	3,074651 ^{ns}	7,422279 [*]
Desvio de Regressão	1	2,717120 ^{ns}	0,019485 ^{ns}	0,799286 ^{ns}
Resíduo (a)	12	2,194196	5,482375	1,421495
Densidade de Plantio (DP)	2	8,672058 ^{ns}	14,035295 ^{ns}	9,993348 [*]
Interação (TRxDP)	8	1,339661 ^{ns}	9,297514 ^{ns}	2,774910 ^{ns}
Resíduo (b)	30	3,393112	7,505183	2,948487
CV 1		29,95	45,84	23,72
CV 2		37,25	53,63	34,16

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²		
	MO_20	MO_40	MO_MED
33.333	4,21 a	4,22 a	4,22 a
52.282	5,49 a	5,23 a	5,36 a
66.667	5,14 a	5,88 a	5,51 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ³		
	MO_20	MO_40	MO_MED
2,3	4,64 ^{ns}	4,48 ^{ns}	4,56 ⁻
7	4,97 ^{ns}	4,87 ^{ns}	4,92 ^{ns}
14	5,65 ^{ns}	5,02 ^{ns}	5,34 ^{ns}
21	3,96 ^{ns}	4,41 ^{ns}	4,19 ⁻
Sequeiro (testemunha)	5,51	6,76	6,14
DMS	1,69	2,68	1,36

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Para a MO do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para os valores da matéria orgânica (MO) do solo. Somente na média das profundidades, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 21 dias apresentaram diferença estatística negativa significativa em relação à testemunha (sequeiro), já os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 14 dias não apresentaram diferença estatística significativa em relação à testemunha (sequeiro).

A MO do solo nos 0-20 cm de profundidade foi influenciada pelo cultivo da palma forrageira orelha de elefante mexicana e se ajustou ao modelo de regressão quadrático crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 10,84 dias que gerou conteúdo de MO de $5,52 \text{ g kg}^{-1}$. Nos 20-40 cm de profundidade, não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o valor de $4,69 \text{ g kg}^{-1}$. Já a média se ajustou ao modelo de regressão quadrático crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 11,05 dias que gerou o conteúdo de MO de $5,28 \text{ g kg}^{-1}$ (FIGURA 36). Sem especificação para determinada cultura, Ribeiro et al., (1999) afirmam que o nível crítico para MO no solo é de 40 g kg^{-1} , e que, valores superiores a 70 g kg^{-1} são classificados como “Muito bom”. Entre estes valores está a classe considerada como “Bom”. Segundo Matiello (1991), em solos arenosos o teor adequado de MO é de 20 g kg^{-1} ou 40 t ha^{-1} , enquanto em solos argilosos, a riqueza em MO ocorre em teores superiores a 50 g kg^{-1} ou 100 t ha^{-1} . Ou seja, o nível crítico é de 80 t ha^{-1} e muito bom acima de 140 t ha^{-1} .

A composição química do esterco bovino aplicado durante a adubação de fundação com pH de 7,08 demonstra valores de MO da ordem de $407,24 \text{ g kg}^{-1}$ ou $814,48 \text{ t ha}^{-1}$, assim como elevados conteúdos de macro e micronutrientes essenciais às plantas (TABELA 7). Porém, o esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação não estava curtido e sua mineralização foi muito lenta e ao final do ciclo ainda havia uma quantidade considerável de esterco a ser decomposto. A baixa decomposição da MO orgânica seguramente afetou seu conteúdo no solo, como também os nutrientes contidos nele e por sua vez a disponibilidade para a planta.

Nos primeiros 0-20 cm de profundidade a MO do solo variou de $3,96$ a $5,65 \text{ g kg}^{-1}$ com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 e 14 dias, respectivamente, não havendo diferença significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta em condições de sequeiro ficou

com $5,51 \text{ g kg}^{-1}$ sem haver diferença significativa em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa.

Nos demais 20-40 cm de profundidade a quantidade de matéria orgânica – MO do solo variou entre $4,41$ e $5,02 \text{ g kg}^{-1}$ nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 21 e 14 dias, respectivamente, não havendo diferença significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta em condições de sequeiro ficou com $6,76 \text{ g kg}^{-1}$, mas também não apresentou diferença significativa em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa.

Em relação às médias das duas profundidades, estas variaram de $4,19$ a $5,34 \text{ g kg}^{-1}$ nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 e 14 dias, respectivamente, não havendo diferença estatística em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta em condições de sequeiro apresentou o teor de MO de $6,14 \text{ g kg}^{-1}$, apresentando diferença estatística significativa em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa.

Considerando a classe de interpretação de fertilidade do solo para a matéria orgânica, de acordo com Ribeiro et al., (1999), a quantidade de matéria orgânica nas profundidades (0-20 e 20-40, assim como na sua média) se encontra “muita baixa”. Apesar da grande quantidade de matéria orgânica aplicada, este fato se justifica pela baixa qualidade da matéria orgânica em relação a sua mineralização (alta relação C/N). Ao proporcionar o abaixamento do pH do solo, também se contribuiu para limitação do crescimento de microrganismos responsáveis pela mineralização, resultando assim em uma mineralização mais lenta e, conseqüentemente, menor conteúdo de matéria orgânica no solo.

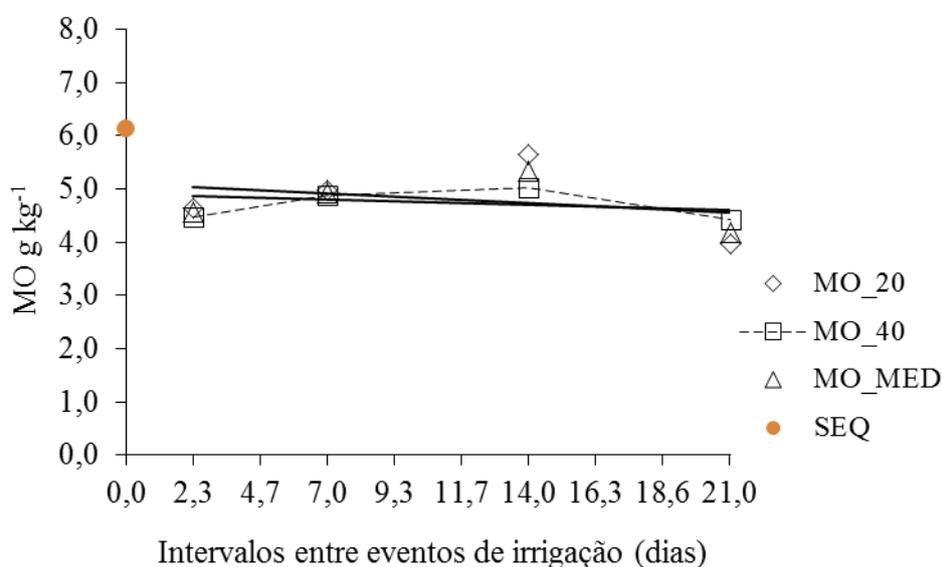
Pela quantidade de MO no solo há condições de se estimar o conteúdo de nitrogênio no solo. Desta forma, nos primeiros 0-20 cm de profundidade temos a menor e a maior quantidade de matéria orgânica nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 e 14 dias com $3,96$ e $5,65 \text{ g kg}^{-1}$, cuja quantidade de nitrogênio (N) fica em $7,92$ e $11,3 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. A testemunha absoluta (sequeiro) com a quantidade de matéria orgânica de $6,76 \text{ g kg}^{-1}$, ficou com a quantidade de N de $13,52 \text{ t ha}^{-1}$.

De 20-40 cm de profundidade temos o menor e o maior teor de matéria orgânica também nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 e 14 dias com $4,41$ e $5,02 \text{ g kg}^{-1}$, cuja quantidade de nitrogênio (N) fica em $8,82$ e $10,04 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

Na média das duas profundidades, a menor e a maior quantidade de matéria orgânica também foram nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 e 14 dias com $4,19$ e $5,34 \text{ g kg}^{-1}$, com as quantidades de N da ordem de $8,38$ e $10,68 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

O grande estoque de N no solo ocorre em forma orgânica, como parte da MOS, cuja relevância para a fertilidade do solo é bem estabelecida. A mineralização da MO libera N inorgânico, o qual constitui a principal fonte de N para as plantas em muitos sistemas agrícolas (FIGURA 36).

Jacomine et al. (1971, 1972a, 1972b; 1973, 1975a, 1975b; 1977), estudando a quantidade de matéria orgânica nos solos mais frequentes do semiárido, estimaram o valor de 15,34 g kg⁻¹ para Argissolos com 15% de predominância em todo semiárido, como é o caso do solo do experimento. Para entender melhor, transformaremos os valores de N para a unidade utilizada anteriormente, diremos que este solo possui 1,53% ou 30,68 t ha⁻¹ de matéria orgânica.



$$Y_{(MO_{20})} = 3,836 + 0,310918 * X - 0,014336 * X^2 \quad R^2 = 84,86$$

$$Y_{(MO_{40})} = 4,69$$

$$Y_{(MO_{MED})} = 3,987 + 0,233605 * X - 0,01057 * X^2 \quad R^2 = 90,84$$

Figura 36 – Matéria Orgânica (MO) do solo após um ano de cultivo da palma forrageira adubada em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Há muito tempo se reconhece a importância da MO para CTC dos solos, contribuindo com 20-90% da CTC das camadas superficiais de solos minerais. Em solos tropicais com cargas dependente de pH, em estado avançado de intemperismo, com a fração argila dominada por caulinita e oxihidróxidos de Fe e Al, a contribuição da MOS é maior.

Oscilações constantes de temperatura e umidade podem aumentar o número de ciclo de umedecimento e secagem do solo, alterando drasticamente as populações de organismos. Dada à diversidade de possibilidades, é difícil prever como os microrganismos serão

alterados, mas é sabido que alguns grupos de organismos podem ser favorecidos em detrimento de outros.

A água é de extrema importância para a decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos. A água é uma molécula polar, que é retida por pontes de H pelos grupamentos funcionais hidrofílicos e é repelida pelas cadeias orgânicas apolares da MOS. De forma geral, a MOS pode reter 20 vezes sua massa em água (Stevenson, 1994), sendo parte retida na estrutura interna, com baixa disponibilidade para as plantas. O aumento da polimerização das substâncias húmicas e da sua interação com a fração mineral do solo pode diminuir a capacidade do solo em reter água. Muitas vezes, altos teores de MOS refletem o grande caráter hidrofóbico do solo, visto que a porção hidrofílica da MOS orienta-se na direção do interior do agregado, enquanto a porção hidrofóbica direciona-se para a face externa, formando uma camada repelente de água. A exposição do solo a intensos ciclos de umedecimento e secagem (por exemplo, solos de áreas quentes e irrigadas e com baixo aporte orgânico) pode favorecer a decomposição/mineralização da matéria orgânica mais ativa.

A MOS também pode reter água na estrutura ativa e na matéria macrororgânica. Essa também é importante para manter o equilíbrio biológico do solo, tendo papel importante em regiões secas, com grande déficit hídrico. A retenção de água pela MOS depende da textura do solo. Em solos com textura mais arenosa, a retenção de água é mais sensível à quantidade de MOS, quando comparados a solos de textura fina.

5.2.6 CTC do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve interação significativa a $P < 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para a capacidade de troca catiônica – CTC do solo na profundidade de 0-20 cm, mas não foi significativa a $P > 0,05$ para a profundidade de 20-40 cm, entretanto, para a média das duas profundidades houve interação significativa a $P < 0,05$. Assim como não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e na sua média (TABELA 28).

Também não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa na profundidade de 0-20 cm, mas já houve interação

significativa a $P < 0,01$ na profundidade de 20-40 cm, assim como na sua média para a CTC do solo.

Para a CTC do solo nas profundidades de 0-20 cm, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro. Somente na profundidade de 20-40 cm, assim como na média das profundidades estudadas, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 7 e 21 dias apresentaram diferença negativa significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro), e os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 14 dias não apresentaram diferença estatística significativa em relação à mesma testemunha (TABELA 28).

Pode-se verificar que a variável capacidade de troca catiônica (CTC) sob o cultivo da palma forrageira orelha de elefante mexicana nos 0-20 cm, assim como a média das profundidades não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, mas aos 20-40 cm de profundidade se ajustou a um modelo de regressão linear decrescente a $P < 0,01$ em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aplicação de 3,5 mm de água de esgoto doméstico tratado a cada 7, 14 e 21 dias e 3,5 mm de água de abastecimento de poço artesiano a cada 2,3 dias na capacidade de campo como testemunha absoluta.

Nos primeiros 0-20 cm e na média das profundidades os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo suas médias gerais para a CTC do solo 5,18 e 5,04 cmolc dm^{-3} . Mas aos 20-40 cm de profundidade os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com a CTC do solo de 6,28 cmolc dm^{-3} .

A análise química do solo realizada a 0-20 cm de profundidade apresentou CTC pH 7,0 de 4,04 cmolc dm^{-3} e aos 20-40 cm de profundidade apresentou 3,17 cmolc dm^{-3} (TABELA 5). Porém, a composição química do esterco bovino aplicado durante a adubação de fundação apresenta CTC de 50,33 cmolc dm^{-3} (TABELA 7). No entanto, o esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação não estava curtido e sua contribuição para a CTC do solo aconteceu de maneira muito lenta, pois ao final do ciclo ainda havia uma quantidade considerável de esterco a ser decomposto.

De acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), a interpretação para a CTC do solo é a seguinte: CTC a pH 7,0 (T) – menor que 4,31 cmolc dm^{-3} (baixo), de 4,31 a 8,6 cmolc dm^{-3} (médio) e maior que 8,6 cmolc dm^{-3} (muito bom).

Tabela 28 – Resumo da análise de variância e médias para a capacidade de troca catiônica – CTC do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		CTC 0_20	CTC 20_40	CTC_MED
Blocos	3	1,309811 ^{ns}	1,279280 ^{ns}	0,870542 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	6,635757 ^{ns}	14,363125 ^{**}	9,487425 ^{**}
Contraste	1	5,557096 ^{ns}	6,408254 ^{ns}	5,975034 [*]
Regressão Linear	1	0,000062 ^{ns}	13,779002 ^{**}	3,430117 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	2,417470 ^{ns}	4,489417 ^{ns}	3,374046 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	18,568398 [*]	32,775826 ^{**}	25,170501 ^{**}
Resíduo (a)	12	2,686630	1,350355	0,914306
Densidade de Plantio (DP)	2	2,671413 ^{ns}	0,089794 ^{ns}	0,886977 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	2,739536 [*]	0,911644 ^{ns}	1,422990 [*]
Resíduo (b)	30	1,051018	1,148983	0,475127
CV 1		30,76	20,10	17,21
CV 2		19,24	18,54	12,41

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²		
	CTC_20	CTC_40	CTC_MED
33.333	5,33 a	5,83 a	5,58 a
52.282	5,69 a	5,81 a	5,75 a
66.667	4,96 a	5,70 a	5,33 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ²		
	CTC 0_20	CTC 20_40	CTC_MED
2,3	5,81 ^{ns}	7,13 ^{ns}	6,47 ^{ns}
7	4,11 ^{ns}	4,50 ⁻	4,30 ⁻
14	5,62 ^{ns}	5,98 ^{ns}	5,80 ^{ns}
21	5,17 ^{ns}	4,86 ⁻	5,01 ⁻
Sequeiro (testemunha)	5,94	6,43	6,19
DMS	1,88	1,33	1,09

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

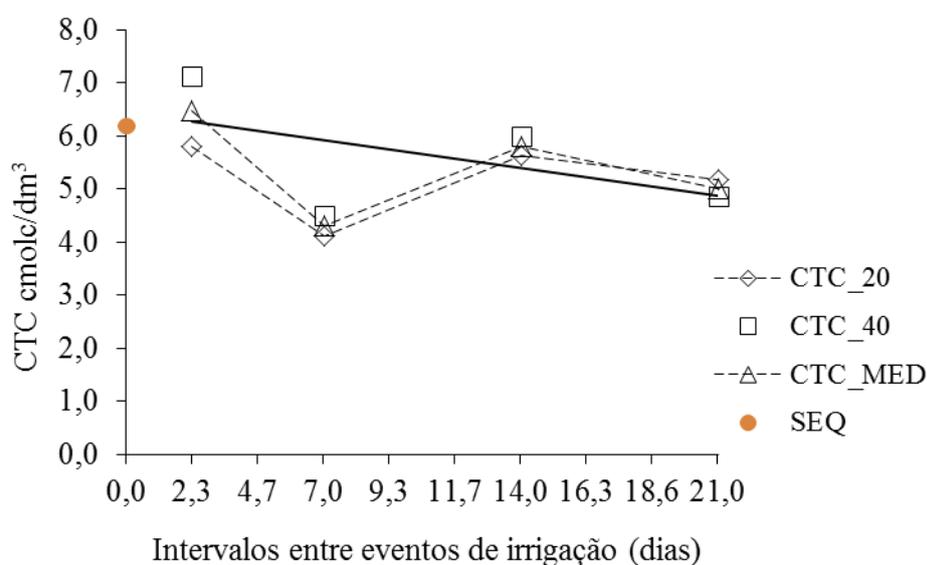
3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

A CTC a pH 7,0 do solo nos primeiros 0-20 cm de profundidade variou de 4,11 a 5,81 cmolc dm⁻³ com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 2,3 dias, respectivamente, não havendo diferença estatística significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) ficou

com $5,94 \text{ cmolc dm}^{-3}$, não havendo diferença em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa.

Conforme Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), a classificação do solo quanto à análise da CTC a pH 7,0 nos 0-20 cm de profundidade em todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e na testemunha (sequeiro) demonstrou resultado dentro da faixa de “médio”, apesar da aplicação considerável de esterco bovino, todavia, há de se considerar que o material orgânico aplicado estava em estado de decomposição lenta, restando ao final do ciclo da cultura, muito material a ser decomposto.

Com a aplicação dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, há uma tendência para lixiviação das bases trocáveis, com ênfase no maior intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa com água de abastecimento de poço artesiano, por possuir conteúdos baixos de cátions em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa irrigados com esgoto doméstico tratado, apesar de não apresentarem diferença estatística significativa aos 0-20 cm de profundidade. No entanto, nos 20-40 cm de profundidade o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias (água de abastecimento de poço artesiano), juntamente com a testemunha absoluta (sequeiro), apresenta diferença estatística em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (FIGURA 37).



$$Y_{(CTC_{20})} = 5,18$$

$$Y_{(CTC_{40})} = 6,457 - 0,075744 * X$$

$$Y_{(CTC_{MED})} = 5,04$$

$$R^2 = 26,99$$

Figura 37 – Capacidade de troca catiônica – CTC do solo sob um ano de cultivo de palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

O intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias por acumular mais nutrientes, oriundo do esgoto doméstico tratado, em relação aos demais, apresentou menor CTC do solo, mas essa tendência se inverte com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 21 dias, havendo uma tendência do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias lixiviar mais nutrientes em relação ao intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias, resultando em uma maior CTC em relação a este último.

De 20-40 cm de profundidade a CTC a pH 7,0 do solo variou de 4,50 a 7,13 cmolc dm^{-3} nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 2,33 dias, respectivamente, sendo que este último diferiu significativamente em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) apresentou CTC de 6,43 cmolc dm^{-3} , havendo diferença significativa apenas com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias.

As médias das duas profundidades variaram de 4,30 e 6,47 cmolc dm^{-3} nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 2,3 dias, respectivamente, sendo que este último diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) apresentou CTC de 6,19 cmolc dm^{-3} , diferindo estatisticamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, com exceção do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias que não diferiu estatisticamente da testemunha.

Para definição do melhor intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa a ser adotado, dentre os que utilizam esgoto doméstico tratado na irrigação, em um programa de manejo da irrigação, pode-se sugerir o menor intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa com economia de água com produção significativa, visto que a tendência a CTC mais baixa pode ser atribuída aos cátions que já estão adsorvidos aos coloides do solo que tiveram origem na adubação de fundação e/ou na própria fertirrigação.

Apesar da CTC do solo se apresentar como média encontra-se próximo a CTC de solos, cujo material predominante, conforme evolução do solo é a caulinita ou óxidos de ferro e alumínio. De acordo com o material de origem e os fatores de formação do solo, o mesmo se evolui para um Latossolo, visto que o mesmo é um Argissolo profundo. Portanto, o aumento de pH melhorará significativamente a troca catiônica (RUSSEL & RUSSEL, 1968).

O valor da CTC extremamente baixo reflete que este solo, sob condições naturais ácidas e/ou médio sob condições antrópicas de acidificação, apresenta baixa e média capacidade de reter cátions, mesmo tendo 407,24 g kg^{-1} de matéria orgânica e 100 g kg^{-1} de argila nos primeiros 0-20 cm de profundidade e 380 g kg^{-1} de argila nos 20-40 cm de

profundidade. Reflete ainda que as argilas deste solo são de baixa atividade, formadas provavelmente por caulinita e/ou sesquióxidos de ferro e alumínio.

O potencial de perdas por lixiviação é marcante sob condições naturais e antrópicas (baixa e média CTC), apesar de o solo apresentar 100 e 480 g kg⁻¹ de argila nos 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente. Este potencial de perdas pode ser sensivelmente reduzido por calagem adequada deste solo e a consequente geração de cargas dependentes de pH. Ou mesmo, resolver à situação antrópica que gera acidez no solo, no caso a qualidade do esterco bovino aplicado com altas taxas de mineralização, visto que após a mineralização do esterco no solo há uma frente de alcalinização, fazendo retornar o pH do solo a níveis originais.

5.2.6.1 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre a CTC do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

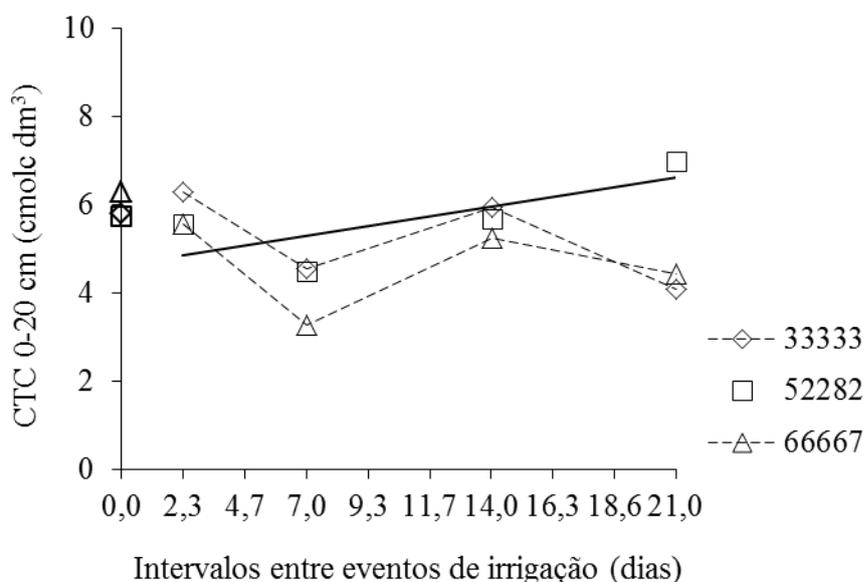
De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve interação significativa a $P < 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo sob o cultivo de da palma forrageira nos primeiros 0-20 cm de profundidade de solo. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado (TABELA 29).

Nos primeiros 0-20 cm de profundidade de solo e nas densidades de 33.333 e 52.282 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para a variável CTC do solo, indicando que nessas densidades a CTC do solo permanece inalterada em relação às condições iniciais de plantio. Entretanto, na densidade de plantio de 66.667 plantas ha⁻¹, apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias, irrigado com esgoto doméstico tratado, apresentou diferença estatística negativa significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro) para a variável CTC do solo (TABELA 29).

Tabela 29 – Teste de Dunnett resumo da análise da variância e médias para a capacidade de troca catiônica – CTC do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

IILF (3,5 mm p/ evento)	CTC_0-20 cm		
	33.333	52.282	66.667
2,3	6,29 ^{ns}	5,57 ^{ns}	5,57 ^{ns}
7	4,45 ^{ns}	4,48 ^{ns}	3,28 ⁻
14	5,95 ^{ns}	5,69 ^{ns}	5,24 ^{ns}
21	4,09 ^{ns}	6,98 ^{ns}	4,43 ^{ns}
Sequeiro	5,79	5,73	6,29
DMS	2,30		

Na densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral a CTC de 5,22 cmolc dm⁻³ nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade. Mas na densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão linear crescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias com a CTC em 6,61 cmolc dm⁻³ na mesma profundidade. E na densidade de plantio de 66.667 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral a CTC de 4,63 cmolc dm⁻³ nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade (FIGURA 38).



$$Y_{(CTC20_D33)} = 5,22$$

$$Y_{(CTC20_D50)} = 4,641448 + 0,093829^{**}X$$

$$Y_{(CTC20_D66)} = 4,63$$

$$R^2 = 56,01$$

Figura 38 – CTC do solo na camada 0-20 cm de profundidade após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

No solo em estudo, a contribuição para a geração de cargas negativas de forma significativa têm sua origem nas cargas dependentes de pH devido a formação do solo pelo material de origem. Em todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e nas densidades de plantio percebe-se um abaixamento da CTC do solo influenciada pela acidificação provocada pela decomposição da matéria orgânica com conseqüente redução do pH do solo. Desta forma, sugere haver no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias e na densidade de 66.667 plantas por hectare uma frente de acidificação, provocada pela matéria orgânica da adubação de fundação na presença de umidade suficiente que favoreça a decomposição, pela própria matéria orgânica proveniente do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa e pelo adensamento com a acidificação via raízes densas da palma, influenciando ao ponto de reduzir de forma significativa o pH do solo, conseqüentemente, diminuindo também a CTC do solo de carga dependente de pH.

Apesar de haver diminuição da CTC nos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com aumento da densidade de plantio, não foi suficiente para influenciar significativamente a CTC do solo em relação à condição inicial de plantio demonstrada pela testemunha (sequeiro). Apesar de não haver diferença estatística significativa, o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias foi o único intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa a apresentar um leve aumento de CTC em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, inclusive a testemunha (sequeiro). O que pode explicar essa diferença, mesmo sendo irrigada com água de abastecimento de poço tubular artesiano, é a maior frequência de irrigação em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, mantendo o solo na capacidade de campo que, apesar de propiciar uma frente de acidificação com conseqüente abaixamento do pH, também contribuiu mais para a decomposição da MO com conseqüente geração de carga líquida negativa, fazendo elevar a CTC acima dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de menor frequência, neste caso fertirrigados com esgoto doméstico tratado.

5.2.6.2 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre a CTC do solo de 20 a 40 cm de profundidade.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve apenas interação significativa a $P < 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com

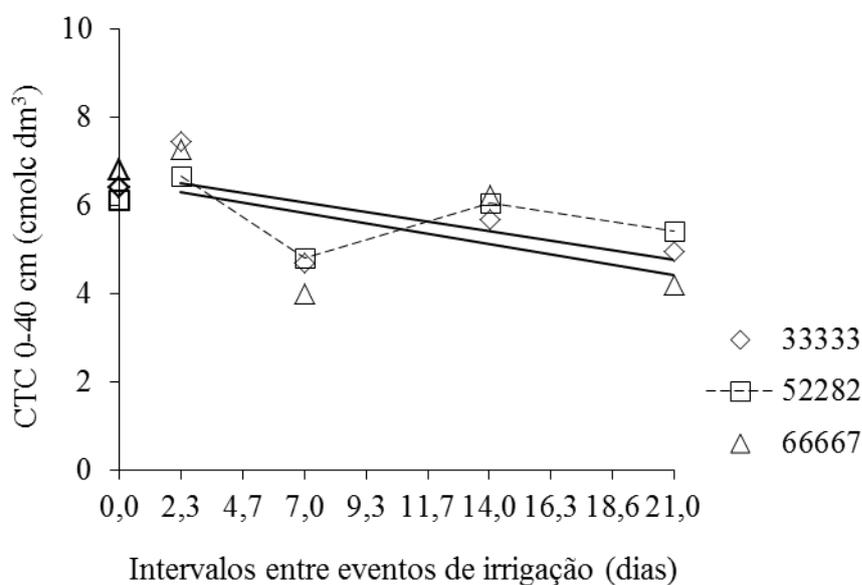
lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) no perímetro da palma forrageira aos 375 DAP. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado (TABELA 30).

Nos 20 a 40 cm de profundidade de solo e nas densidades de 33.333 e 52.282 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para a variável CTC do solo, indicando que nessas densidades a CTC do solo permanece inalterada em relação às condições iniciais de plantio. Entretanto, na densidade de plantio de 66.667 plantas por ha, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 21 dias, irrigados com esgoto doméstico tratado, apresentaram diferença estatística negativa significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro) para a variável CTC do solo (TABELA 30).

Tabela 30 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para a capacidade de troca catiônica – CTC do solo na camada de 20-40 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

IILF (3,5 mm p/ evento)	CTC_20-40 cm		
	33.333	52.282	66.667
2,3	7,44 ^{ns}	6,67 ^{ns}	7,28 ^{ns}
7	4,68 ^{ns}	4,81 ^{ns}	4,00 [*]
14	5,67 ^{ns}	6,06 ^{ns}	6,22 ^{ns}
21	4,95 ^{ns}	5,41 ^{ns}	4,20 [*]
Sequeiro	6,39	6,10	6,81
DMS	1,98		

Na densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com a CTC em $6,50 \text{ cmolc dm}^{-3}$ nos 20 a 40 cm de profundidade. E na densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral a CTC de $5,74 \text{ cmolc dm}^{-3}$ 20 a 40 cm de profundidade. Na densidade de plantio de 66.667 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com a CTC em $6,31 \text{ cmolc dm}^{-3}$ nos 20 a 40 cm de profundidade (FIGURA 39).



$$Y_{(CTC40_D33)} = 6,71618 - 0,092848 * X$$

$$R^2 = 37,30$$

$$Y_{(CTC40_D50)} = 5,74$$

$$R^2 = ns$$

$$Y_{(CTC40_D66)} = 6,545928 - 0,100964 * X$$

$$R^2 = 26,91$$

Figura 39 – CTC do solo na camada de 20-40 cm de profundidade após um ano de cultivo da palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Apesar de haver um aumento, ainda que não significativo, da CTC do solo com o aumento da densidade de plantio, apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 21 dias na densidade de plantio de 66.667 plantas por hectare apresentaram diminuição significativa da CTC do solo em relação à testemunha (sequeiro). Nesta profundidade também se sugere haver uma frente de acidificação provocada pela matéria orgânica da adubação e fertirrigação aplicada, assim como das raízes das plantas, especialmente na maior densidade de plantio, provocando abaixamento do pH e conseqüentemente abaixamento da CTC do solo em relação ao cultivo em sequeiro (testemunha) que representa a condição inicial do cultivo experimental.

Nesta profundidade fica evidente a diferença de valores da CTC do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias em relação aos demais e à testemunha, mesmo que essa diferença não seja significativa. Os valores maiores de CTC do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias devem-se a contribuição da maior frequência de irrigação em relação aos demais, favorecendo a decomposição da MO, contribuindo com mais carga líquida negativa e aumento da CTC do solo quando comparados com os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa.

De maneira geral, a CTC do solo na profundidade de 20-40 cm é maior em termos absolutos, mesmo que não significativa, em relação à profundidade de 0-20 cm de acordo com

os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e as densidades de plantio. Isso se justifica pela quantidade de argila que dispõe as duas profundidades, sendo o valor superior na profundidade de 20-40 cm, resultando em CTC mais elevada do que na superfície.

As hipóteses a serem levantadas quanto a redução da CTC no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e especialmente no de 21 dias, ambos na densidade de plantio de 66.667 plantas por hectare, são a frente de acidificação (MO da adubação, fertirrigação e ação das raízes) e a baixa disponibilidade hídrica, que atuam impedindo a atividade microbiana, resultando em valores baixos da CTC, conforme o ocorrido.

5.2.6.3 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre a CTC do solo na média das duas profundidades.

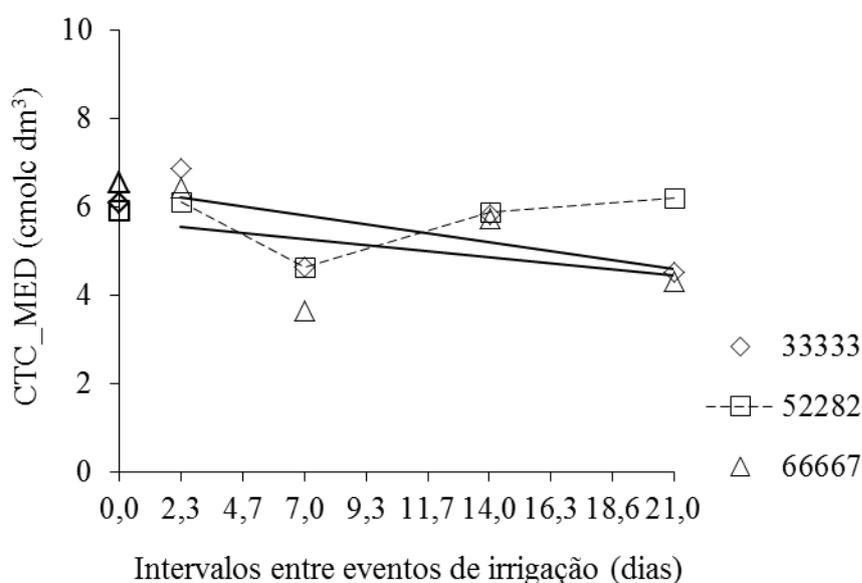
De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve apenas interação significativa a $P < 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) no perímetro da palma forrageira aos 375 DAP. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado (TABELA 31).

Na média das profundidades dos solos estudadas e na densidade de 33.333 plantas por hectare apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias apresentou diferença estatística significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para a variável CTC do solo, indicando que esse foi o único intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa, fertirrigado com esgoto doméstico tratado, que contribuiu com o acúmulo de nutrientes, portanto, bases para elevar a CTC acima dos valores da testemunha (sequeiro) que os diferenciasse estatisticamente. Os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 14 e 21 dias não apresentaram diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Na mesma profundidade e na densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Assim como, na densidade de plantio de 66.667 plantas por ha, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também não apresentaram diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro) para a variável CTC do solo (TABELA 31).

Tabela 31 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para a capacidade de troca catiônica – CTC do solo na camada de 20-40 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

IILF (3,5 mm p/ evento)	CTC_MÉDIA DAS PROFUNDIDADES		
	33.333	52.282	66.667
2,3	6,87 ^{ns}	6,12 ^{ns}	6,42 ^{ns}
7	4,62	4,65	3,64
14	5,81 ^{ns}	5,87 ^{ns}	5,73 ^{ns}
21	4,52	6,20 ^{ns}	4,32
Sequeiro	6,09	5,92	6,55
DMS	1,42		

Na densidade de plantio de 33.333 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com a CTC em 6,20 cmolc dm⁻³ na média das duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) (FIGURA 40).



$$Y_{(CTCMED_{D33})} = 6,404603 - 0,085764 * X \quad R^2 = 39,93$$

$$Y_{(CTCMED_{D50})} = 5,71 \quad R^2 = ns$$

$$Y_{(CTCMED_{D66})} = Y = 5,667943 - 0,057794 * X \quad R^2 = 13,76$$

Figura 40 – CTC do solo sob o cultivo de palma forrageira na camada de 20-40 cm de profundidade aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado.

E na densidade de plantio de 52.282 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral a CTC de 5,71 cmolc dm⁻³ na média das duas profundidades. Na densidade de plantio de 66.6687 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também se ajustaram a um modelo de regressão linear decrescente com a equação da reta resultando no intervalo entre

eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com a CTC em $5,53 \text{ cmolc dm}^{-3}$ na média das duas profundidades.

Na CTC média das duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) do solo nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 21 dias, fertirrigados com esgoto doméstico tratado, nas densidades de plantio de 33.333 e 66.667 plantas por ha, pode-se inferir que há influência dos dois fatores devido ao cálculo das médias. Endente-se haver a atuação conjunta de dois fatores que influenciam mais fortemente em um dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa do que do outro: a primeira hipótese a se levantar é a frente de acidificação, que atua mais fortemente no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias e na densidade de plantio de 66.667 plantas por ha, provocado pela dissociação dos grupamentos contendo H^+ da matéria orgânica da adubação, da fertirrigação e da ação acidificante das próprias raízes; a segunda hipótese a se propor é a escassez hídrica (ciclos de umedecimento e secagem) que impede o crescimento microbiano com baixa decomposição do material orgânico, que atua mais fortemente no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias e na densidade de plantio de 33.333 plantas por ha; e todas as hipóteses influenciam a CTC do solo de forma negativa, ou seja, diminuindo a CTC em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e da própria testemunha em condições de sequeiro.

5.2.7 P do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para o Fósforo (P) do solo na profundidade de 0-20 e 20-40 cm no cultivo da palma forrageira. Assim como não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ nas profundidades estudadas.

No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para o pH nas duas profundidades (20 e 40 cm), assim como na sua média.

Para o P do solo nas profundidades de 0-20 cm, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7 e 21 dias apresentaram diferença significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro, apenas o intervalo entre eventos de

irrigação com lâmina fixa de 14 dias não apresentou diferença estatística significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro) (TABELA 32).

Tabela 32 – Resumo da análise de variância e médias para o teor fósforo – P do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		P_0_20	P_20_40	P_MED
Blocos	3	529,904588 ^{ns}	121,385175 ^{ns}	231,728189 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	1548,772899 ^{**}	1066,036460 ^{**}	1171,577748 ^{**}
Contraste	1	3849,918396 ^{**}	801,142935 ^{**}	2040,879243 ^{**}
Regressão Linear	1	69,616910 ^{ns}	117,098196 ^{ns}	1,534383 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	31,261558 ^{ns}	369,527598 ^{ns}	46,456863 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	2244,292058 ^{**}	2976,373481 ^{**}	2597,443256 ^{**}
Resíduo (a)	12	234,702972	85,353909	97,662158
Densidade de Plantio (DP)	2	437,651313 ^{ns}	246,560096 ^{ns}	334,711610 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	593,438247 ^{ns}	115,172654 ^{ns}	240,118079 ^{ns}
Resíduo (b)	30	529,140567	131,730438	194,267347
CV 1		73,12	91,99	63,77
CV 2		109,79	114,28	89,94

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²		
	P_20	P_40	P_MED
33.333	15,76 a	6,26 a	11,01 a
52.282	24,84 a	13,19 a	19,02 a
66.667	22,25 a	10,68 a	16,47 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ²		
	P_20	P_40	P_MED
2,3	22,81 ⁺	1,97 ^{ns}	12,39 ^{ns}
7	34,65 ⁺	24,47 ⁺	29,71 ⁺
14	15,55 ^{ns}	6,76 ^{ns}	11,16 ^{ns}
21	26,51 ⁺	14,28 ⁺	20,39 ⁺
Sequeiro (testemunha)	4,93	2,73	3,83
DMS	17,56	10,59	11,32

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Já para os 20-40 cm de profundidade, assim como na sua média, apenas os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 21 dias apresentaram diferença estatística significativa a $P < 0,05$ em relação à testemunha (sequeiro). Mas os intervalos entre eventos de

irrigação com lâmina fixa de 2,3 e 14 dias não apresentaram diferença estatística significativa em relação à testemunha (sequeiro).

Em todas as profundidades estudadas (0-20 e 20-40 cm), assim como na sua média, os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo suas médias gerais para P solo de 24,96, 11,87 e 18,41 mg dm⁻³, respectivamente (FIGURA 41).

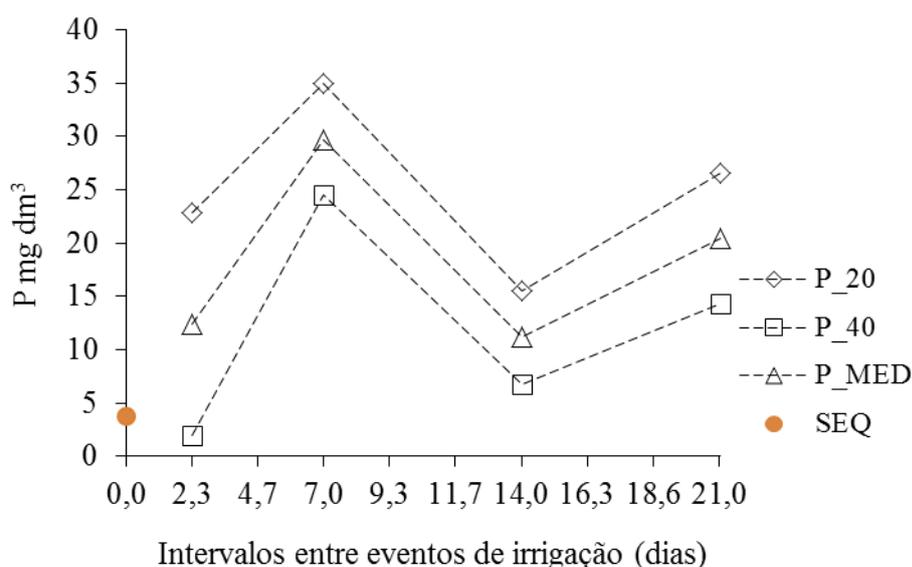
As quantidades de fósforo (P) encontradas na análise de solo feitas antes do cultivo, demonstram valores de 7,7 mg dm⁻³ nos primeiros 0-20 cm de profundidade com 10% de argila e 1,4 mg dm⁻³ em 20-40 cm de profundidade com 38% de argila. Esses valores, de acordo com a classificação proposta por Cavalcanti (1998), demonstram uma “baixa” quantidade de P no solo. E de acordo com a classificação proposta Ribeiro et al. (1999), demonstram uma “baixa” e “muito baixa” quantidade deste nutriente no solo, respectivamente.

Nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias (144 mm), 14 dias (71,75 mm) e 21 dias (47,8 mm) irrigada com água de esgoto doméstico tratado gera um total de 10,8 kg ha⁻¹, 5,4 kg ha⁻¹ e 3,6 kg ha⁻¹ de K⁺. No intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias (430 mm) irrigada com água de abastecimento de poço artesiano da um total de 49,45 kg ha⁻¹ de P no solo. Porém, o esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação contribuiu com 63,00 kg ha⁻¹ de P, mesmo assim, sua mineralização foi lenta e ao final do ciclo ainda havia uma quantidade considerável de esterco a ser decomposto. Também foi aplicado via adubação química 568,20 kg ha⁻¹ de P dividido em três aplicações: uma na fundação no início do plantio e duas de cobertura (início e meio do período chuvoso). Parte do P aplicado deve ter adsorvido ao solo pelas próprias características do mesmo.

De acordo com Cavalcanti (1998), as recomendações de adubação para o estado de Pernambuco, classificam como baixos valores de P menor que 11 mg dm⁻³, médios de 11 a 30 mg dm⁻³ e altos maiores que 30 mg dm⁻³. E a comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais-CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) classifica para solos com mais de 35% de argila (0 a 5 mg dm⁻³ – baixo), (6 a 10 mg dm⁻³ – médio), (maior que 10 mg dm⁻³ – alto); solos com menos de 15% de argila (0 a 10 mg dm⁻³ – baixo), (10 a 20 mg dm⁻³ – médio) e (maior que 20 mg dm⁻³ – alto); e solos entre 15 e 35% de argila (0 a 20 mg dm⁻³ – baixo), (21 a 30 mg dm⁻³ – médio) e (maior que 30 mg dm⁻³ – alto).

E a quantidade de Fósforo (P) do solo variou nos primeiros 0-20 cm de 15,55 a 34,95 mg dm⁻³ com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 7 dias,

respectivamente, sendo que este último intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, assim como o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias com $26,51 \text{ mg dm}^{-3}$ diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) apresentou a menor quantidade de P com $4,93 \text{ mg dm}^{-3}$ demonstrando que a aplicação das adubações não afetaram a quantidade de P do solo (FIGURA 41).



$$Y_{(P_{20})} = 24,96$$

$$Y_{(P_{40})} = 11,87$$

$$Y_{(P_{MED})} = 18,41$$

Figura 41 – Conteúdo de P do solo sob um ano de cultivo de palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Neste sentido, o nível de Fósforo de acordo com as recomendações de adubação para o estado de Pernambuco para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a testemunha absoluta (sequeiro) seria classificado como: sequeiro com $4,93 \text{ mg dm}^{-3}$ foi baixo, 14 dias com $15,55 \text{ mg dm}^{-3}$ foi médio, 2,3 dias com $22,81 \text{ mg dm}^{-3}$ foi médio, 21 dias com $26,51 \text{ mg dm}^{-3}$ foi médio e 7 dias com $34,95 \text{ mg dm}^{-3}$ foi alto. Mas de acordo com Ribeiro et al. (1999), considerando o percentual de argila, para os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a testemunha absoluta (sequeiro) seria classificado como: sequeiro com $4,93 \text{ mg dm}^{-3}$ foi baixo, 14 dias com $15,55 \text{ mg dm}^{-3}$ foi médio, 2,3 dias com $22,81 \text{ mg dm}^{-3}$ foi alto, 21 dias com $26,51 \text{ mg dm}^{-3}$ foi alto e 7 dias com $34,95 \text{ mg dm}^{-3}$ também foi alto.

No entanto, a própria Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais-CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) classifica como muito bons, para uma lavoura em produção,

os teores de P no solo superiores a $9,0 \text{ mg dm}^{-3}$, $13,5 \text{ mg dm}^{-3}$, $22,5 \text{ mg dm}^{-3}$ e $33,8 \text{ mg dm}^{-3}$ para solos de textura muito argilosa, argilosa, média e arenosa respectivamente. Já Matiello et al.(2005), classifica como altos valores de P disponível maiores que 50 mg dm^{-3} no solo.

Apesar da água de abastecimento possuir mais P que o esgoto doméstico tratado proveniente da mesma água, a fixação de fósforo pela matéria orgânica faz com que o nutriente se acumule como ocorre em sistemas lacustres. A sua aplicação no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente (7 dias) com esgoto doméstico tratado proporcionou mais P no solo, conseqüentemente, mais disponível a planta em detrimento do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias irrigado apenas com água de abastecimento de poço artesianos, pelo fato deste P se fixar ao solo. Um solo ácido, conforme o pH do solo analisado na área de estudo após o cultivo tem, geralmente, baixos teores de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}), altos teores de alumínio trocável (Al^{3+}) tóxico às plantas e os teores disponíveis de Fe^{3+} e Mn^{4+} podem ser tão altos que se tornam tóxicos para as plantas. Por outro lado, a adsorção de fósforo e sulfato é aumentada, diminuindo a eficiência da adubação.

A quantidade de P do solo na camada de 20-40 cm variou de $1,97$ a $24,47 \text{ mg dm}^{-3}$ nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 2,33 e 7 dias, respectivamente, sendo que este último intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, assim como o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias com $14,28 \text{ mg dm}^{-3}$ foi o segundo maior acúmulo de P no solo e diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) ficou com $2,73 \text{ mg dm}^{-3}$ de P.

De acordo com Ribeiro et al. (1999), na profundidade de 20-40 cm os níveis de fósforo se apresentam como: 2,33 com $1,97 \text{ mg dm}^{-3}$ foi muito baixo, sequeiro com $2,73 \text{ mg dm}^{-3}$ também muito baixo, 14 dias com $6,76 \text{ mg dm}^{-3}$ foi médio, 21 dias com $14,28 \text{ mg dm}^{-3}$ foi bom e 7 dias com $24,47 \text{ mg dm}^{-3}$ foi muito bom.

As médias das duas profundidades variaram de $11,16$ e $29,71 \text{ mg dm}^{-3}$ nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 e 7 dias, respectivamente, sendo que este último intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, assim como o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias com $20,39 \text{ mg dm}^{-3}$ foi o segundo maior acúmulo de P no solo e diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de

irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) apresentou a menor quantidade de P acumulada no solo com $3,83 \text{ mg dm}^{-3}$.

Nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias, além da fixação do P ao solo, há ainda a possibilidade de fixação aos metais Fe^{3+} e Mn^{4+} e com a aplicação mais frequente de água na irrigação promove reações de redução, por exemplo, de Fe^{3+} para Fe^{2+} e de Mn^{4+} para Mn^{3+} disponibilizando o P para a solução do solo e depois fixando ao mesmo. Na análise química do esterco bovino há uma grande concentração de Fe da ordem de $21.975 \text{ mg kg}^{-1}$, totalizando $43.950 \text{ kg ha}^{-1}$. Também por este motivo, intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa menos frequente obtiveram melhor desempenho em relação ao P, como é o caso do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias.

Via de regra, em solos com pH mais elevado, sua solubilidade é diminuída pela precipitação com Ca e Mg, enquanto em solos ácidos o fósforo forma precipitados com Fe e Al. O fósforo pode sofrer, ainda, reações de fixação (adsorção específica) em minerais de argila, como caulinita e óxi-hidróxidos de ferro e alumínio do solo, e tornar-se indisponível para as plantas. Este elemento encontra-se disponível em solos com pH em torno de 6,5.

A semelhança do que ocorrem com as fontes minerais, as fontes orgânicos de P poderão ser fonte (aumentar) ou ser dreno (diminuir) o P-solução. Com a mineralização de resíduos de cultivos, ou mesmo da matéria orgânica humificada do solo, o P liberado da biomassa contribuirá para o maior conteúdo de P-solução. Por outro lado, poderá haver imobilização temporária do P da solução do solo pela sua incorporação à biomassa microbiana, aumentada pela adição de uma fonte de C, como resíduos de cultivo, com limitados conteúdo de P para atender ao crescimento da população de microrganismos. Portanto, para a mineralização desses resíduos, há necessidade de imobilizar P da solução do solo por um tempo correspondente ao decréscimo da fonte de C, reduzindo a relação C/P do resíduo a valores semelhantes ao da biomassa microbiana. Com isso, o P-solução volta a aumentar, com predomínio da mineralização sobre a imobilização.

5.2.8 Teores de K^+ do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve interação significativa a $P < 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para o Fósforo (P) do solo a profundidade de 20 cm no cultivo da palma forrageira, mas não houve efeito significativo a $P > 0,05$ para a profundidade de 40 cm, já a média das duas profundidades não apresentou efeito significativo a $P < 0,05$. Assim como não houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P > 0,05$ nas profundidades estudadas (TABELA 33).

No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para o Potássio do solo nas duas profundidades (20 e 40 cm), assim como na sua média.

O teor de K do solo na camada de 0-20 cm de profundidade não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o valor de $88,77 \text{ mg dm}^{-3}$. Nos 20-40 cm de profundidade, se ajustou ao modelo de regressão linear decrescente $P < 0,01$, com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias que gerou o conteúdo de K de $135,92 \text{ mg dm}^{-3}$. Já a média se ajustou ao modelo de regressão linear decrescente $P < 0,01$, com a equação da reta resultando no Intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias que gerou o conteúdo de K de $117,98 \text{ mg dm}^{-3}$.

O potássio, devido ao fato de ser um íon monovalente, apresenta alta mobilidade no solo e pode perder-se facilmente por lixiviação, especialmente em solos de baixa CTC e que receberam aporte elevado de Ca^{2+} e Mg^{2+} , elementos que competem com o K^+ pela adsorção ao solo. O manejo da irrigação com esgoto, portanto, deve prever essas interações para garantir o suprimento adequado de potássio às plantas.

De acordo com a própria CFSEMG (Ribeiro et al., 1999), o teor de K no solo é classificado da seguinte forma: menor ou igual a 15 (muito baixo), de 16 a 40 (baixo), de 41 a 70 (médio), de 71 a 120 (bom) e maior que 120 mg dm^{-3} (muito bom), respectivamente. Desta forma, o solo apresenta uma quantidade média de K^+ no solo.

As quantidades de potássio (K^+) encontradas na análise de solo antes do cultivo, demonstram valores de 138 mg dm^{-3} nos primeiros 0-20 cm de profundidade e 106 mg dm^{-3} nos 20-40 cm de profundidade. Esses valores, de acordo com a classificação proposta por Ribeiro (1999), demonstram uma boa e muito boa quantidade deste nutriente no solo, respectivamente.

Tabela 33 – Resumo da análise de variância e médias para o teor de potássio – K⁺ do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		K_20	K_40	K_MED
Blocos	3	1895,2178 ^{ns}	2667,4915 ^{ns}	342,1834 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	77872,4121 ^{**}	60084,4820 ^{**}	65457,1938 ^{**}
Contraste	1	302295,2229 ^{**}	197623,1405 ^{**}	247188,9761 ^{**}
Regressão Linear	1	3957,8728 ^{ns}	28090,4637 [*]	13284,1623 [*]
Regressão Quadrática	1	3659,5755 ^{ns}	2105,7804 ^{ns}	53,3321 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	1576,9757 ^{ns}	12518,5327 ^{ns}	1302,3092 ^{ns}
Resíduo (a)	12	1043,8193	3187,5961	1541,8410
Densidade de Plantio (DP)	2	1097,0010 ^{ns}	1207,151666 ^{ns}	410,405426 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	2285,2731 ^{**}	1097,783938 ^{ns}	1031,782320 ^{ns}
Resíduo (b)	30	680,7974	2447,226179	742,628502
CV 1		26,00	41,95	30,34
CV 2		21,00	36,76	21,06

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²		
	K_20	K_40	K_MED
33.333	124,66 a	125,88 a	125,27 a
52.282	131,46 a	137,05 a	134,26 a
66.667	116,66 a	140,82 a	128,74 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ³		
	K_20	K_40	K_MED
2,3	87,35 ⁻	153,12 ⁻	120,23 ⁻
7	108,89 ⁻	91,46 ⁻	100,18 ⁻
14	89,02 ⁻	106,57 ⁻	97,79 ⁻
21	69,82 ⁻	72,41 ⁻	71,12 ⁻
Sequeiro (testemunha)	266,22	249,37	257,79
DMS	37,02	64,70	45,00

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

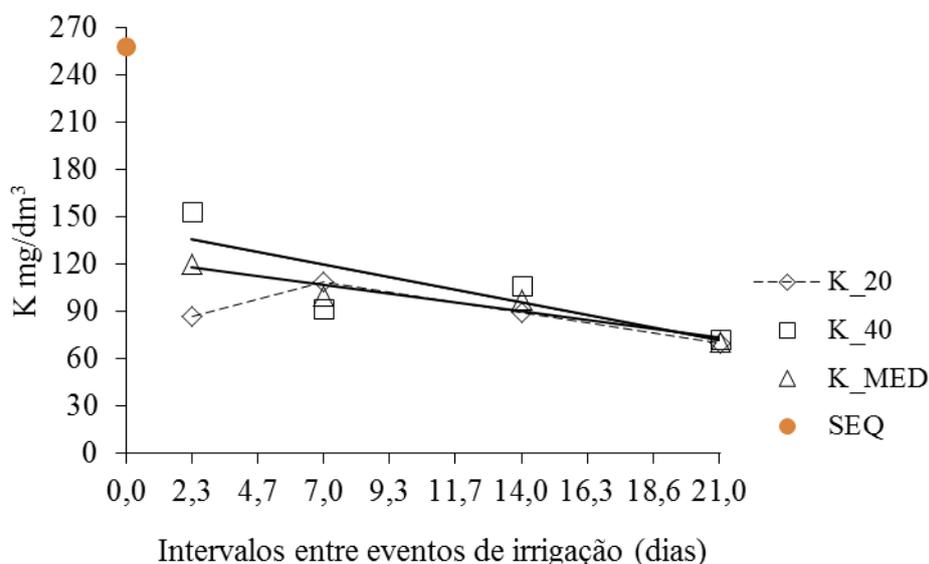
2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias (144 mm), 14 dias (71,75 mm) e 21 dias (47,8 mm) irrigada com água de esgoto doméstico tratado da um total de 34,12 kg ha⁻¹, 16,89 kg ha⁻¹ e 11,32 kg ha⁻¹ de K⁺. No intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias (430 mm) irrigada com água de abastecimento de poço artesiano gera um total de 49,53 kg ha⁻¹ de K⁺ no solo, considerado como médio, e acima do intervalo

entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente irrigado com esgoto doméstico tratado. Porém, o esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação contribuiu com $593,10 \text{ kg ha}^{-1}$ de K^+ , mesmo assim, sua mineralização foi lenta e ao final do ciclo da cultura ainda havia uma quantidade considerável de esterco a ser decomposto.

A quantidade de potássio (K^+) do solo variou nos primeiros 0-20 cm de $69,82$ a $108,89 \text{ mg dm}^{-3}$ com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 e 7 dias, respectivamente, não havendo diferença significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Mas a testemunha absoluta (sequeiro) apresentou a maior quantidade de K^+ acumulado no solo com $266,22 \text{ mg dm}^{-3}$ e diferiu significativamente em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Mesmo assim, há uma tendência ao aumento do teor de K^+ no solo proveniente dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequentes, sugerindo a maior contribuição deste elemento ao próprio solo, seguidos da matéria orgânica e das fertirrigações, já que a água de abastecimento acumula mais K^+ que o esgoto doméstico tratado (FIGURA 42).



$$Y_{(K_{20})} = 88,77$$

$$Y_{(K_{40})} = 143,792 - 3,419952^{**}X$$

$$Y_{(K_{MED})} = 123,395 - 2,35184^{**}X$$

$$R^2 = 65,76$$

$$R^2 = 90,74$$

Figura 42 – Conteúdo de K^+ do solo sob um ano de cultivo de palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

O acúmulo de fósforo na camada de 20-40 cm no solo mudou, sua quantidade variou de $72,41$ a $153,12 \text{ mg dm}^{-3}$ nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 21 e 2,33 dias, respectivamente, sendo que este último diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta em condições de

sequeiro continuou apresentando a maior quantidade de K^+ acumulado no solo com 249,37 $mg\ dm^{-3}$ e diferiu significativamente em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa.

Apesar do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com água de abastecimento de poço artesiano proporcionar maior acúmulo de nutriente na fertirrigação em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, apresentou maior quantidade de K^+ apenas na profundidade de 20-40, sugerindo que houve uma lixiviação deste cátion com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa, inclusive havendo diferença significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa.

As médias das duas profundidades variaram de 71,12 a 120,23 $mg\ dm^{-3}$ nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 e 2,3 dias, respectivamente, não havendo diferença significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) apresentou ainda a maior quantidade de K^+ acumulada no solo com 257,79 $mg\ dm^{-3}$. A lixiviação deste cátion pode ser justificada pela tendência na média geral em seguir a sequência dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa com mais frequência, ou seja, 14, 7 e 21 dias.

O nível de potássio da análise dos solos de acordo com classe de interpretação da disponibilidade para potássio pelo fósforo remanescente (P-rem) se apresenta em quantidade boa. No entanto, a testemunha absoluta em condições de sequeiro apresentou quantidade muito boa (RIBEIRO, 1999).

5.2.8.1 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre potássio (K^+) do solo de 0 a 20 cm de profundidade.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve apenas interação significativa a $P < 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) no perímetro da palma forrageira aos 375 DAP. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado (TABELA 34).

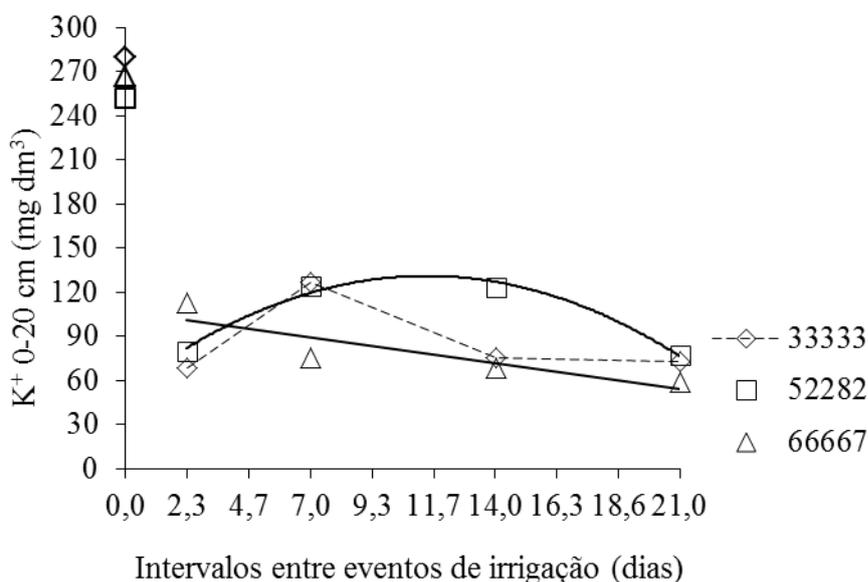
Nos primeiros 0-20 cm de profundidade de solo e nas densidades de 33.333, 52.282 e 66.667 plantas por hectare todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa

apresentaram diferença estatística negativa significativa a $P > 0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro para a variável K^+ do solo, indicando que nessas densidades o potássio do solo se alterou totalmente em relação às condições iniciais de plantio (TABELA 34).

Tabela 34 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para o potássio (K^+) do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

IILF (3,5 mm p/ evento)	K_0-20 cm		
	33.333	52.282	66.667
2,3	68,67	80,08	113,29
7	127,02	124,36	75,30
14	75,30	123,35	68,40
21	72,65	77,43	59,38
Sequeiro	279,67	252,07	266,93
DMS	51,01		

Na densidade de plantio de 33.333 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o teor de potássio (K^+) de $85,91 \text{ mg dm}^{-3}$ nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade (FIGURA 43).



$$Y_{(K_{20_D33})} = 85,91$$

$$Y_{(K_{20_D50})} = 53,811221 + 13,573137^{ns}X - 0,595462^{**}X^2 \quad R^2 = 97,92$$

$$Y_{(K_{20_D66})} = 107,366205 - 2,551011^{**}X \quad R^2 = 77,21$$

Figura 43 – K^+ do solo sob o cultivo de palma forrageira na camada de 0-20 cm de profundidade aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

E na densidade de plantio de 52.282 os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta

resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 11,40 dias com o teor de K^+ de $131,16 \text{ mg dm}^{-3}$ nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade

Em todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e em todas as densidades de plantio houve efeito significativo negativo em relação à testemunha para a variável potássio nos primeiros 0-20 cm de profundidade, demonstrando que houve uma remoção deste nutriente nesta camada, provocada certamente pelos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa que carrearam esse nutriente para camadas mais profundas, talvez abaixo da influência das raízes, ou seja, abaixo dos 40 cm de profundidade de solo. O potássio é um íon monovalente e por isso muito móvel no solo, especialmente em solos de baixa CTC, como ocorre no solo do experimento em questão, ainda mais quando compete com outros íons bivalentes, como por exemplo, o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , conforme de fato aconteceu.

5.2.9 Teores de Ca^{2+} do solo cultivado com palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve interação significativa $P < 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para o cálcio (Ca^{2+}) do solo a profundidade de 20 cm no cultivo da palma forrageira, mas não houve efeito significativo a $P > 0,05$ para a profundidade de 40 cm, já a média das duas profundidades não apresentou efeito significativo a $P < 0,05$. Assim como houve diferença significativa entre as densidades de plantio a $P < 0,05$ na profundidade de 20 cm, mas não houve efeito significativo a $P > 0,05$ na profundidade de 40 cm, entretanto, a média das duas profundidades apresentou efeito significativo a $P < 0,05$.

No entanto, houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa a $P < 0,01$ para o Cálcio do solo nas duas profundidades (20 e 40 cm), assim como na sua média.

O teor de Ca do solo na camada de 0-20 cm de profundidade foi influenciado pelo cultivo da palma forrageira orelha de elefante mexicana e se ajustou ao modelo de regressão quadrático crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 8,74 dias que gerou conteúdo de Ca de $2,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (TABELA 35).

Tabela 35 – Resumo da análise de variância e médias para o teor de cálcio – Ca^{2+} do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		Ca_20	Ca_40	Ca_MED
Blocos	3	2,479769**	2,015900 ^{ns}	1,945678**
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	2,936823**	4,359143**	3,361542**
Contraste	1	4,850727**	11,400006**	7,780753**
Regressão Linear	1	3,071534**	0,400187 ^{ns}	1,422274*
Regressão Quadrática	1	2,366821**	0,420593 ^{ns}	1,195719 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	1,458212*	5,215787*	3,047423**
Resíduo (a)	12	0,252969	0,605094	0,278563
Densidade de Plantio (DP)	2	4,108580**	0,665718 ^{ns}	1,963653*
Interação (TRxDP)	8	1,662226*	0,677592 ^{ns}	0,774757 ^{ns}
Resíduo (b)	30	0,719059	0,438235	0,369042
CV 1		18,99	24,80	18,25
CV 2		32,02	21,10	21,00

DENSIDADE DE PLANTIO	Médias ²		
	Ca_20	Ca_40	Ca_MED
33.333	2,29 a	3,06 a	2,67 a
52.282	3,16 a	3,35 a	3,25 a
66.667	2,50 a	3,01 a	2,76 a

IILF (3,5 mm p/ evento)	Médias ²		
	Ca_20	Ca_40	Ca_MED
2,3	2,53 ⁻	3,11 ⁻	2,83 ⁻
7	1,94 ⁻	2,32 ⁻	2,13 ⁻
14	2,54 ⁻	3,23 ^{ns}	2,88 ⁻
21	3,01 ^{ns}	3,02 ⁻	3,01 ^{ns}
Sequeiro (testemunha)	3,22	4,01	3,61
DMS	0,57	0,89	0,60

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Nos 20-40 cm de profundidade, não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o valor de $2,92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já a média se ajustou ao modelo de regressão linear crescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias que gerou o conteúdo de Ca de $2,95 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

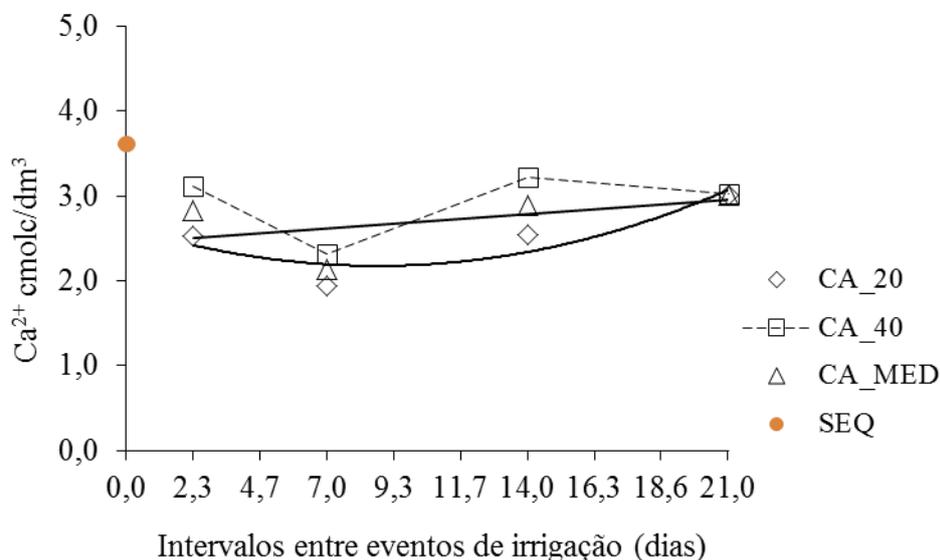
O teor de cálcio (Ca^{2+}) encontrado na análise de solo realizada antes do cultivo demonstra valores de $0,010479 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ou $4,2 \text{ kg ha}^{-1}$ nos primeiros 0-20 cm de profundidade e $0,008898 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ou $3,6 \text{ kg ha}^{-1}$ nos 20-40 cm de profundidade. Esses valores, de acordo com a classificação proposta por Raij et al. (1996) e Ribeiro et al. (1999), demonstram uma “baixa” e “muito baixa” quantidade deste nutriente no solo, respectivamente. A contribuição de Ca^{2+} da água de esgoto doméstico tratado utilizado na irrigação foi de $46,20 \text{ kg ha}^{-1}$ para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias com 144,0 mm de irrigação, $23,00 \text{ kg ha}^{-1}$ para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias com 71,75 mm de irrigação e de $15,3 \text{ kg ha}^{-1}$ para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias com 47,8 mm de irrigação. E a água de abastecimento de poço artesiano foi de $51,74 \text{ kg ha}^{-1}$ para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com 430,5 mm de irrigação. Porém, o esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação contribuiu com $385,20 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca^{2+} , mesmo assim sua mineralização foi lenta e ao final do ciclo da cultura ainda havia uma quantidade considerável de esterco a ser decomposto.

O conteúdo de cálcio (Ca^{2+}) do solo variou nos primeiros 0-20 cm de $1,94$ a $3,01 \text{ cmolc dm}^{-3}$ com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 21 dias, respectivamente, sendo que este último diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) ficou com $3,22 \text{ cmolc dm}^{-3}$ de Ca^{2+} e diferiu significativamente em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (FIGURA 44).

Raij et al. (1996) classificam as quantidades de Ca^{2+} no solo como baixo de 0 a $0,30 \text{ cmolc dm}^{-3}$; médio de $0,4$ a $0,7 \text{ cmolc dm}^{-3}$; e alto maior que $0,7 \text{ cmolc dm}^{-3}$. Já a CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) interpreta as classes de fertilidade do solo para Ca^{2+} (cmolc dm^{-3}) da seguinte forma: menor ou igual a $0,4$ (Muito baixo); $0,41$ – $1,20$ (Baixo); $1,21$ – $2,40$ (Médio); $2,41$ – $4,00$ (Bom) e maior $4,00$ (Muito bom) e considera como nível crítico (NC) $2,4 \text{ cmolc dm}^{-3}$, salientando que esta interpretação é genérica, não havendo especificidade para determinada cultura.

Desta forma, considerando a análise de solo para cálcio nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e na testemunha absoluta (sequeiro), seus índices nos primeiros 0-20 cm de profundidade foram considerados como “alto”, de acordo com Raij (1996), e de acordo com Ribeiro et al. (1999), a quantidade de Ca^{2+} acumulada no solo decorrente dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias foi “médio”, 2,3, 14 e 21 dias foram “bons”, apesar de o valor do intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21

dias apresentar diferença significativa para maior em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, e a testemunha sequeiro também foi considerado como “bom”.



$$Y_{(CA_{20})} = 2,63 - 0,104341 * X + 0,005969 * X^2 \quad R^2 = 78,86$$

$$Y_{(CA_{40})} = 2,92$$

$$Y_{(CA_{MED})} = 2,443 + 0,024335 * X \quad R^2 = 25,10$$

Figura 44 – Teor de Ca^{2+} do solo sob um ano de cultivo de palma forrageira em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

A interpretação do teor de Ca^{2+} em subsuperfície (20 – 40 cm) é a mesma para os estados de São Paulo e Minas Gerais (Raij et al., 1996 e Ribeiro et al., 1999). Ambos consideram o teor de Ca^{2+} inferior a $0,4 \text{ cmolc dm}^{-3}$ como condição desfavorável ao desenvolvimento radicular, tanto que esse é um dos critérios utilizados para aplicação de gesso agrícola. Contudo, acima destes valores há uma discordância nas duas interpretações, ainda assim, a interpretação de Minas Gerais é mais confiável, considerando as características dos solos e a metodologia das análises utilizadas serem mais adequadas a nossa realidade, além do que, neste caso, o resultado para a interpretação de São Paulo não subestima a necessidade desse nutriente no solo.

O acúmulo de Ca^{2+} na camada de 0-40 cm de profundidade no solo não alterou muito, pois variou de 2,32 a 3,23 cmolc dm^{-3} nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 7 e 14 dias, respectivamente, não havendo diferença significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha (sequeiro) continuou apresentando o maior teor de Ca^{2+} acumulado no solo com $4,01 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e diferiu significativamente em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Na

camada de 20-40 cm de profundidade os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a testemunha (sequeiro) foram considerados como “alto”, de acordo com Rajj et al. (1996), e de acordo com Ribeiro et al. (1999), o teor de Ca^{2+} com o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias foi “médio”; 2,3, 14 e 21 dias foram “bons” e a testemunha (sequeiro) foi considerado como “muito bom”.

Com a acidificação do solo causado pela adubação orgânica e química, além das características do próprio solo propiciar esse efeito, os valores dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e da testemunha sequeiro de 20-40 em relação a 0-20 sugerem haver uma lixiviação deste cátion. Todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, assim como a testemunha absoluta (sequeiro), demonstram maior quantidade de Ca^{2+} acumulada no solo na profundidade de 20-40 cm do que de 0-20 cm. O fato da testemunha (sequeiro) na camada de 20-40 cm de profundidade apresentar maior quantidade de Ca^{2+} do que a profundidade de 0-20 cm sugere haver influência climática, especialmente da chuva na lixiviação do cátion. Nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, além da influência do clima através das chuvas, soma-se a ela a influência da água de irrigação na lixiviação do cátion de acordo com sua frequência.

As médias das duas profundidades variaram de 2,13 a 3,01 cmolc dm^{-3} nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 21 dias, respectivamente, sendo que o primeiro diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha (sequeiro) apresentou ainda o maior teor de Ca^{2+} acumulada no solo com 3,61 cmolc dm^{-3} e diferiu significativamente em relação aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa.

5.2.9.1 Desdobramento da interação entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e as densidades de plantio sobre o teor de cálcio (Ca^{2+}) na camada de 0-20 cm de profundidade.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que houve apenas interação significativa a $P < 0,05$ entre o fator intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) no perímetro da palma forrageira aos 375 DAP. Neste sentido, foi realizado o desdobramento da interação a fim de ter conhecimento do resultado.

Nos primeiros 0-20 cm de profundidade de solo e nas densidades de 33.333 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença estatística significativa a $P>0,05$ em relação à testemunha em condições de sequeiro, indicando que nesta profundidade houve lixiviação do cálcio. Já na densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias apresentou diferença estatística significativa a $P<0,05$, demonstrando que houve acúmulo do nutriente no solo. Entretanto, na densidade de plantio de 66.667 plantas por ha, apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias, irrigado com esgoto doméstico tratado, apresentou diferença estatística negativa significativa a $P<0,05$ em relação à testemunha (sequeiro) para a variável cálcio no solo (TABELA 36).

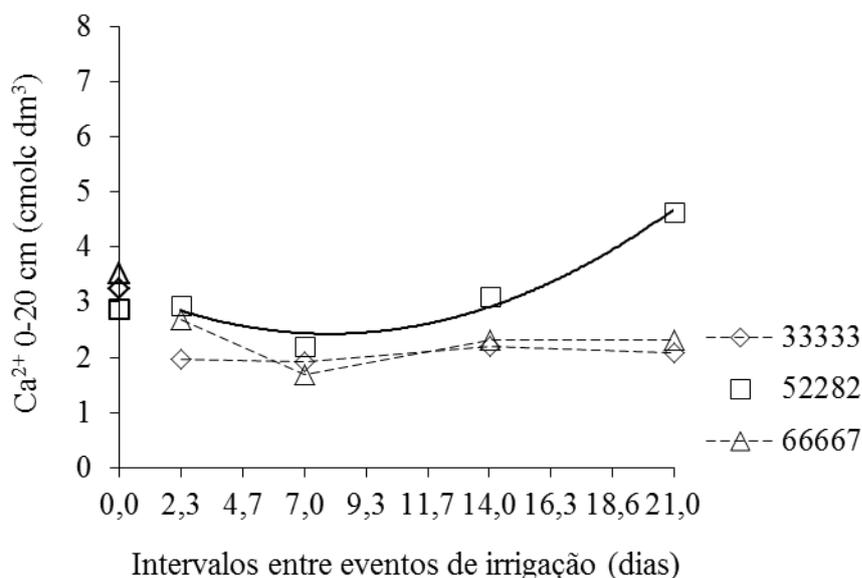
Tabela 36 – Teste de Dunnet resumo da análise da variância e médias para o cálcio (Ca^{2+}) do solo na camada de 0-20 cm sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

IILF (3,5 mm p/ evento)	CA_0-20 cm		
	33.333	52.282	66.667
2,3	1,98 ^{ns}	2,95 ^{ns}	2,68 ^{ns}
7	1,93 ^{ns}	2,21 ^{ns}	1,68 ⁻
14	2,20 ^{ns}	3,10 ^{ns}	2,33 ^{ns}
21	2,07 ^{ns}	4,65 ⁺	2,31 ^{ns}
Sequeiro	3,25	2,88	3,53
DMS	1,35		

Na densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o teor de cálcio (Ca^{2+}) de 2,04 cmolc dm^{-3} nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade. E na densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa se ajustaram a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7,94 dias com o teor de Ca^{2+} de 2,43 cmolc dm^{-3} nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade. Na densidade de plantio de 66.667 plantas por hectare os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa também não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o teor de cálcio (Ca^{2+}) de 2,25 cmolc dm^{-3} nos primeiros 0 a 20 cm de profundidade.

O acúmulo de cálcio na densidade de plantio de 52.282 plantas por hectare no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias pode ter sido provocado pela baixa CTC com lixiviação do nutriente do solo, aliado a escassez de água com diminuição de absorção do nutriente pela planta, cuja absorção do nutriente foi influenciada pelo baixo

crescimento das raízes das plantas, já que o contato se dá por interceptação radicular (FIGURA 45).



$$Y_{(CA20_D33)} = 2,04$$

$$Y_{(CA20_D50)} = 3,26832 - 0,211883^{ns}X + 0,013341^{**}X^2$$

$$Y_{(CA20_D66)} = 2,25$$

$$R^2 = 96,82$$

Figura 45 – Teor de Ca^{2+} do solo sob o cultivo de palma forrageira na camada de 0-20 cm de profundidade aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Em contrapartida, na densidade de plantio de 66.667 plantas por hectare no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias, pode-se inferir que a frente de acidificação pode ter propiciado a lixiviação do cátion, assim como a exportação pela absorção do nutriente pode ter contribuído para a diminuição do nutriente no solo.

5.2.10 Mg^{2+} do solo sob o cultivo de palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa a $P > 0,05$ entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) e densidade de plantio (DP) para o Magnésio (Mg^{2+}) de solo na profundidade de 20 e 40 cm no cultivo da palma forrageira. Assim como não houve diferença significativa entre as densidades de plantio ($P > 0,05$) nas profundidades estudadas (TABELA 37).

No entanto, não houve efeito significativo entre os fatores intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa ($P>0,05$) de 0 a 20 cm de profundidade, mas houve efeito significativo ($P<0,01$) na profundidade de 20 a 40 cm, sendo que a média das duas profundidades apresentou diferença significativa ($P<0,01$).

Tabela 37 – Resumo da análise de variância e médias para o teor de magnésio – Mg^{2+} do solo sob o cultivo de palma forrageira em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		Mg_20	Mg_40	Mg_MED
Blocos	3	0,702051 ^{ns}	1,700211 ^{ns}	0,784297 ^{ns}
IILF (3,5 mm p/ evento)	(4)	4,951598 ^{ns}	8,202498 ^{**}	6,166248 ^{**}
Contraste	1	0,388815 ^{ns}	0,132070 ^{ns}	0,243525 ^{ns}
Regressão Linear	1	4,432667 ^{ns}	18,985681 ^{**}	10,441449 ^{**}
Regressão Quadrática	1	0,684402 ^{ns}	3,497621 ^{ns}	1,819098 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	14,300506 [*]	10,194621 [*]	12,160922 ^{**}
Resíduo (a)	12	2,450444	1,291961	0,947653
Densidade de Plantio (DP)	2	1,606582 ^{ns}	1,605602 ^{ns}	1,523341 ^{ns}
Interação (TRxDP)	8	1,030421 ^{ns}	0,686668 ^{ns}	0,512843 ^{ns}
Resíduo (b)	30	1,062216	1,526537	0,592745
CV 1		74,04	52,33	45,42
CV 2		48,75	56,88	35,92

DENSIDADE DE PLANTIO			
	Mg_20	Mg_40	Mg_MED
33.333	2,44 a	2,48 a	2,46 a
52.282	1,97 a	1,92 a	1,95 a
66.667	1,93 a	2,12 a	2,03 a

IILF (3,5 mm p/ evento)			
	Mg_20	Mg_40	Mg_MED
2,3	3,01 ^{ns}	3,55 ⁺	3,28 ⁺
7	1,45 ^{ns}	1,69 ^{ns}	1,57 ^{ns}
14	2,52 ^{ns}	2,14 ^{ns}	2,33 ^{ns}
21	1,64 ^{ns}	1,40 ^{ns}	1,52 ^{ns}
Sequeiro (testemunha)	1,95	2,08	2,02
DMS	1,79	1,30	1,11

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

3 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

O Mg do solo em 0-20 cm de profundidade não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o valor de $1,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Nos 20-40 cm de profundidade, se ajustou ao modelo de regressão linear decrescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias que gerou o conteúdo de Mg de $2,97 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já a média se ajustou ao modelo de regressão linear decrescente ($P < 0,01$), com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias que gerou o conteúdo de K de $2,75 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (FIGURA 46).

A absorção do Mg depende do teor trocável (na solução do solo); dos teores de K, Ca e Al e; do teor de umidade no solo, visto que o processo de contato do Mg com a raiz é fluxo de massa (MALAVOLTA, 2006).

O teor de magnésio no solo antes do cultivo demonstra valor de $0,004935 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ou $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$ nos primeiros 0-20 cm de profundidade e o mesmo valor nos 20-40 cm de profundidade com $0,004935 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ou $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$. Esses valores, de acordo com a classificação proposta por Raij et al. (1996) e Ribeiro et al. (1999), demonstram uma “baixa” e “muito baixa” quantidade deste nutriente no solo. A contribuição de Mg^{2+} da água de esgoto doméstico tratado utilizado na irrigação foi de $24,5 \text{ kg ha}^{-1}$ para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 dias com 144,0 mm de irrigação, $12,2 \text{ kg ha}^{-1}$ para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias com 71,75 mm de irrigação e de $8,1 \text{ kg ha}^{-1}$ para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias com 47,8 mm de irrigação. E a água de abastecimento de poço artesiano foi de $52,30 \text{ kg ha}^{-1}$ para o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias com 430,5 mm de irrigação. Porém, o esterco bovino utilizado na adubação orgânica de fundação contribuiu com $18.880 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg^{2+} , mesmo assim sua mineralização foi lenta e ao final do ciclo ainda havia uma quantidade considerável de esterco a ser decomposto.

Raij et al. (1996) classificam as quantidades de Ca^{2+} no solo como baixo de 0 a $0,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, médio de 0,5 a $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e alto maior que $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já a CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) interpreta as classes de fertilidade do solo para Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) da seguinte forma: menor ou igual a 0,15 (muito baixo); 0,16 – 0,45 (baixo); 0,46 – 0,90 (médio); 0,91 – 1,50 (bom) e maior 1,5 (muito bom); e considera como nível crítico (NC) $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, salientando que esta interpretação é genérica, não havendo especificidade para determinada cultura. Deve-se destacar que a deficiência de Magnésio no solo pode surgir em decorrência de algumas situações: solo ácido ($\text{pH} < 5,4$), proporção de Mg da CTC ($< 6 \%$), alto teor de K, relação $\text{K/Mg} > 4$ e concentração inferior a $48,6 \text{ mg dm}^{-3}$ Mg no solo. Um dos

efeitos mais importantes da sua deficiência é a inibição da absorção de CO₂. Em solos ácidos, além da pobreza natural, a absorção de Mg é diminuída pela presença de H e Al (FAQUIM, 2005).

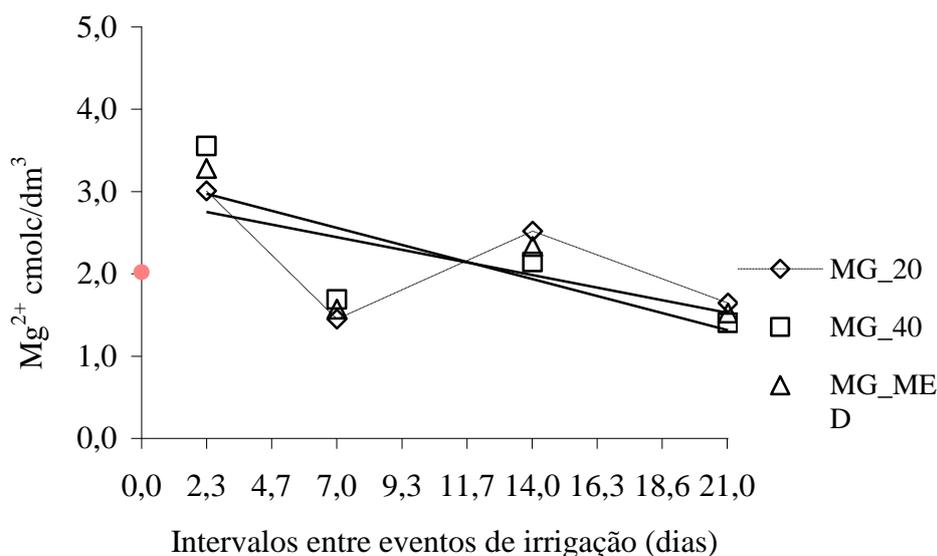
O teor de magnésio na camada de 0-20 cm de profundidade variou de 1,45 a 3,01 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7 e 2,3 dias, respectivamente, não havendo diferença significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) apresentou a quantidade acumulada de Mg^{2+} no solo de 1,95 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Raij et al. (1996) e Ribeiro et al. (1999) classificam o teor de Mg^{2+} no solo como baixo de 0 a 0,4 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, médio de 0,5 a 0,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e alto maior que 0,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) interpreta as classes de fertilidade do solo para Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$) da seguinte forma: menor ou igual a 0,15 (Muito baixo); 0,16 – 0,45 (Baixo); 0,46 – 0,90 (Médio); 0,91 – 1,50 (Bom) e maior 1,5 (Muito bom); e considera como nível crítico (NC) 0,9 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ para Mg^{2+} . É bom salientar que esta interpretação é genérica, não havendo especificidade para determinada cultura.

Desta forma, considerando a análise de solo para magnésio nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e na testemunha absoluta (sequeiro), seus índices nos primeiros 0-20 cm de profundidade foram considerados como “alto”.

De 20-40 cm de profundidade a quantidade de Mg^{2+} no solo variou de 1,40 a 3,55 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa 21 e 2,33 dias, respectivamente, sendo que este último diferiu significativamente dos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha absoluta (sequeiro) apresentou a quantidade de Mg^{2+} acumulado no solo de 2,08 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$.

Pelas características do clima, o solo possui poucas bases trocáveis por conta, principalmente, do intemperismo ocasionado pela água, justificando a acidificação do solo, além de a irrigação promover também a lixiviação, especialmente, dos cátions. O fato da testemunha (sequeiro) nos 20-40 cm de profundidade apresentar maior quantidade de Ca^{2+} em relação à profundidade de 0-20 cm, apesar de não apresentar diferença significativa, demonstra que há uma tendência a lixiviação deste cátion. Aliás, todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa e a testemunha (sequeiro) apresentaram maior teor de Ca^{2+} na camada de 20-40 cm de profundidade em relação à camada de 0-20 cm de profundidade, sugerindo um processo de lixiviação em maior ou menor grau ocasionado pela chuva ou pela irrigação, assim como pelos dois fatores ao mesmo tempo (FIGURA 46).



$$Y_{(MG_{20})} = 1,87$$

$$Y_{(MG_{40})} = 3,181 - 0,088911^{**}X$$

$$Y_{(MG_{MED})} = 2,906 - 0,065936^{*}X$$

$$R^2 = 58,10$$

$$R^2 = 42,76$$

Figura 46 – Espessura de cladódios da palma forrageira aos 75, 150, 225, 300 e 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Na camada de 20-40 cm de profundidade, de acordo com Ribeiro (1999), foram considerados como: 21 dias com 1,40 cmol_c dm³ foi bom, 7 dias com 1,69 cmol_c dm³ foi muito bom, a testemunha (sequeiro) com 2,08 cmol_c dm³ foi muito bom, 14 dias com 2,14 cmol_c dm³ foi muito bom e 2,33 dias com 3,55 cmol_c dm³ foi considerado muito bom.

As médias das duas profundidades variaram de 1,52 a 3,28 cmol_c dm³ nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 e 2,3 dias, respectivamente, sendo que este último intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentou diferença significativa em relação aos demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. A testemunha (sequeiro) apresentou um teor de Mg²⁺ acumulada no solo de 2,02 cmol_c dm³.

5.3 EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES APÓS UM CICLO DA CULTURA DA PALMA FERTIRRIGADA COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

5.3.1 Extração/exportação de macronutrientes em palma forrageira orelha de elefante mexicana, colhida aos 375 dias após o plantio.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com

lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), mas houve efeito significativo entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa ($P < 0,01$) para cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Assim como não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as densidades de plantio (DP) para a exportação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na palma forrageira aos 375 DAP. Pode-se verificar que as variáveis N, P e K exportados na palma forrageira orelha de elefante mexicana aos 375 DAP não se ajustaram a nenhum modelo de regressão testado ($P > 0,05$), mas as variáveis Ca e Mg aos 375 DAP se ajustaram ao modelo de regressão quadrático a $P < 0,05$ e $P < 0,01$, respectivamente. E também, houve diferença significativa ($P < 0,05$) para o contraste entre a palma cultivada com irrigação *versus* cultivada sem irrigação para as variáveis N, K e Ca e diferença significativa ($P < 0,01$) para a variável Mg, no entanto, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) para o contraste apenas na variável P (TABELA 38).

Tabela 38 – Resumo da análise de variância e médias para os teores de macronutrientes exportados pela palma forrageira sob cultivo em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹				
		E_N	E_P	E_K	E_CA	E_MG
Densidade de plantio (DP)	2	54,7050 ^{ns}	0,0184 ^{ns}	6,3032 ^{ns}	88,1950 ^{ns}	0,0805 ^{ns}
IILF	(4)	48,0709 ^{ns}	0,0050 ^{ns}	16,3292 ^{ns}	652,0910 ^{**}	3,2400 ^{**}
Contraste (irrig. vs s/ irrig.)	1	140,7602 [*]	0,0173 ^{ns}	55,0658 [*]	473,7098 [*]	3,7051 ^{**}
Regressão Linear	1	30,4297 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	0,5114 ^{ns}	1721,2802 ^{**}	4,6429 ^{**}
Regressão Quadrática	1	6,0318 ^{ns}	0,0016 ^{ns}	4,8967 ^{ns}	412,1950 [*]	4,3323 ^{**}
Desvio de Regressão	1	15,0619 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	4,8427 ^{ns}	1,1792 ^{ns}	0,2797 [*]
Resíduo	8	14,9937	0,0078	7,1441	66,4495	0,0455
CV (%)		15,62	26,18	11,16	27,89	1,37

IILF	Médias ²				
	E_N	E_P	E_K	E_CA	E_MG
2,3	22,90 ^{ns}	0,34 ^{ns}	23,01 ^{ns}	52,64 ⁺	17,06 ⁺
7	27,56 ^{ns}	0,35 ^{ns}	22,67 ^{ns}	34,99 ^{ns}	15,90 ⁺
14	26,55 ^{ns}	0,38 ^{ns}	24,42 ^{ns}	19,59 ^{ns}	14,61 ^{ns}
21	28,29 ⁺	0,35 ^{ns}	21,87 ^{ns}	20,93 ^{ns}	15,53 ⁺
Sequeiro (testemunha)	18,66	0,27	21,86	17,99	14,53
DMS	9,55	0,22	6,59	20,12	0,52

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Para a variável nitrogênio (N) apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à

testemunha (sequeiro). Já para o fósforo (P) e Potássio (K) nenhum intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentou diferença significativa ($P > 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro. Com relação à variável cálcio (Ca) apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha. E no caso do magnésio (Mg), apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias não apresentou diferença estatística significativa ($P > 0,05$), sendo que os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7 e 21 dias apresentaram diferença estatística significativa ($P < 0,05$) (TABELA 38).

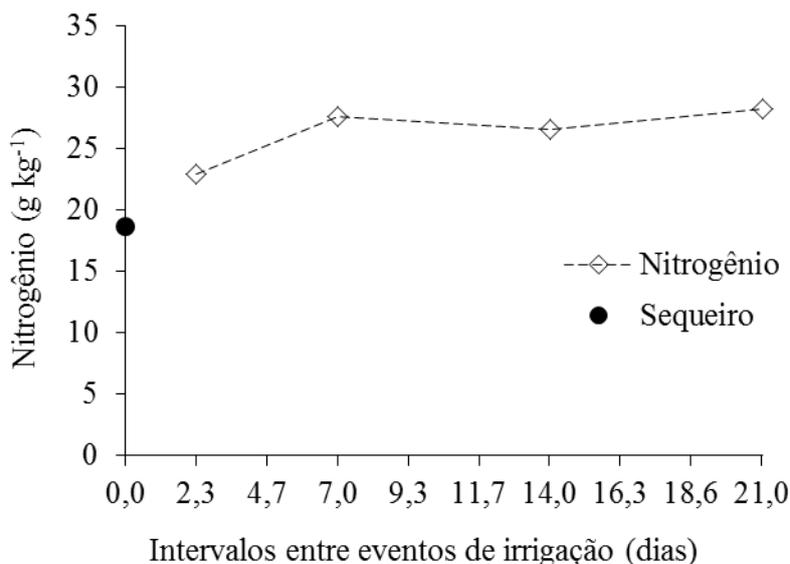
5.3.2 Teor de nitrogênio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado e água de abastecimento de poço artesiano tubular

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de nitrogênio (N) na palma forrageira aos 375 DAP. Assim como também não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de N na mesma época. Contudo houve interação significativa ($P < 0,05$) para a exportação de nitrogênio (N) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 38).

Pode-se verificar que a exportação de N na palma forrageira orelha de elefante mexicana não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o conteúdo de N exportado via cladódios de $26,33 \text{ g kg}^{-1}$ na matéria seca (FIGURA 47). Neste sentido, o modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de N foi obtido pela média da extração/exportação de nitrogênio ($26,33 \text{ g ha}^{-1}$) pela média da produção total de matéria seca ($69,39 \text{ t ha}^{-1}$) aos 375 DAP que foi de $1.827,03 \text{ kg ha}^{-1}$. E sua média de extração/exportação de nitrogênio foi de $263,30 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca.

A adição de fontes nitrogenadas no esterco bovino e no esgoto doméstico tratado promoveu aumento na concentração e disponibilidade desse nutriente no solo e, conseqüentemente, maior absorção resultando em maiores teores na matéria seca. Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média geral de NEE de $131,65 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca. E Souza et al. (2015), em experimento com adubação com NPK aos 620 DAP, constataram extração/exportação

média geral de 177,88 kg ha⁻¹ de nitrogênio para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida. Apesar de os valores encontrados pelos autores nos estudos apresentarem resultados similares, está bem abaixo dos valores encontrados neste estudo, com o dobro do tempo após o plantio. Entretanto, os valores encontrados no estudo se aproximaram dos resultados de Dubeux Júnior et al. (2010) 20,60 g kg⁻¹, resultantes de avaliação dos níveis de fósforo e potássio em casa de vegetação aos 120 dias, com N fixo.



$$Y_{(N)} = 26,33$$

Figura 47 – Teor de nitrogênio (N) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de N aos 375 DAP, demonstrando que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa menos frequente fertirrigada com esgoto doméstico tratado proporcionou maior absorção de N pela planta (TABELA 39). Como o N no solo é muito móvel, passa a ser influenciado pela capacidade de absorção do nutriente, principalmente, pela irrigação. Desta forma, há indicativos de que os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequentes influenciaram negativamente a absorção e exportação do N na palma forrageira aos 375 DAP.

Entretanto, considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são expressivos da ordem de 1.289,01, 2.130,94, 1.748,05 e 1.191,01 kg ha⁻¹ de N nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, 228,99, 275,58, 265,49 e 282,93 kg ha⁻¹ de N

para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, respectivamente.

Donato (2011) estudando doses de esterco bovino e espaçamentos obteve aos 600 DAP a média de nitrogênio extraído/exportado de 240,1 kg ha⁻¹. Souza et al. (2015), em experimento com adubação com NP e NPK aos 620 DAP, constataram extração/exportação média geral de 304,35 kg ha⁻¹.

No presente experimento, as densidades de plantio não influenciaram significativamente a exportação de N com seus respectivos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Seguramente, apesar de o N ser um elemento bastante móvel no solo e a absorção pelas raízes da planta preferencialmente ocorrer por fluxo de massa, a adubação de fundação e a fertirrigação com esgoto doméstico tratado foram suficientes para influenciar positivamente a possível competição entre os sistemas radiculares provocadas pela densidade e espaçamento de plantio.

Entretanto Donato (2011), estudando adubação e espaçamento de plantio, encontrou diferenças entre os espaçamentos de plantio testados com a maior quantidade de nitrogênio extraído/exportado registrada no espaçamento 1,0 x 0,5 m (269,5 kg ha⁻¹) e a menor, no 3,0 x 1,0 x 0,25 m (190,6 kg ha⁻¹). A palma cultivada sob espaçamento 2,0 x 0,25 m apresentou NEE intermediária. Maior extração constatada no espaçamento em fileira simples 1,0 x 0,5 m e decréscimo da extração com o aumento da proximidade entre as plantas na fileira, como ocorrido nos espaçamentos de 2,0 x 0,25 m e de 3,0 x 1,0 x 0,25 m são justificadas pela maior competição e produtividade, pois como inferem Novais & Mello (2007), à medida que aumenta a população de plantas, ou que diminui a distância entre plantas, aumenta a competição das raízes por nutrientes de maior mobilidade no solo, como o nitrogênio, transportado preferencialmente por fluxo de massa.

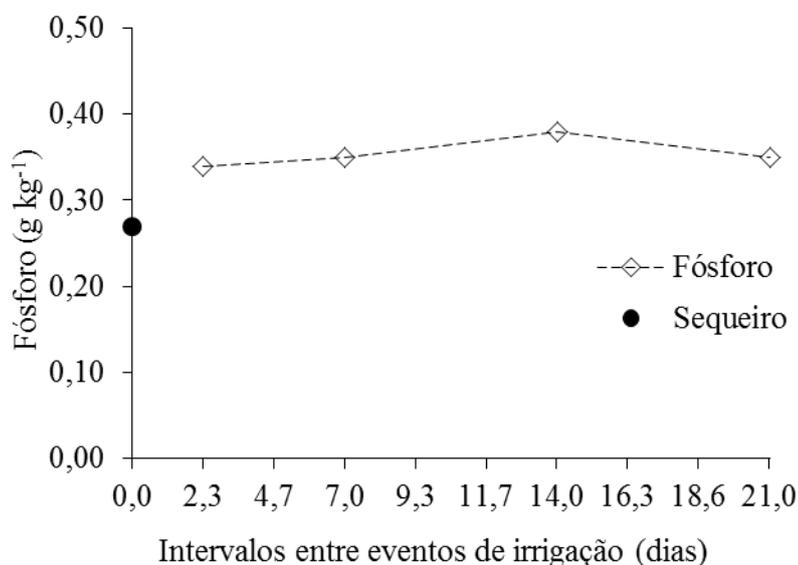
5.3.3 Teor de fósforo exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de fósforo (P) na palma forrageira aos 375 DAP. Assim como também não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de P na mesma época. E também não houve interação significativa

($P < 0,05$) para a exportação de fósforo (P) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 38).

Pode-se verificar que a exportação de P na palma forrageira orelha de elefante mexicana não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o conteúdo de P exportado via cladódios de $0,36 \text{ g kg}^{-1}$ na matéria seca (FIGURA 48). Neste sentido, o modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de P foi obtido pela média da extração/exportação de fósforo ($0,36 \text{ g ha}^{-1}$) pela média da produção total de matéria seca ($69,39 \text{ t ha}^{-1}$) aos 375 DAP que foi de $24,98 \text{ kg ha}^{-1}$. E sua média de extração/exportação de fósforo foi de $3,60 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca.

Valores de P superiores aos do presente trabalho foram encontrados por Teles et al. (2002), média de $1,7 \text{ g kg}^{-1}$; e Dubeux Júnior et al. (2010), média de $4,7 \text{ g kg}^{-1}$, com limites mínimo e máximo de $3,9$ e $5,7 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, estudando quatro níveis de P (0 ; 200 ; 400 e 800 kg ha^{-1} de P_2O_5) sem, no entanto, observarem efeito significativo ($P > 0,05$). Os baixos teores de fósforo nos cladódios registrados no presente trabalho podem advir da pequena dosagem utilizada em relação aos outros trabalhos revisados e, também, do fato dos trabalhos serem conduzidos em vasos, em que o nutriente fica mais concentrado na massa de solo e sistema radicular pode atuar melhor na absorção deste elemento, que é de baixa mobilidade no solo.



$$Y_{(P)} = 0,36$$

Figura 48 – Teor de fósforo (P) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa ($3,5 \text{ mm p/ evento}$) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Por sua vez, Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média geral de PEE de 19,36 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca. E Souza et al. (2015), em experimento com adubação com NP e NPK aos 620 DAP, constataram extração/exportação média geral de 11,00 kg ha⁻¹ de fósforo para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida.

Todos os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não apresentaram diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de P aos 375 DAP, isso demonstra a pobreza deste nutriente na adubação de fundação e na fertirrigação para o acúmulo de P no solo e, conseqüentemente, na exportação do nutriente pela palma (TABELA 39). Assim como corrobora com a pouca disponibilidade de P no próprio solo e que os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa não foram suficientes para disponibilizar formas de P precipitado com outros elementos, a exemplo do ferro (Fe), como comumente encontrado nos solos da região do experimento.

Também é importante considerar que o P tem baixa mobilidade no solo e seu transporte preferencial é por difusão, e o veículo ocorre via gradiente de concentração do elemento entre a rizosfera e as áreas adjacentes a ela (Ernani et al., 2007). Desta forma, a baixa disponibilidade de P em todo o solo prejudica ainda mais a sua absorção pelas raízes da palma.

Contudo, considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são da ordem de 19,14, 27,06, 25,02 e 14,73 kg ha⁻¹ de P nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, 3,40, 3,50, 3,80 e 3,50 kg ha⁻¹ de P para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP, respectivamente.

Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média de fósforo extraído/exportado de 35,3 kg ha⁻¹. Entretanto, a maior quantidade de PEE ocorreu no espaçamento 1,0 x 0,5 m, sendo de 40,3 kg ha⁻¹, valor próximo ao resultado deste experimento, caso a colheita fosse realizada aos dois anos após o plantio, e se houvesse a duplicação das concentrações de nutrientes encontradas aos 375 DAP. A menor concentração de nutriente foi registrada no espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,25 m com 28,2 kg ha⁻¹. Souza et al. (2015), em experimento com adubação com P, NP e NPK aos 620 DAP, verificaram a extração/exportação de 20,16; 20,74; 21,95 kg ha⁻¹ de fósforo, respectivamente, foram similares, porém, superior à extração/exportação de 12,37 kg ha⁻¹, obtida com o tratamento sem adubação, a adição dos adubos favoreceu a extração/exportação para fósforo. E sua média foi de 18,81 kg ha⁻¹, considerando o tratamento sem adubação.

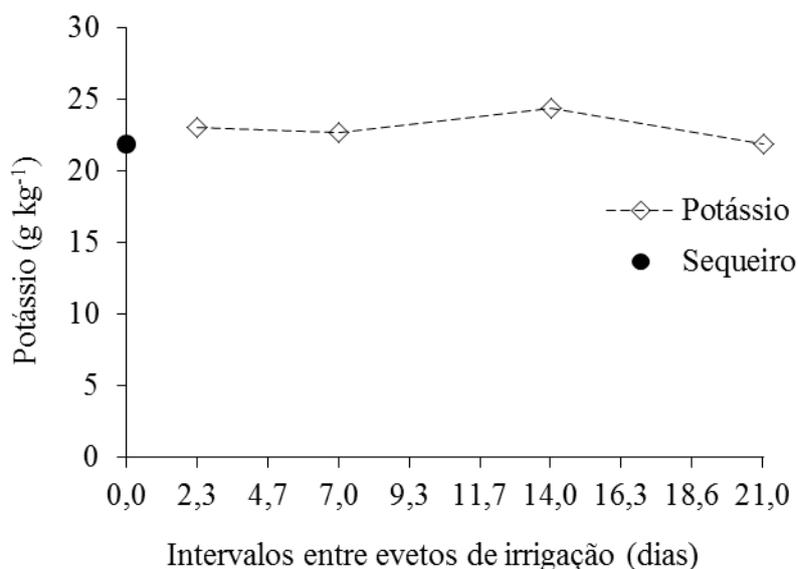
As densidades de plantio não influenciaram significativamente a exportação de P com seus respectivos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. O fósforo é pouco móvel no solo e ainda há o fenômeno de adsorção característico dos solos da região. Então, já que a limitação de P é generalizada em todo solo, não houve influência da densidade de plantio e conseqüentemente competição entre as raízes que influenciasse a absorção e exportação do nutriente.

5.3.4 Teor potássio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de potássio (K) na palma forrageira aos 375 DAP. Assim como, também não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de K na mesma época. Mas houve interação significativa ($P<0,05$) para a exportação de potássio (K) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 38).

Pode-se verificar que a exportação de K na palma forrageira orelha de elefante mexicana não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o conteúdo de K exportado via cladódios de $22,99 \text{ g kg}^{-1}$ na matéria seca (FIGURA 49). Neste sentido, o modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de N foi obtido pela média da extração/exportação de potássio ($22,99 \text{ g ha}^{-1}$) pela média da produção total de matéria seca ($69,39 \text{ kg ha}^{-1}$) aos 375 DAP que foi de $1.595,27 \text{ kg ha}^{-1}$. E sua média de extração/exportação de nitrogênio foi de $229,90 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca. Os valores aqui encontrados confirmam uma grande extração de K, inclusive quando comparada a alguns dos nutrientes avaliados. Os valores de K encontrados foram semelhantes aos obtidos por Santos et al. (1990) com $25,8 \text{ g kg}^{-1}$, mas inferiores ao resultado de Dubeux Júnior et al. (2010) que trabalharam com quatro níveis de K (0; 200; 400 e 800 kg ha^{-1} de K_2O) e encontraram média geral de $33,4 \text{ g kg}^{-1}$ com variações de 19,4 a $59,0 \text{ g kg}^{-1}$.

Entretanto, Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média geral de KEE de $394,54 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca. E Souza et al. (2015), em experimento com adubação com NPK aos 620 DAP, constataram extração/exportação média geral de $246,07 \text{ kg ha}^{-1}$ de potássio para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca produzida.



$$Y_{(K)} = 22,99$$

Figura 49 – Teor de potássio (K) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Nenhum intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de K aos 375 DAP, isso demonstra a pobreza deste nutriente na adubação de fundação e na fertirrigação para o acúmulo de K no solo e conseqüentemente na exportação do nutriente pela palma (TABELA 39).

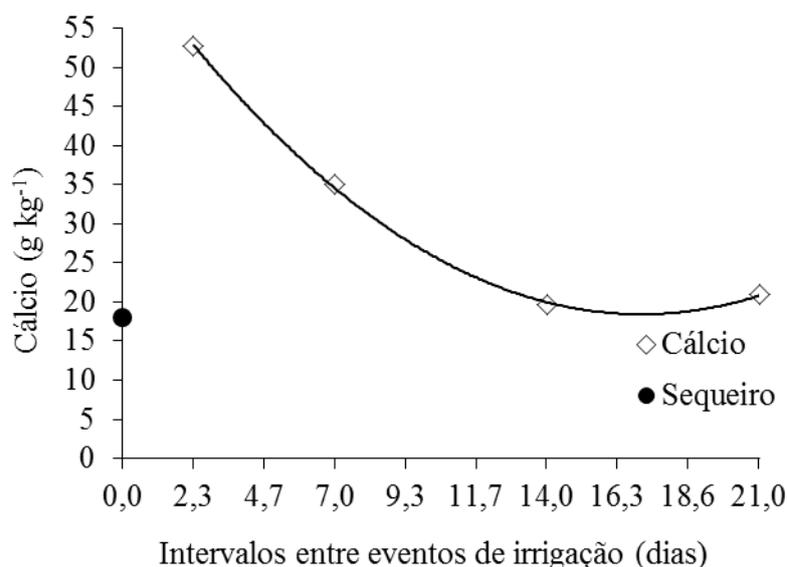
Mas considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são da ordem de 1.295,26, 1.777,69, 1.608,06 e 920,48 kg ha⁻¹ de K nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, 230,1, 226,7, 244,2 e 218,7 kg ha⁻¹ de K para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP, respectivamente.

Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média de potássio de 714,50 kg ha⁻¹. O modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de potássio, de 935,5 kg ha⁻¹ é obtido quando se aplica 83,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco. E Souza et al. (2015), em experimento com adubação com NPK aos 620 DAP, obtiveram a extração/exportação média de 421,04 kg ha⁻¹. E a extração/exportação máxima de potássio na palma aconteceu no tratamento com máxima adubação química com potássio, exportando 504,01 kg ha⁻¹.

5.3.5 Teor de cálcio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de cálcio (Ca) na palma forrageira aos 375 DAP. Mas houve diferença significativa ($P<0,01$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de Ca na mesma época. Sendo que houve interação significativa ($P<0,05$) para a exportação de cálcio (Ca) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 38).

Pode-se verificar que a exportação de Ca na palma forrageira orelha de elefante mexicana se ajustou a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 17,11 dias com modelo estimando o ponto de máxima extração/exportação de 18,40 g kg⁻¹ de Ca na matéria seca e extração/exportação total de 1.110,35 kg ha⁻¹ de Ca na palma forrageira de acordo com a produção total de matéria seca. E sua média de extração/exportação de cálcio foi de 184,00 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca (FIGURA 50).



$$Y_{(Ca)} = 64,553 - 5,391**X + 0,1575**X^2$$

$$R^2 = 0,9994$$

Figura 50 – Conteúdo de cálcio (Ca) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Esses resultados se aproximam dos de Teles et al. (2004) com variação de 15,6 a 21,0 e média de 18,4 g ha⁻¹; e são inferiores aos resultados de Dubeux Júnior et al. (2010) que observaram médias de 34,4 g kg⁻¹. Enquanto Donato (2011) estudando doses de esterco bovino e espaçamentos obteve aos 600 DAP a média geral de CaEE de 268,33 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca. Já Souza et al. (2015), em experimento com adubação com NPK aos 620 DAP, constataram extração/exportação média geral de 175,50 kg ha⁻¹ de cálcio para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida.

Apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias irrigado com água de abastecimento de poço artesiano tubular apresentou diferença estatística significativa (P<0,05) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de Ca aos 375 DAP, demonstrando que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa menos frequente fertirrigada com esgoto doméstico tratado proporcionou maior absorção de Ca pela planta (TABELA 39).

No entanto, considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são da ordem de 2.963,36, 2.705,58, 1.290,05 e 881,05 kg ha⁻¹ de Ca nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, 526,43, 349,90, 195,93 e 209,30 kg ha⁻¹ de Ca para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP, respectivamente. Os valores encontrados (526,43, 349,90 kg ha⁻¹) superam os descritos por Santos et al. (2002) de 235 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida.

Já Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média de cálcio de 547,30 kg ha⁻¹. O modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de cálcio, de 443,5 kg ha⁻¹ quando não se aplicou esterco e 651,9 para a dose de 90,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco. Por sua vez, Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos 620 DAP, obtiveram a extração/exportação média de 459,40 kg ha⁻¹. E a extração/exportação máxima de cálcio na palma aconteceu no tratamento (000-150-000) de NPK, exportando 513,30 kg ha⁻¹.

O cálcio é o nutriente mais extraído pela palma forrageira, seguido pelo nitrogênio e depois potássio. Entretanto, seu conteúdo vai reduzindo com o aumento do intervalo entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, independente da fonte de água. Contudo o inverso acontece com o nitrogênio, ou seja, seu conteúdo vai aumentando com o aumento do intervalo entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa. Galizzi et al. (2004) não observaram relação entre o teor de cálcio nos cladódios e seu teor no solo mas, sim, uma relação direta com o pH, visto que, quanto mais alcalino o solo maior foi a

concentração de cálcio em tecidos de cladódios de palma forrageira. Contrariando tal estudo, os resultados demonstram justamente o contrário, pois o pH do solo encontra-se com elevada acidez.

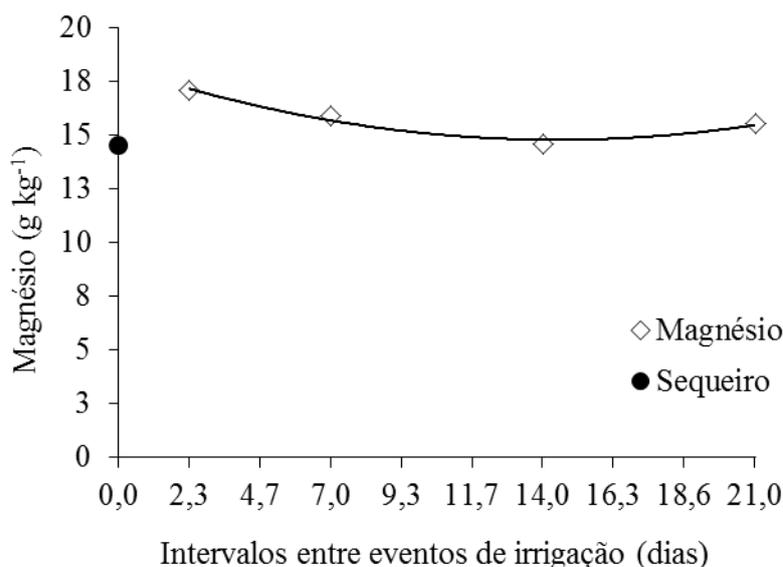
5.3.6 Teor de magnésio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de magnésio (Mg) na palma forrageira aos 375 DAP. Mas houve diferença significativa ($P < 0,01$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de Mg na mesma época. Sendo que houve interação significativa ($P < 0,01$) para a exportação de magnésio (Mg) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 38).

Pode-se verificar que a exportação de Mg na palma forrageira orelha de elefante mexicana se ajustou a um modelo de regressão quadrático com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14,59 dias com modelo estimando o ponto de máxima extração/exportação de 14,75 g kg⁻¹ de Mg na matéria seca e extração/exportação total de 1.011,21 kg ha⁻¹ de Mg na palma forrageira de acordo com a produção total de matéria seca (FIGURA 51). E sua média de extração/exportação de magnésio foi de 147,50 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca.

Os resultados de Teles et al. (2004), 5,9 g kg⁻¹, são inferiores aos do presente trabalho. Alves et al. (2007) observaram médias 11,0 g kg⁻¹ de magnésio em tecido de palma, sem diferenças significativas. Os valores do presente trabalho se aproximam dos encontrados por Nobel et al. (1987) com teores de magnésio que variaram de 6,4 a 14,2 g kg⁻¹ e média de 10,3 g kg⁻¹ em plantas da espécie *Opuntia engelmannii* em Coahuila, México.

Enquanto Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média geral de MgEE de 121,04 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca; Souza et al. (2015), em experimento com adubação com NPK aos 620 DAP, constataram extração/exportação média geral de 125,75 kg ha⁻¹ de magnésio para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida.



$$Y_{(Mg)} = 18,16 - 0,467**X + 0,016**X^2 \quad R^2 = 0,9698$$

Figura 51 – Teor de magnésio (Mg) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 14 dias não apresentou diferença estatística significativa ($P > 0,05$), mas os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7 e 21 dias apresentaram diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de Mg aos 375 DAP, demonstrando que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa menos frequente fertirrigado com esgoto doméstico tratado proporcionou maior absorção de Ca pela planta (TABELA 39).

Todavia, considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são da ordem de 960,33, 1.229,72, 961,64 e 653,74 kg ha⁻¹ de Mg nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, 170,60, 159,03, 146,10 e 155,30 kg ha⁻¹ de Mg para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP, respectivamente.

Por sua vez, Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média de cálcio de 207,1 kg ha⁻¹. O modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de cálcio, de 294,5 kg ha⁻¹ quando se aplicou a dose de 68,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco. Já Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos 620 DAP, obtiveram a extração/exportação média de 215,15 kg ha⁻¹. E a

extração/exportação máxima de cálcio na palma aconteceu no tratamento (000-150-000) de NPK, exportando 241,25 kg ha⁻¹.

Esse resultado assemelha-se ao registrado para nitrogênio e cálcio, como era de se esperar, pois o magnésio também tem o seu transporte no solo predominantemente por fluxo de massa (NOVAIS & MELLO, 2007).

5.3.7 Balanço da exportação de macronutrientes na palma forrageira.

Ao avaliar a extração total de nutrientes aos 375 DAP, verifica-se que o macronutriente mais extraído foi o nitrogênio, com 1.827,03 kg ha⁻¹, seguido por potássio com 1.595,27 kg ha⁻¹, cálcio com 1.110,35 kg ha⁻¹, magnésio com 1.011,21 kg ha⁻¹ e fósforo 24,98 kg ha⁻¹, nesta ordem. Entretanto, a sequência do balanço de nutrientes foi potássio com excesso de 650,32 kg ha⁻¹, fósforo com excesso de 618,00 kg ha⁻¹, nitrogênio com déficit de - 172,0 kg ha⁻¹, cálcio com déficit de - 673,41 kg ha⁻¹ e magnésio com déficit de - 737,09 kg ha⁻¹, nesta ordem (TABELA 39).

Tabela 39 – Balanço de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) em função da extração/exportação máxima pela palma forrageira orelha de elefante mexicana (*Opuntia tuna* (L.) Mill) e do adicionado ao solo via adubação de fundação (química e orgânica) e pela fertirrigação com esgoto doméstico tratado e água de abastecimento de poço artesiano tubular.

NUTRIENTE	ADICIONADO	EXPORTADO (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	BALANÇO
Nitrogênio	1.655,20	1.827,03	- 172,0
Fósforo	642,0	24,98	+ 618,0
Potássio	2.245,59	1.595,27	+ 650,32
Cálcio	436,94	1.110,35	- 673,41
Magnésio	274,12	1.011,21	- 737,09

* Máxima contribuição de acúmulo de nutriente no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) mais frequente fertirrigado com esgoto doméstico tratado ou água de abastecimento de poço artesiano tubular, somado ao nutriente adicionado pela adubação de fundação química e orgânica.

A palma forrageira extrai cerca de 360 kg de N, 64 kg de P, 1.032 kg de K e 940 kg de Ca, por hectare a cada dois anos, sem considerar os outros macros e micronutrientes (DUBEUX JÚNIOR E SANTOS, 2005). Desta forma, se não houver reposição de nutrientes via adubação ocorrerá uma redução na produtividade e qualidade da forragem.

5.3.8 Extração/exportação de micronutrientes e sódio em palma forrageira orelha de elefante mexicana, colhida aos 375 dias após o plantio.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve interação significativa ($P>0,05$) entre os fatores intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de ferro (Fe), cobre (Co) e sódio (Na), mas houve efeito significativo entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa ($P<0,01$) para manganês (Mn) e ($P<0,05$) para zinco (Zn). Assim como não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre as densidades de plantio (DP) para a exportação de Fe, Mn, Zn, Co e Na na palma forrageira aos 375 DAP. Pode-se verificar que as variáveis Fe, Mn, Co e Na exportadas na palma forrageira orelha de elefante mexicana aos 375 DAP não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado ($P>0,05$), mas a variável Zn aos 375 DAP se ajustou ao modelo de regressão linear a $P<0,01$ (TABELA 40).

Tabela 40 – Resumo da análise de variância e médias para os teores de micronutrientes exportados pela palma forrageira sob cultivo em resposta aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) e densidades de plantio sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios ¹				
		E_FE	E_MN	E_ZN	E_CU	E_NA
Densidade de plantio (DP)	7	25,9613 ^{ns}	289869,5845 ^{ns}	44,7962 ^{ns}	0,8285 ^{ns}	155,3902 ^{ns}
I I L F (3,5 mm p/ evento)	(4)	3635,3019 ^{ns}	1425081,9457 ^{**}	1040,1973 [*]	11,6123 ^{ns}	1443,8626 ^{ns}
Contraste (irrig. x s/ irrig.)	35	7666,5989 ^{ns}	3582923,6160 ^{**}	411,8116 ^{ns}	44,9800 [*]	1129,8756 ^{ns}
Regressão Linear	36	2994,6812 ^{ns}	403449,5544 ^{ns}	2535,0304 ^{**}	1,0457 ^{ns}	1145,5319 ^{ns}
Regressão Quadrática	37	3224,1001 ^{ns}	663671,2059 ^{ns}	1077,9881 ^{ns}	0,3429 ^{ns}	1950,3578 ^{ns}
Desvio de Regressão	39	655,8273 ^{ns}	1050283,4064 [*]	135,9590 ^{ns}	0,0804 ^{ns}	1549,6851 ^{ns}
Resíduo	40	8936,1349	182396,9553	222,2745	4,0910	2229,5313
CV (%)		24,53	31,12	21,89	17,24	10,34
IILF (3,5 mm p/ evento)		Médias ²				
		E_FE	E_MN	E_ZN	E_CU	E_NA
2,3		365,21 ^{ns}	956,71 ^{ns}	60,24 ^{ns}	12,35 ^{ns}	460,60 ^{ns}
7		389,21 ^{ns}	2116,71 ⁺	60,08 ^{ns}	12,42 ^{ns}	420,55 ^{ns}
14		431,75 ^{ns}	1635,88 ⁺	61,28 ^{ns}	12,42 ^{ns}	453,93 ^{ns}
21		400,58 ^{ns}	1757,55 ⁺	101,34 ⁺	13,20 ^{ns}	473,95 ^{ns}
Sequeiro (testemunha)		340,17	394,88	57,64	8,27	420,55
DMS		233,31	1054,000	36,79	4,99	116,54

1 – **, * e ns: significativo a 1 % e 5 % e não significativo, respectivamente.

2 – + Significativo e superior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade; - Significativo e inferior à testemunha, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade e ns não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

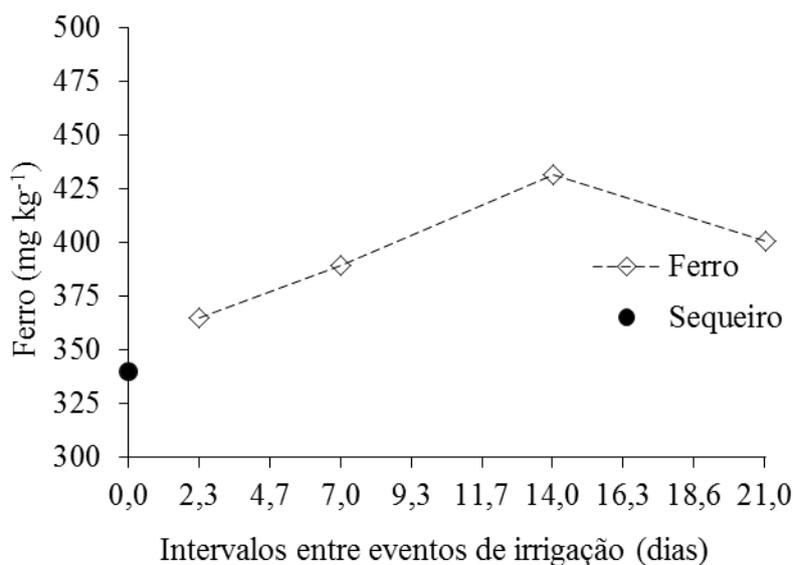
E, também, houve diferença significativa ($P < 0,01$) para o contraste entre a palma cultivada com irrigação *versus* cultivada sem irrigação para a variável Mn e diferença significativa ($P < 0,05$) para a variável Co, no entanto, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) para o contraste para as variáveis Fe, Zn e Co.

Para a variável Ferro (Fe) nenhum intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha (sequeiro). Já para o manganês (Mn) apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias irrigado com água de poço artesiano tubular não apresentou diferença significativa ($P > 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro, os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias irrigados com esgoto doméstico tratado apresentaram diferença significativa ($P > 0,05$). Mas já para a variável zinco (Zn) apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha. E no caso do cobre (Co) e Sódio (Na) nenhum intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentou diferença estatística significativa ($P > 0,05$) (TABELA 40).

5.3.9 Teor de ferro exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de ferro (Fe) na palma forrageira aos 375 DAP. Assim como não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de Fe na mesma época. E, também, não houve interação significativa ($P > 0,05$) para a exportação de ferro (Fe) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 40).

Pode-se verificar que a exportação de Fe na palma forrageira orelha de elefante mexicana não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o conteúdo de Fe exportado via cladódios de $396,69 \text{ mg kg}^{-1}$ na matéria seca. Neste sentido, o modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de Fe foi obtido pela média da extração/exportação de ferro ($396,69 \text{ mg kg}^{-1}$) pela média da produção total de matéria seca ($69,39 \text{ t ha}^{-1}$) aos 375 DAP que foi de $27,52 \text{ kg ha}^{-1}$. E sua média de extração/exportação de ferro foi de $3,96 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca (FIGURA 52).



$$Y_{(FE)} = 396,69$$

Figura 52 – Teor de ferro (Fe) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

O teor de ferro encontrado no solo com esgoto doméstico tratado (396,69 mg kg⁻¹) é muito superior ao estimado por Nobel et al. (1987), 73 mg kg⁻¹, em trabalho realizado no Texas; e ao obtido por Dubeux Júnior et al. (2010) média de 84,54 mg kg⁻¹ sem diferenças, em função dos tratamentos. Já Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média geral de FeEE de 0,73 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca. Por outro lado, Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos 620 DAP, constataram extração/exportação média geral de 0,45 kg ha⁻¹ de ferro para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida.

Nenhum intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de Fe aos 375 DAP. Isso demonstra a pobreza deste nutriente na adubação de fundação e na fertirrigação para o acúmulo de Fe no solo e conseqüentemente na exportação do nutriente pela palma.

Entretanto, considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são da ordem de 20,56, 32,52, 29,89 e 16,86 kg ha⁻¹ de Fe nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, 3,65, 4,21, 4,54 e 4,01 kg ha⁻¹ de Fe para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP, respectivamente.

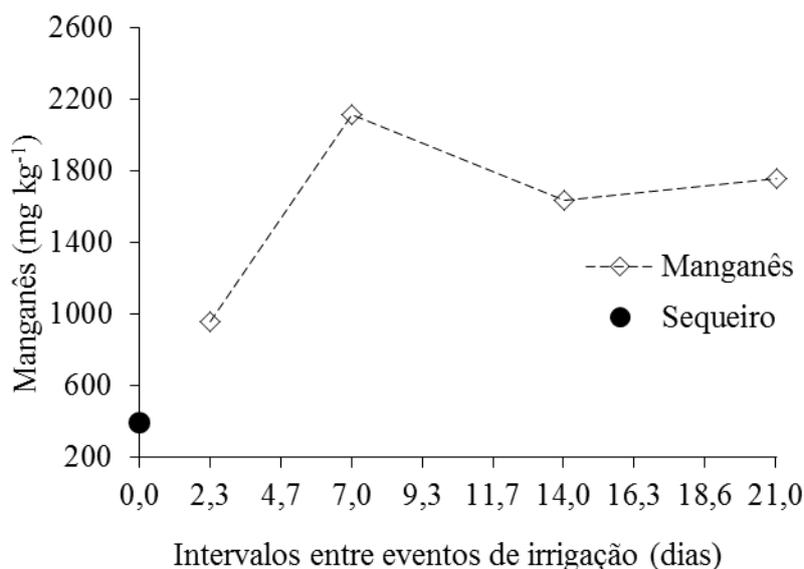
Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média de cálcio de $0,773 \text{ kg ha}^{-1}$. O modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de cálcio, de $0,830 \text{ kg ha}^{-1}$ quando se aplicou a dose de 200-150-100 (NPK). Já Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos tido DAP, obtiveram a extração/exportação média de $1,33 \text{ kg ha}^{-1}$. E a extração/exportação máxima de cálcio na palma aconteceu no tratamento com espaçamento $2,0 \times 0,25$, exportando $1,46 \text{ kg ha}^{-1}$.

5.3.10 Teor de mangânes exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de manganês (Mn) na palma forrageira aos 375 DAP. Mas houve diferença significativa ($P < 0,01$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa ($3,5 \text{ mm p/ evento}$) – (IILF) na exportação de Mn na mesma época. Sendo que houve interação significativa ($P < 0,01$) para a exportação de manganês (Mn) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 40).

Pode-se verificar que a exportação de Mn na palma orelha de elefante mexicana não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o conteúdo de Mn exportado via cladódios de $1.616,71 \text{ mg kg}^{-1}$ na matéria seca. Neste sentido, o modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de Mn foi obtido pela média da extração/exportação de manganês ($1.616,71 \text{ mg kg}^{-1}$) pela média da produção total de matéria seca ($69,39 \text{ t ha}^{-1}$) aos 375 DAP que foi de $112,18 \text{ kg ha}^{-1}$. E sua média de extração/exportação de manganês foi de $16,16 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca.

Enquanto Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média geral de MnEE de $6,61 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca; Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos 620 DAP, verificaram que os teores de manganês, $2.006,06$ e $1.761,01 \text{ mg kg}^{-1}$, resultantes das adubações com NPK e NP, respectivamente, não diferiram entre si e superaram os teores dos tratamentos sem adubação ($984,41 \text{ mg kg}^{-1}$) e adubado com P ($665,65 \text{ mg kg}^{-1}$) que foram similares entre si. Constatou-se extração/exportação média geral de $13,54 \text{ kg ha}^{-1}$ de manganês para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca produzida (FIGURA 53).



$$Y_{(MN)} = 1.616,71$$

Figura 53 – Teor de manganês (Mn) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3 dias não apresentou diferença estatística significativa ($P > 0,05$), mas os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 7, 14 e 21 dias apresentaram diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de Mn aos 375 DAP, demonstrando que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequente, irrigado com esgoto doméstico tratado proporcionou maior concentração de manganês no solo (TABELA 41). A elevação do pH do solo diminuiu substancialmente a concentração de manganês na solução do solo. Do contrário, com o abaixamento do pH, conforme aconteceu no experimento, há uma maior disponibilidade da concentração do nutriente na solução do solo antes de sofrer oxidação para formas não disponíveis e conseqüentemente maior extração/absorção de manganês. A maior absorção de manganês em relação a outros íons metálicos se deu possivelmente pelo fato do pH do solo se encontrar ácido devido a influência da matéria orgânica aplicada via fertirrigação e especialmente via adubação de fundação.

Contudo, considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são da ordem de 53,85, 163,67, 107,71 e 73,98 kg ha⁻¹ de Mn nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, 9,57, 21,17, 16,36 e 17,58 kg ha⁻¹ de Mn para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca

produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP, respectivamente.

Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média de manganês de 23,17 kg ha⁻¹. O modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de manganês, de 34,32 kg ha⁻¹ quando se aplicou a dose de 200-150-100 (NPK). Já Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos 620 DAP, obtiveram a extração/exportação média de 12,07 kg ha⁻¹. E a extração/exportação máxima de manganês na palma aconteceu no tratamento com espaçamento 2,0 x 0,25, exportando 13,82 kg ha⁻¹.

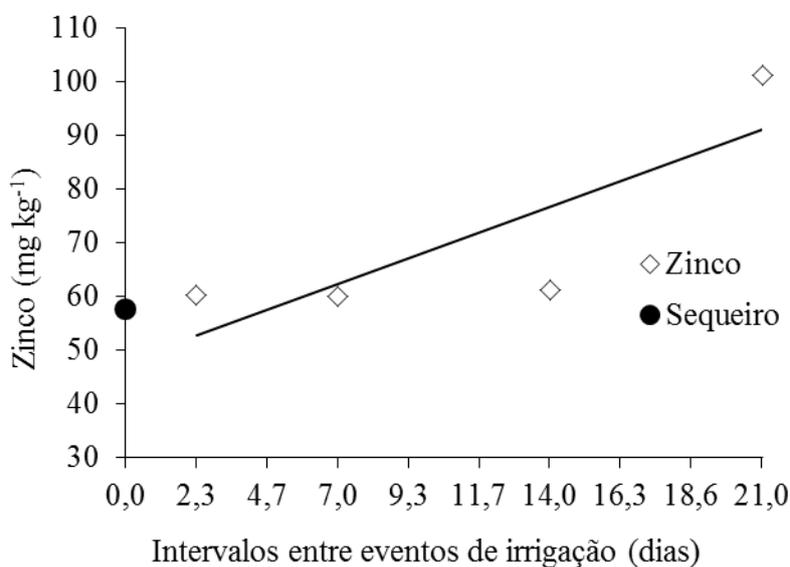
5.3.11 Teor de zinco exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de ferro (Zn) na palma forrageira aos 375 DAP. Mas houve diferença significativa ($P<0,05$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de Zn na mesma época. Entretanto, não houve interação significativa ($P>0,05$) para a exportação de zinco (Zn) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 40).

Pode-se verificar que a exportação de Zn na palma forrageira orelha de elefante mexicana se ajustou a um modelo de regressão linear com a equação da reta resultando no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias com modelo estimando o ponto de máxima extração/exportação de 91,11 mg kg⁻¹ de Zn na matéria seca e extração/exportação total de 3,83 kg ha⁻¹ de Zn na palma forrageira de acordo com a produção total de matéria seca (FIGURA 54). E sua média de extração/exportação de nitrogênio foi de 0,91 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca.

Também Dubeux Júnior et al. (2010) encontraram médias geral dos teores de zinco, 108,58 mg kg⁻¹, maiores que as constatadas no presente trabalho. Valores inferiores foram determinados por Nobel et al. (1987), média de 31,00 mg kg⁻¹ em tecidos de *Opuntia engelmannii*. Enquanto Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média geral de ZnEE de 0,62 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca. Por sua vez, Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos

620 DAP, constataram extração/exportação média geral de $0,65 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca produzida.



$$Y_{(Zn)} = 47,964 + 2,0548**X$$

$$R^2 = 0,6762$$

Figura 54 – Teor de zinco (Zn) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Apenas o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 21 dias apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$), mas os demais intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7 e 14 dias não apresentaram diferença estatística significativa ($P > 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de Zn aos 375 DAP, demonstrando que o intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa menos frequente fertirrigado com esgoto doméstico tratado proporcionou maior absorção de Zn pela planta. Possivelmente, devido aos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa mais frequentes, fertirrigados com esgoto doméstico tratado terem contribuído para maior absorção dos demais nutrientes metálicos, dentre eles, o manganês e o ferro em detrimento do zinco (TABELA 40).

Entretanto, considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são da ordem de 3,39, 4,65, 4,03 e $4,27 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, $0,60$, $0,60$, $0,61$ e $1,01 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP, respectivamente.

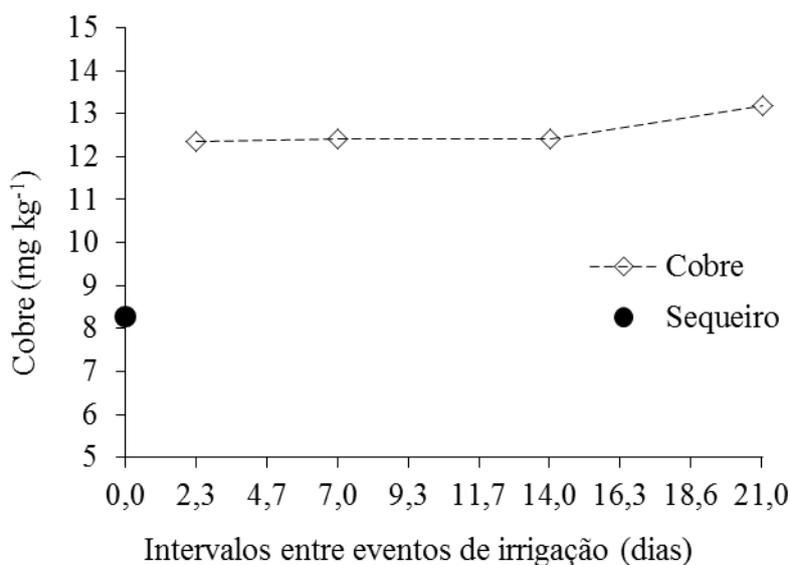
Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média de zinco de $1,11 \text{ kg ha}^{-1}$. O modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de zinco, de $1,22 \text{ kg ha}^{-1}$ quando se aplicou a dose de 200-150-000 (NPK). Já Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos 620 DAP, obtiveram a extração/exportação média de $1,15 \text{ kg ha}^{-1}$. E a extração/exportação máxima de zinco na palma aconteceu no tratamento com espaçamento $1,0 \times 0,50$, exportando $1,37 \text{ kg ha}^{-1}$.

5.3.12 Teor de cobre exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado.

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de cobre (Cu) na palma forrageira aos 375 DAP. Assim como não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa ($3,5 \text{ mm p/ evento}$) – (IILF) na exportação de Cu na mesma época. Sendo que, houve interação significativa ($P < 0,05$) para a exportação de cobre (Co) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 40).

Pode-se verificar que a exportação de Cu na palma forrageira orelha de elefante mexicana não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o conteúdo de Cu exportado via cladódios de $12,60 \text{ mg kg}^{-1}$ na matéria seca (FIGURA 55). Neste sentido, o modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de Cu foi obtido pela média da extração/exportação de cobre ($12,60 \text{ mg kg}^{-1}$) pela média da produção total de matéria seca ($69,39 \text{ t ha}^{-1}$) aos 375 DAP que foi de $0,874 \text{ kg ha}^{-1}$. E sua média de extração/exportação de nitrogênio foi de $0,126 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca.

A média desses teores, $12,60 \text{ mg kg}^{-1}$ para os diferentes tipo de intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa, foi maior que os resultados de Dubeux Junior et al. (2010), $6,5 \text{ mg kg}^{-1}$ e maior que os de Galizzi et al. (2004), $2,9 \text{ mg kg}^{-1}$. Já Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média geral de CuEE de $0,046 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca. E Souza et al. (2015), em experimento com adubação com NPK aos 620 DAP, constataram extração/exportação média geral de $0,038 \text{ kg ha}^{-1}$ de cobre para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca produzida.



$$Y_{(Cu)} = 12,60$$

Figura 55 – Teor de cobre (Cu) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Nenhum intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de Co aos 375 DAP, isso demonstra a pobreza deste nutriente na adubação de fundação e na fertirrigação para o acúmulo de Cu no solo e conseqüentemente na exportação do nutriente pela palma (TABELA 41). A maior absorção de manganês observada aos 375 DAP pode ter reduzido à absorção de cobre. A presença elevada de íons metálicos, como Fe, Mn e Al, reduz a disponibilidade de cobre para as plantas (AREF, 2011).

No entanto, considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são da ordem de 0,70, 0,96, 0,82 e 0,56 kg ha⁻¹ de Cu nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, 0,12, 0,12, 0,12 e 0,13 kg ha⁻¹ de Cu para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP, respectivamente.

Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média de cobre de 0,077 kg ha⁻¹. O modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de cobre, de 0,087 kg ha⁻¹ quando se aplicou a dose de 200-150-100 (NPK). Já Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos 620 DAP, obtiveram a extração/exportação média de 0,07 kg ha⁻¹. E a extração/exportação

máxima de cobre na palma aconteceu no tratamento com espaçamento 1,0 x 0,50 e 2,0 x 0,25, exportando 0,08 kg ha⁻¹.

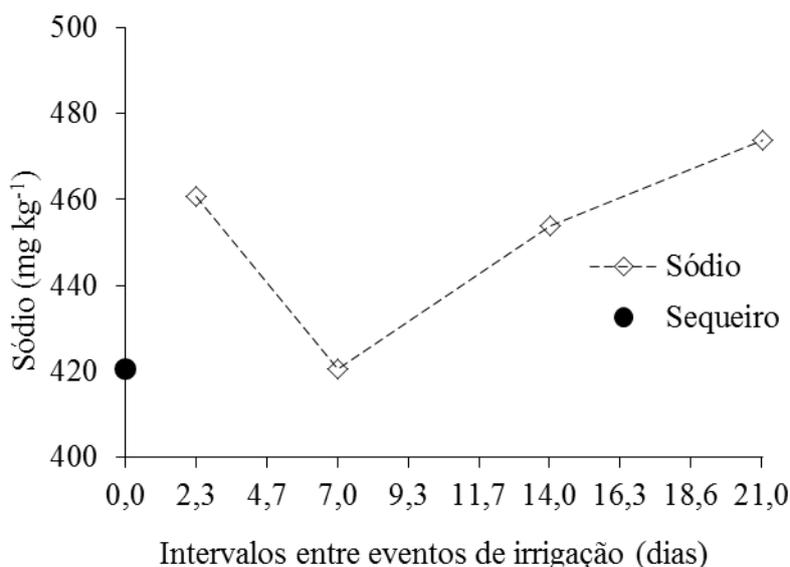
5.3.13 Teor de sódio exportado pela palma forrageira fertirrigada com esgoto doméstico tratado

De acordo com os resultados da análise de variância pode-se verificar que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as densidades de plantio para a exportação de sódio (Na) na palma forrageira aos 375 DAP. Assim como não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) – (IILF) na exportação de Na⁺ na mesma época. E também não houve interação significativa ($P < 0,05$) para a exportação de sódio (Na) para o contraste entre os tratamentos irrigados *versus* o tratamento não irrigado (sequeiro) aos 375 DAP (TABELA 40).

Pode-se verificar que a exportação de Na⁺ na palma forrageira orelha de elefante mexicana não se ajustou a nenhum modelo de regressão testado, tendo sua média geral o conteúdo de Na exportado via cladódios de 452,26 mg kg⁻¹ na matéria seca. Neste sentido, o modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de Na⁺ foi obtido pela média da extração/exportação de ferro (452,26 mg kg⁻¹) pela média da produção total de matéria seca (69,39 t ha⁻¹) aos 375 DAP que foi de 31,38 kg ha⁻¹. E sua média de extração/exportação de nitrogênio foi de 4,52 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca (FIGURA 56).

Valor bem abaixo daquele encontrado neste estudo foi encontrado por Galizzi et al. (2004), 38,0 mg kg⁻¹, em trabalho conduzido na Argentina. Apesar do Na geralmente não ser considerado essencial às plantas, Epstein & Bloom (2006) informam, em sua revisão, que o Na é micronutriente para plantas com via CAM de fixação de carbono, como a palma forrageira, pois é essencial para a regeneração do fosfoenolpiruvato, o substrato da primeira carboxilação nessa via. Ainda segundo esses autores, a deficiência de Na induz, nessas plantas, clorose e necrose além de falha na formação de flores.

Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média geral de NaEE de 0,45 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca. Por sua vez, Souza et al. (2015), em experimento com adubação com NPK aos 620 DAP, constataram extração/exportação média geral de 0,40 kg ha⁻¹ de sódio para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida.



$$Y_{(NA)} = 452,26$$

Figura 56 – Teor de sódio (Na) exportado via cladódio na palma forrageira aos 375 DAP em função dos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) sob aplicação de efluente doméstico tratado.

Nenhum intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) em relação à testemunha em condições de sequeiro para a exportação de Na aos 375 DAP. Isso demonstra a pequena contribuição deste nutriente na adubação de fundação e na fertirrigação para o acúmulo de Na no solo e consequentemente na exportação do nutriente pela palma (TABELA 40).

Todavia, considerando as médias da produção de matéria seca, os valores exportados do nutriente aos 375 DAP são da ordem de 25,93, 32,52, 29,89 e 19,95 kg ha⁻¹ de Na nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa de 2,3, 7, 14 e 21 dias, respectivamente. Ou seja, 4,61, 4,21, 4,54 e 4,74 kg ha⁻¹ de Na para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida nos intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa aos 375 DAP, respectivamente.

Donato (2011), estudando doses de esterco bovino e espaçamentos, obteve aos 600 DAP a média de cálcio de 0,69 kg ha⁻¹. O modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de cálcio, de 0,87 kg ha⁻¹ quando se aplicou a dose de 000-000-000 (NPK). Já Souza et al. (2015), em experimento com adubação com N, NP e NPK aos 620 DAP, obtiveram a extração/exportação média de 0,84 kg ha⁻¹. E a extração/exportação máxima de sódio na palma aconteceu no tratamento com espaçamento 1,0 x 0,50, exportando 1,05 kg ha⁻¹.

5.3.14 Balanço da exportação de micronutrientes na palma forrageira.

Ao avaliar a extração total de nutrientes aos 375 DAP, verifica-se que o micronutriente mais extraído foi o ferro com 396,69 kg ha⁻¹, seguido por manganês com 112,18 kg ha⁻¹, sódio com 31,38 kg ha⁻¹, zinco com 3,83 kg ha⁻¹ e cobre com 0,87 kg ha⁻¹, nesta ordem. Entretanto, a sequencia do balanço de nutrientes foi sódio com excesso de 348,93 kg ha⁻¹, ferro com excesso de 26,342 kg ha⁻¹, cobre com excesso de 0,03 kg ha⁻¹, zinco com déficit de - 2,04 kg ha⁻¹ e manganês com déficit de - 104,03 kg ha⁻¹, nesta ordem (TABELA 41).

Tabela 41 – Balanço de micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre e sódio) em função da extração/exportação máxima pela palma forrageira orelha de elefante mexicana (*Opuntia tuna* (L.) Mill) e do adicionado ao solo via adubação de fundação (química e orgânica) e pela fertirrigação com esgoto doméstico tratado e água de abastecimento de poço artesiano tubular.

NUTRIENTE	ADICIONADO	EXPORTADO (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	BALANÇO
Ferro	660,14*	396,69	+ 263,42
Manganês	8,15*	112,18	- 104,03
Zinco	1,79*	3,83	- 2,04
Cobre	0,90*	0,87	+ 0,03
Sódio	380,31*	31,38	+ 348,93

* Máxima contribuição de acúmulo de nutriente no intervalo entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) mais frequente fertirrigado com esgoto doméstico tratado ou água de abastecimento de poço artesiano tubular, somado ao nutriente adicionado pela adubação de fundação química e orgânica.

6 CONCLUSÕES

1. O crescimento e desenvolvimento da palma forrageira no semiárido brasileiro, especialmente em regiões de baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas, como no Seridó e Sertão Central do Rio Grande do Norte, são determinados pelo índice pluviométrico.
2. Pequenas aplicações de irrigação com metade da média da evapotranspiração diária, em intervalos entre eventos de irrigações com lâmina fixa não frequente, durante o cultivo de palma forrageira no semiárido brasileiro, aumentam significativamente o crescimento e a produção da forrageira.
3. Os intervalos entre eventos de irrigação com lâmina fixa (3,5 mm p/ evento) fertirrigado com esgoto doméstico tratado influenciaram significativamente diversas variáveis, promoveram altura e volume de plantas superiores, cladódios maiores e mais espessos e elevações nas produções de matéria verde e seca.
4. Houve influência da adubação orgânica com esterco bovino sobre a maioria das variáveis estudadas, especialmente em relação às produções de matéria verde e seca.
5. A densidade de plantio de maior adensamento (66.667 plantas/ha⁻¹) influenciou significativamente a matéria verde e matéria seca total, entretanto, pouco influenciou as demais variáveis estudadas, com exceção de alguns períodos de coleta, cuja influência é explicada pela mudança de manejo ou climática que foi programada metodologicamente no início do experimento, como por exemplo, início e encerramento do período chuvoso.
6. Os turnos de rega que proporcionaram maior produção média de matéria verde e seca total estatisticamente resultaram em intervalos entre eventos de irrigação diferente dos estabelecidos no experimento, resultando em intervalos entre eventos de irrigação que giram entre 9 e 10 dias. Entretanto, por se tratar de tecnologia para agricultores com foco na economia de água e de nutrientes já limitados, a fim de sustentar a produção, pode-se sugerir densidade de plantio que melhor aproveita o solo sem exaurir seus recursos, no caso a densidade de plantio intermediária de 52.282 plantas/hectare. E intervalos entre eventos de irrigação que economize água sem diminuir tanto a produção, no caso o intervalo entre eventos de irrigação intermediário de 14 dias, facilitando também a

aplicação da irrigação ao nível do trabalhador pelo fato do intervalo ser exatas duas semanas, sendo o evento de irrigação seguinte no mesmo dia da semana.

7. O manejo na adubação e reúso de água na produção de palma forrageira devem ser bem controlados, já que pode causar dano ao solo a curto e médio prazo, especialmente pela disposição de sais no solo, dessa forma, entende-se que a manutenção do palmal é extremamente importante para o sucesso da cultura, considerando serem altos os custos para sua implantação e recuperação.
8. Ao contrário do imaginário dos agricultores, a palma forrageira é exigente em condições edafoclimáticas, à medida que seu potencial produtivo pode ser aumentado mais de duas vezes quando oferecidas tais condições, demonstrando a fragilidade dos solos e sua deprecação ao longo de alguns ciclos da cultura sem os devidos cuidados.
9. Os macronutrientes extraídos/exportados em maior quantidade pela palma forrageira foram: N, K, Ca, Mg e P; e os micronutrientes: Fe, Mn, Na, Zn e Co, nesta ordem.
10. O balanço dos macronutrientes foi excesso de K e P, nesta ordem e déficit de N, Ca e Mg, nesta ordem; e os micronutrientes foi excesso de Na, Fe e Co, nesta ordem e déficit de Zn e Mn, nesta ordem.
11. O incremento das doses de esterco bovino em todos os tratamentos melhoraram a qualidade e produção da palma e promoveram uma maior extração de nutrientes e aumentaram os seus teores nos cladódios de palma forrageira.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, E. M.; Medeiros, H. R.; Rangel, A. H. N. Produção de leite a pasto. In: Brito, A. S.; Nobre, F. V.; Fonseca, J. R. R. (Orgs). Bovinocultura leiteira: informações técnicas e de gestão. Natal: Sebrae/Rn, 2009. p. 162-182.
- Albuquerque, S. G. de. Cultivo da palma forrageira no sertão do São Francisco. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. 6 p. il. (Embrapa Semi-Árido. Comunicado Técnico, 91). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/87631/COT91.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.
- Alencar, L. P.; Sedyama, G. C.; Wanderley, H. S.; Almeida, T. S.; Delgado, R. C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. Engenharia na Agricultura, Viçosa-MG, v.19, n. 5, p. 437-449, 2011.
- Almeida, J. A palma forrageira na Região Semiárida do Estado da Bahia: diagnóstico, crescimento e produtividade. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas-BA. 95f. 2011.
- Alvarez, V.H.; Novais, R.F.; Barros, N.F.; Cantarutti, R.B. & Lopes, A.S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solo. Pp. 25-32. In: Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 5ª aproximação. (A.C. Ribeiro; P.T.G. Guimarães & V.H. Alvarez, eds.). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.
- Alves, R.N.; Farias, I.; Menezes, R.S.C. et al. Produção de forragem pela palma após 19 anos sob diferentes intensidades de corte e espaçamentos. Revista Caatinga, v.20, n.4, p.38-44, 2007.
- Andrade Neto, C O de. Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários –Experiência Brasileira. Rio de Janeiro, ABES, 1997. 301p.
- Andrade Neto, C O de; Campos, J R; Além Sobrinho, P; Chernicharo, C. A. L; Nour, E. Filtros Anaeróbios. In: Campos, J R (coordenador) et al. Tratamento de Esgotos

Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999, p.139-154.

Andrade, J. C. As palmas forrageiras em Alagoas. Maceió; Ed. Grupo Tércio Wanderley, 181 p, 1990.

Andrade, R. L. Evolução do crescimento da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em função do adensamento e adubação com farinha de osso no solo. Patos – PB, CSTR/UFCG, 2009.41 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

Apha. AWWA. WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington D.C., 2005.

Araújo Filho, J.A. de; Carvalho, F.C. Sistemas de produção agrossilvipastoril para o semi-árido nordestino. In: Carvalho, M.M., Alvim, M.J., Carneiro, J. da C. 7 (Eds.) Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001.

Araújo Filho, J.A. Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga para fins pastoris. Sobral, CE: Embrapa-CNPC. 1992. 18p. (Circular Técnica).

Araújo Filho, J.A.; Silva, N.L. Alternativas para o aumento da produção de forragem na caatinga. In: Simpósio nordestino de alimentação de ruminantes, 5.1994, Salvador - BA, Anais... SNPA, Salvador, p. 121-133, 1994.

Araújo Filho, J.A.; Souza, F.B.; Carvalho, F.C. (1995). Pastagens no semi-árido: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: Andrade, R.P.; Barcellos, A.O.; Rocha, C.M.C. Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros: pesquisas para o desenvolvimento sustentável, Brasília, DF, Anais.... Brasília, DF: SBZ.

Araújo Filho, J.T. Efeitos da adubação fosfatada e potássica no crescimento da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) - Clone IPA-20. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2000.

- Araújo, A. M. 2009. Interação entre adubação fosfatada e espaçamento no cultivo da palma forrageira (*Opuntia ficusindica* (L.) Mill) no Estado da Paraíba. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Campina Grande, Patos. 67p.
- Araújo, G.G.L. Alternativas Alimentares para Caprinos e Ovinos no Semi-Árido In: PEC Nordeste-2003, 04, Fortaleza, CE. Anais...Fortaleza, 2003. 18p.
- Araújo, J. E. M.; Silva, T. G. F.; Queiroz, M. G.; Pinheiro, K. M.; Silva, S. M. S.; Cruz Neto, J. F.; Lima, E. R. Avaliação de métodos de uso de um ceptômetro na determinação do índice de área do cladódio de clones de palma forrageira. In: XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão (JEPEX). Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2013.
- Aref, F. Iron, copper and manganese concentration in maize leaf as influenced by soil and foliar application of zinc sulfate and boric acid. *International Journal of Academic Research*, v.3, n.2. p.1080-1087. 2011.
- Asano, Pettygrove, G.S. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation. *California Agriculture*, Berkeley, v. 41, n. 3/4, p. 15-18, 1987.
- Askar, A., El-samahy, S.K. Chemical composition of prickly pear fruits. *Deut Lebensm-Rundsch*, v.77, 1981, p.279-281.
- Athayde Júnior, G. B.; Leite, V. D. Tratamento das águas residuárias domésticas para reuso na agricultura. I: Lagoas de estabilização. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17744/1/2009_dis_ccmsousa.pdf> Acesso em: 26 março de 2016.
- Athayde Júnior, G.B. On the design and operation of wastewater storage and Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A. A qualidade da água na agricultura. Paraíba: livro. Tradução...Paraíba: UFPB, 1991. 218p.
- Balks, M. R.; Bond, W, J.; Smith, C. J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. *Australian Journal of Soil Research*, Collingwood, v. 36, p. 821-830, 1998.

- Bastos, R. K. X. (Org.) Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e psicultura. PROSAB 3. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 267p.
- Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). 2. ed Jaboticabal: Funep, 2003. 41 p.
- Benson, L., 1982. The cacti of the united states and canada. Stanford university press, stanford, California.
- Bernardi, C.C. Reuso de água para irrigação. Brasília: Isae/fgv/ecobusiness school, 2003. 52p. (Monografia - MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, área de concentração Planejamento Estratégico).
- Bertoncini, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, junho. 2008.
- Blanco–Macías, F. et al. Nutritional reference values for opuntia ficus–indica determined by means of the boundary–line approach. Journal of plant nutrition and soil science, v.173, n.6, p.923–934, 2010.
- Bognouls, F., Gaussen, H. Estação seca e índice xerotérmico. Boletim Geográfico, ano XX, n. 169, 1962. (Tradução de Ruth Simões Bezerra dos Santos).
- Borba, M. A.; Silva, D. S. Andrade, A. P. A palma no nordeste e seu uso na alimentação animal. 2011. Disponível em:<<http://ainfo.cnptia.embrapa/digital/item/36744/1/AAC-A-palma-no-nordeste.pdf>>. Acesso: 22 de fevereiro de 2014.
- Borland et al. The photosynthetic plasticity of crassulacean acid metabolism: an evolutionary innovation for sustainable productivity in a changing world. New Phytologist 191: 2011.
- Botelho, S.M.; Rodrigues, J.E.L.; Veloso, C.A.C. Fertilizantes orgânicos. In: Cravo, M. da S. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará. 2007. p. 69-70.
- Boulal, Hakim.; Gómez-macpherson, Helena.; Gómez, J. A.; Mateos, L. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. Soil & tillage research, v.115, 2011.

- Bower, H.; Chaney, R. L. Land treatment of wastewater. *Advances in agronomy*, v. 26, p. 133-176, 1974.
- Brady, N. C. *Matéria orgânica dos solos minerais: Natureza e propriedades dos solos*. 5 ed., Rio de Janeiro: 1979, p. 141-168.
- Brito, A. S.; Fonseca, J. R.; Nobre, F. V. *Bovinocultura leiteira: informações técnicas e de gestão*. Natal: Sebrae/RN, 2009.
- Cândido, M.J.D., Gomes, G.M.F., Lopes, M.N. & Ximenes, L.J.F. 2013. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. *Informe rural etene*. 7(3): 1-7.
- Carvalho, R. A.; Lopes, E. B.; Silva, A. C.; Leandro, R. S.; Campos, V. B. Controle alternativo da cochonilha-do-carmim em palma forrageira no cariri paraibano. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/sbf/invasoras/capa/docs/paineis/ss>. Acesso em: 14 de março de 2006.
- Cassol, P.C. *Eficiência fertilizante de estrumes de bovinos de leite e frangos de corte como fonte de fósforo às plantas*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 162p. (Tese de Doutorado).
- Cavalcante, L. A. D.; Santos, G. R. A.; Silva, L. M.; Fagundes, J. L.; Silva, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa agropecuária tropical*, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 424 - 433, 2014.
- Cavalcanti, F.C. da. *Coord. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação*. Recife: IPA, 1998. 198p.
- Chagas, A. J. C. *Palma, o “ouro verde” da caatinga*. Maceió. Mimeografado em 3p. 1976.
- Chartzoulakis, K.; Klapaki, G. Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 86, p. 247-260, 2000.
- Chiacchio, F.P.B.; Mesquita, A.S.; Santos, J.R. *Palma forrageira: uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o Semiárido baiano*. *Bahia Agrícola*, v.7, n.3. 2006.

- Christofidis, D. Painel 1 – Agricultura irrigada e desenvolvimento regional no Brasil: Aspectos Socioeconômicos da Agricultura Irrigada. In: Seminário nacional: Agricultura irrigada e desenvolvimento sustentável. 2009, Brasília. Aspectos socioeconômicos da agricultura irrigada. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2009.
- Codevasf. Companhia de desenvolvimento dos vales do São Francisco e vale do Parnaíba. Polígono das secas. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/osvales/valedo-sao-francisco/poligono-das-secas>>. Acessado em 02 de jul. de 2011.
- Conceição, P.C.; Amado, T.J.C.; Mielniczuk, J.; Spagnollo, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, 2005.
- Coraucci Filho, B. et al. Bases conceituais da disposição controlada de águas residuais no solo. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- Cortazar, V.; Nobel, P.S. Prediction and measurement of high annual productivity for opuntia ficus-indica. Agricultural and Forest Meteorology, v. 56, 1991.
- Costa, F.G.B. Uso de água residuária de origem doméstica no cultivo do girassol no Assentamento Milagres, Apodi-RN. Mossoró, 2012. 92 f.: il.
- Cunha, D. N. F. V. et al. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. Revista brasileira saúde produção animal, Salvador, v. 13, n. 4, 2012.
- Cunha, M.G.G. Efeito da adição de fibra em dietas à base de palma forrageira (Opuntia Ficus Indica Mill) sobre os parâmetros da fermentação ruminal e da digestibilidade em ovinos. Recife: UFRPE, 1996. 70p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996.
- Daker, A. A água na agricultura; manual de hidráulica agrícola. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: Freitas Bastos, 1988. 543p.
- Davies, E. G. R.; Simonovic, S. P. Global water resources modeling with an integrated model of the social–economic–environmental system. Advances in water resources, v. 34, I. 6, p. 684-700, 2011.

- Defelipo, B.V. & Ribeiro, A.C. Análise química de solo (metodologia). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- Dirección general de gest ion del medio natural. (S/D). Guia de la flora y vegetación del Andévalo - Faja piritica espana-portugal. D. G. P. I. A. Junta de Andalucia. Espanha. pp 66, 2001.
- Dodd, A.N. et al. Crassulacean acid metabolism: plastic, fantastic. *Journal of experimental botany* 53, p. 1–12, 2002.
- Domingues, O. Origem e introdução da palma forrageira no Nordeste. Recife: Instituto Joaquim Nabuco de pesquisas sociais, p. 54, 1963.
- Donato, P. E. R., Pires, A. J. V., Donato, S. L. R., Bonomo, P., Silva, J. A.; Aquino, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014.
- Donato, P.E.R. Avaliação bormatológica, morfológica, nutricional e de rendimento de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. Itapetinga- BA: UESB, 2011. 134f. Tese (Doutorado em zootecnia, área de concentração em produção de ruminantes).
- Duarte, R. Seca, pobreza e políticas públicas no Nordeste. 2001. Disponível em: <<http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/gt/20101030020924/16duarte.pdf>>. Acessado em 10 mar. De 2013.
- Dubeux JR. J. C. B.; MUIR, J. P.; SANTOS, M. V. F. et al. Improving grassland productivity in the face of economic, social, and environmental challenges. *Revista brasileira de zootecnia*. v. 40, p. 280-290, 2011.
- Dubeux JR., J. C. B.; Santos, M. V. F.; Mello, A. C. L. et al. Forage potential of cacti on drylands. *Acta Horticulturae (ISHS)*. v. 1067, 2015.
- Dubeux JR., J.C.B.; Saraiva, F.M.; Santos, D.C. et al. Efeito da adubação sobre a produtividade de cultivares de palma forrageira. In: I workshop sobre palma forrageira, 2012, Feira de Santana, Bahia. 2012.

- Dubeux Junior, J. C. B.; Araújo Filho, J. T.; Santos, M. V. F. dos.; Lira, M. A.; Santos, D. C. dos.; Pessoa, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e 77 composição mineral da palma forrageira—Clone IPA-20. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 5, p. 129-135. 2010.
- Dubeux Junior, J. C. B.; Santos, M. V. F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E. V. S. B. (eds.). *A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. 2.ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p.105-128.
- Dubeux Júnior, J. C. B.; Santos, M. V. F.; Lira, M. A.; Santos, D. C.; Farias, I.; Lima, L. E.; Ferreira, R. L. C. Productivity of *Opuntia fícus-indica* (L) Miller under different N and P fertilization and plant population in north- east Brasil. *Journal of Arid Enviroments*, v.67, p.357-372, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Thieres_Silva/publication/282131576_Caracterstic as_morfofisiologicas_e_produtividade_da_palma_forrageira_em_diferentes_lminas_de_irrigao/links/5604066508ae867aa876d6a3.pdf>. Acessado em 12 de mar. de 2016.
- Duque, J. G. *O Nordeste e as lavouras xerófilas*. 4 ed. Fortaleza. Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 330 p.
- Duque, S. G. *O Nordeste e as culturas xerófilas*. Mossoró: 3. Ed. Escola Superior de Agricultura de Mossoró/Fundação Guimarães Duque. ESAM (Coleção Mossoroense,143). 316p. 1980.
- Embrapa. Pesquisa desenvolve tecnologias para o controle da cochonilha-do-carmim. 2008. Petrolina: EMBRAPA: Semi-Árido Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/noticias/noticia147.php>>. Acesso em: 15 junho. 2015.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Semiárido Rio+20: Tecnologias para aproveitamento de água salobra no Semiárido. 2012. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1478895/rio20-tecnologias-paraaproveitamento-de-agua-salobra-nosemiarido>>. Acessado em 05 de jan. de 2015.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas De Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 221 p.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 28p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006, 306 p.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives, Second Edition Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts, 2005. Capítulos 4, 5 e 6.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- Ernani, P. R; Gianello, C. Diminuição do Alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e cama de aviário. R. Bras. de Ci. do Solo, 7:161–165, 1983.
- Ernani, P.R.; Almeida, J.A. de; Santos, F.C. dos. Potássio. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, L.E.F.; Neves, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do Solo. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.551-594. 2007.
- Erthal, V.J.T.; Ferreira, P.A.; Matos, A.T.; Pereira, O.G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuárias de bovinocultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.467-477, 2010.
- Espinoza, R. F. H.; Alvarado-Mendoza, J. F.; Murillo-Amador, B.; Garcia-Hernández, L.; Pargas-Lara, R.; Duarte-Osuna, J. de D.; Beltrani-Morales, F. A.; Fenech-Larios, L. Rendimiento y crecimiento de nopalitos de cultivares de nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo diferentes densidades de plantación. 2008. Disponível em: <<http://www.jpacd.org>>. Acessado em 25 de out. de 2015.
- FAO – Organização das nações unidas para a agricultura e alimentação. The State of World Fisheries and Aquaculture, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/fishery/sofia/en>>. Acesso em: nov. 2015.
- Faquim, V. Nutrição Mineral de Plantas. 2005. 100f. Textos acadêmicos - Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a distância Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas do Agronegócio - UFLA/FAEPE, Lavras - MG, 2005.

- Farias, I.; Lira, M.A.; Santos, D.C. et al. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira, em consorcio com sorgo granífero, no Agreste de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.2, 2000.
- Farias, I.; Santos, D.C. dos; Dubeux Júnior, J.C.B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: Menezes, R.S.C.; et al. (eds). *A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005.
- Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Spring-Verlag, 1991. 224 p.
- Fernandes, A.M.; Leonel, F.P.; Costa, M.G. Novilhas leiteiras: impacto no sistema de produção. In: Pereira, E.S.; Pimentel, P.G.; Queiroz, A.C. et al. (eds). *Novilhas leiteiras*. Fortaleza: Graphiti gráfica e editora Ltda, 2010.
- Ferraz, A. Palma forrageira - Cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido. 2013. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfbaYAF/palma-forrageira-cultivo-uso-atual-perspectivas-utilizacao-no-semiarido>>. Acessado em 10 mar. de 2016.
- Ferreira, A. K.C. da. Avaliação de métodos de análises químicas de nutrientes em tecido vegetal. Mossoró, 2014, 88f.: il.
- Ferreira, M. A. Palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros. Recife. Ed. UFRPE, 2005. 68 p.
- Firme, L.P. Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em latossolo cultivado com cana-de-açúcar. 2007. 109p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- Fonseca, A. F. da.; Herpin, U; Paula, A. M.; Victoria, R. L.; Melfi, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.64, n.2, p.194- 209, 2007.

- Fonseca, A. F. da.; Melfi, A.J.; Montes, C.R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluente. Part I plant dry matter yiel and soil nitrogen and phosphorus availability. *Communications in soil science and plant analysis*, New York, v. 36, n. 13, p. 1965-1981, 2005.
- Furlani, A. M. C. Nutrição mineral. In: Kerbauy, G. B. ed. *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- Galizzi, F. A.; Felker, P.; González, C. Correlations betw eensoil and cladode nutriente concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indicain a traditional farm setting in Argentina*. *Journal of Arid Environments*, v.59, n.1, p.115–132, 2004. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196304000254>>. 12 Jun. 2012.
- Garrido, M.S.; Sampaio, E.V.S.B. e Menezes, R.S.C. Potencial de adubação orgânica com esterco no Nordeste do Brasil. In: Menezes, R.S.C. (org.). *Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido*. Editora Universitária UFPE, 2008. P. 123 - 140.
- Germano, R.H., Barbosa, H.P., Costa, R.G. et al. Avaliação da composição química e mineral de seis cactáceas do semi-árido paraibano. In: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira De Zootecnia*, 28, 1991. João Pessoa, PB. *Anais...João Pessoa: SBZ*, 1991. p.3.
- Gomes, J. B. Adubação orgânica na produção de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L) Mill). no Cariri paraibano/ Josemberg Batista Gomes – Patos -PB: UFCG/PPGC0 F, 2011.
- Guidolin, J. C. Reuso de efluentes. Brasília: Secretária de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2000.
- Guilhoto et al. PIB da Agricultura Familiar: Brasil - Estados Unidos. NEAD estudos, 2007.
- Haruvy, N. Wastewater reuse – regional and economic considerations. *Resources, Conservation and Recycling*, v.23, 1998. (Haruvy, N. Reuso de águas residuais-reutilização regional e económica considerações. *Recursos, conservação e reciclagem*, v.23, 1998).

- Hernández, A. F. et al. Enrique Troyo-Dieguezc Yield and physiological traits of prickly pear cactus „nopal“ (Opuntia spp.) cultivars under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 97-107, 2004.
- Hespanhol, I. Potencial de reuso de água no Brasil-agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre. v7, 2002.
- Hoffmann, W. Etnobotânica. In: *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. Roma: FAO, Produção e proteção vegetal, 1995. Tradução (SEBRAE/PB), Paper 132.
- Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 43-61.
- Houérou, H.N. Le. The role of cacti (Opuntia spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, v. 33, n. 2, p. 135-159, 1996.
- Hu, Y.; Schmidhalter, U. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plant. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Berlin, v. 168, p. 541-554, 2005.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática-SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/default.asp?z=t&o=3&i=P>>. Acesso em: 10 de abril de 2015.
- Inglese, P. Plantação e manejo do pomar. In: *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. Revista Verde de Agroecologia Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001.
- Instituto brasileiro de geografia e estatística - IBGE. Área Territorial Brasileira. Censo 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em 05/01/2015.

- Instituto brasileiro de geografia e estatística. Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 317p. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em 05/01/2015.
- Instituto de Defesa e Inspeção Agropecuária do Rio Grande do Norte - IDIARN. Implantação de bancos de sementes da cultura da palma forrageira no Estado do Rio Grande do Norte, visando à distribuição, divulgação e inovação, utilizando variedades resistentes à Cochonilha do Carmim (*Dactylopius opuntiae*). Natal. IDIARN, 2013. 20 p. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em 05/01/2015.
- Irvine, S. A.; Reid, D. J. Field prediction of sodicity in dryland agriculture in central Queensland, Australia. *Australian Journal of the Research*, Collingwood, v. 39, p. 1349-1357, 2001.
- Jacomine, P.K.T.; Almeida, J.C. & Medeiros, L.A.R. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará. Recife, Ministério da Agricultura/Sudene, 1973a. 2v.
- Jacomine, P.K.T.; Cavalcanti, A.C.; Burgos, N.; Pessoa, S.C.P. & Silveira, C.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. Recife, Ministério da Agricultura/SUDENE, 1973b. 359p. v.1. (Boletim Técnico, 26; Série Pedologia, 14).
- Jacomine, P.K.T.; Cavalcanti, A.C.; Burgos, N.; Pessoa, S.C.P. & Silveira, C.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco: Descrição de perfis de solos e análises. Recife, Ministério da Agricultura/ SUDENE, 1972a. 354p.v.2. (Boletim Técnico, 26; Série Pedologia, 14).
- Jacomine, P.K.T.; Cavalcanti, A.C.; Pessoa, S.C.P. & Silveira, C.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Alagoas. Recife, Embrapa /Sudene, 1975a. 532p. (Boletim Técnico, 35; Série Recursos de Solos, 5).
- Jacomine, P.K.T.; Montenegro, J.O.; Ribeiro, M.R. & Formiga, R.A. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Sergipe. Recife, Embrapa/SUDENE, 1975b. 506p. (Boletim Técnico, 36; Série Recursos de Solos, 6).

- Jacomine, P.K.T.; Ribeiro, M.R.; Montenegro, J.O.; Silva, A.P. & Mélo Filho, H.F.R. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura/SUDENE, 1972b. 650p. (Boletim Técnico, 15; Série Pedologia, 8).
- Jacomine, P.K.T.; Rodrigues e Silva, F.B.; Formiga, R.A.; Almeida, J.C.; Beltrão, V.A.; Pessôa, S.C.P. & Fereira, R.C. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte. Recife, Ministério da Agricultura/ SUDENE, 1971. 531p. (Boletim Técnico, 21; Série Pedologia, 9).
- Jarvie H.P.; Neal C.; Witheres P.J.A. Sewage-effluent phosphorus: A great risk to river eutrophication than agricultural phosphorus. *Science of the total environment*, Amsterdam, v. 360, n. 1/3, p. 246-253, 2006.
- Jesus, M. S. de.; Queiroz, S. R. D.; Osuna, J. T. A.; Oliveira, J.; Araújo, F. L. Avaliação do crescimento vegetativo de clones de palma forrageira aos seis meses de idade em função da adubação. IN: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 6, Búzios. Anais... 2011, Búzios, RJ.
- Köppen, W.; Geiger, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag justus perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- Lacerda, C. A. de; Santos, V. F. dos; Borges, L. R.; Santos, E. A. dos; Costa, E. K. S. L. da; Silva Filho, C. A. T. da; Aquino, R. E. de; Ataíde, M. de L.; Silva, D. M.P. da. Utilização de produtos alternativos para o controle da cochinha-do-carmim *dactylopius opuntiae* (Coc kerell) em palma forrageira. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, Recife, v. 16, p. 31-41, jan. dez., 2011.
- Lima, C. G. da R.; Carvalho, M. de P. e; Narimatsu, K. C. P.; Silva, M. G. da; Queiroz, H. A. de. Atributos físico-químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 163-173, 2010.
- Lima, G. F. C. Reservas estratégicas de forragem de boa qualidade para bovinos leiteiros. In: Brito, A. S.; Nobre, F. V.; Fonseca, J. R. R. (Orgs). *Bovinocultura leiteira: informações técnicas e de gestão*. Natal: SEBRAE/RN, 2009. p. 11-36.

- Lima, G. F. C.; Rêgo, M. M. T.; Silva, J. G. M. et al. Rendimiento de biomassa da palma Miúda irrigada sob doses de adubação orgânica e intensidades de corte. In: Congresso Nordeste de Produção Animal. 9. 2014. Ilhéus: Resumos... Ilhéus: CNPA, 2014.
- Lima, G. F. C.; Rêgo, M. M. T.; Silva, J. G. M. et. al. Situación actual de las técnicas de producción de nopal forrajero en Brasil: Avances y limitaciones. In: MONDRAGÓNJACOBO, C. (Ed). Simposio Internacional Tuna Nopal. 1. 2013. Puebla: Resumos... SAGARPA, 2013. p. 94-105.
- Lima, G. F. C.; Silva, J. G. M.; Nobre, F. V.; Barreto, H. F. M. Produção estratégica de alimentos para a pecuária familiar no semiárido: alternativas para a formulação de rações na própria fazenda. Natal, RN: EMPARN, 2009. 53p.
- Lima, G. F. C.; Rêgo, M. M. T.; Aguiar, E. M. et al. Effect of different cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated nopalea forage cactus. *Acta Horticulturae (ISHS)*. v. 1067. p. 253-258, 2015.
- Lima, G.F.C., Silva, J.G.M. Aguiar, E.M. & Teles, M.M. 2010. Reservas forrageiras estratégicas para a pecuária familiar no semiárido: palma, feno e silagem. EMPARN, Natal. 53p.
- Lima, P. F. U. Sistema de cultivo adensado da palma forrageira sob adubação organo-mineral. Patos: UFCG, 2011. 46p. (Dissertação Mestrado).
- Lira, M. A.; Farias, I.; Santos, D. C. et al. Cactus forage and semiarid sustainability. *Acta Horticulturae*, v. 811, p. 327-331. 2009.
- Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Dubeux, J. C. B.; Farias, I.; Cunha, M. V.; Santos, D. C. Meio século de pesquisa com a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) - Ênfase em Manejo. In: Guim, A.; Verás, A. S. C.; Santos, M. V. F. In: *Zootec*, 4, 2006.
- Lopes, E. B.; Santos, D. C.; Vasconcelos, M. F. Cultivo da palma forrageira. In: *Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino*. João Pessoa: EMEPA-PB, 2012.

- Lopes, E.D.; Brito, C.E.; Albuquerque, I.C.; Batista, J.L. Desempenho do óleo de laranja no controle da cochonilha-do-carmim em palma gigante. *Engenharia Ambiental*, v.6, n.1, p.252-258, 2009.
- Lopes, R. A.; Buzetti, S.; Teixeira Filho, M. C. M.; Benett, C. G. S.; ARF, M. V. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em arroz de terras altas cultivado em sistema de semeadura direta. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 26, n. 4, 2013.
- Lopes, R.V.V. Estudo da produção do vinho do fruto da palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill). Campina Grande, 2005, 95p. (Dissertação) - Universidade Federal de Campina Grande.
- López-Palacios, C.; Peña-Valdivia, C.B.; Reyes-Agüero, J.A. et al. Effects of domestication on structural polysaccharides and dietary fiber in nopalitos (*Opuntia* spp.). *Genetic Resource Crop Evaluation*, v. 59, 2012.
- Maciel, F. C.; Lima, G. F. C.; Guedes, F. X.; et al. Silo de superfície – Segurança alimentar dos rebanhos na seca. In: *Armazenamento de forragens para agricultura familiar*. Natal. EMPARN, 2004. p. 24-27.
- Maia, G.N. *Caatinga - Árvores e arbustos e suas utilidades*. 1ª edição, São Paulo, 413p. il. 2004.
- Malavolta, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Ceres, 1980.
- Malavolta, E. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- Malavolta, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Eds.: Rena, A. B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T. Piracicaba: Potafos, p.136- 274. 1986.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do fosfato, 1989.
- Malvezzi, R. *Semiárido – uma visão holística*. Brasília. CONFEA, 2007. 140 p. SILVA, A. G.; Costa, F. B. Os estabelecimentos rurais de menor porte econômico do semiárido nordestino frente às novas tendências da agropecuária brasileira. In: Buainain, A. M.;

- Alves, E.; Silveira, J. M. et al. (Eds). O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola. Brasília: Embrapa. p. 950-977, 2014.
- Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. dos S. (eds). Reúso de águas. Barueri: Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informação em Saúde Ambiental, 2003.
- Marchante, H; Marchante, E. e Freitas, H. (2005). Plantas invasoras em Portugal-fichas para identificação e controlo. Ed. dos autores. Coimbra.
- Marques, M. O. et al. Uso de esgotos tratados em irrigação: Aspectos agronômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. (coord.). Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003. p. 61- 116.
- Massoud, F. I. A note on the need for accented definitions and method of characterization of salts affected soils. In: Reunion da la subcomicion de suelos salinos. Sevilla: Iryda, 1971.
- Matiello, J. B. O café: do cultivo ao consumo. São Paulo: Globo, 1991. 320 p. (Coleção agriculturas. Grãos) (Publicações Globo Rural).
- Matiello, J.B., et. al, Cultura de café no Brasil-Novo manual de recomendações., Editora Bom Pastor, Varginha-MG, 2005, 434p.
- Mcbride, M. B. Environmental chemistry of soils. Oxford, Oxford Press University, 1994. 406p.
- Medeiros, J. F. de; Ferreira M. N.; Lemos, M.; Lira R. B. Sistema localizado de baixa pressão para irrigação de palma forrageira utilizando água de esgoto tratada. 2014. DOI: <<http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a170>. > Acesso em março de 2016.
- Meloni, D. A. et al. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*,v. 24, n. 3, p. 599-612, 2001.
- Mendonça, M. e Motta, R. “Saúde e saneamento no Brasil”; Texto para a discussão. IPEA nº 1081, Brasília, 2005.
- Metcalf; Eddy. Wastewater engineering treatment disposal reuse. 4. ed. Revised by G. Tchobanoglous, F. Burton e D. Stensel. New York: McGraw Hill Book, 2003.

- Mielniczuk, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: Santos, G.A; Camargo, F.A.O. (ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo - Ecossistemas tropicais e subtropicais. Gênese, 1999. p. 1-8.
- Moraes, A. C. A. Valor nutritivo de diferentes variedades de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim. 2012. 68 p. Dissertação. (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- Morais, D. A. E. F.; Vasconcelos, A. M. Alternativas para incrementar a oferta de nutrientes no semiárido brasileiro. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. v. 2, n. 1, p. 01-24, 2010.
- Mota, F. S. (Org). Reuso de água: experiência na universidade do Ceará. Fortaleza: DEHA/UFC, 2000.
- Moura, M. S. B. de; Souza, L. S. B. de; Sá, I. I. S.; Silva, T. G. F. Aptidão do Nordeste brasileiro ao cultivo da palma forrageira sob cenários de mudanças climáticas. In: Simpósio de mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro, 3. 2011, Juazeiro. Experiências para mitigação e adaptação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 1 CD rom. (Embrapa Semiárido. Documentos, 239).
- Moura, M. S. B.; Souza, L. S. B.; Silva, T. G. F.; Silva Sá, I. I. Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado de Pernambuco. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. Documentos 242. 28p.
- Nascimento, J. P. et al. Caracterização morfométrica de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. Tecnologia & Ciência Agropecuária, João Pessoa, v. 5, n. 3, p. 21-26, 2011.
- Necchi, R.M.M. Farmacobotânica, atividade antiinflamatória e parâmetros bioquímicos de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (Cactaceae). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 60p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- Neves, A.L.A., Pereira, L.G.R., Santos, R.D., Voltolini, T.V., Araújo, Moraes, S.A., Aragão, A.S.L. & Costa, C.T.F. 2010. Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros no Semiárido brasileiro. 1ª ed. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora. 8p.

- Nobel, P. S. Recent ecophysiological advances of *Opuntia ficus-indica* and other cacti. In: Annual Conference of the Professional Association for cactus development, 1.1995. San Antonio. Abstracts... Proceedings. Dallas: Professional Association for cactus development, 1995.
- Nobel, P. S.; Russel, L. E.; Felker, P.; Fernandes, A. P. M.; Freitas, E. V.; Moreira, J. A.; Medina, J. G.; Acunã, E. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. *Agronomy Journal*, v.79, n.3, p.550-555, 1987. Disponível em <<https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/79/3/AJ0790030550>>. Acessado em 12 jan. 2016.
- Nobel, P.S. High productivity of certain agronomic CAM species. In: Winter, K.; Smith, J.A.C., eds. *Crassulacean acid metabolism: biochemistry, ecophysiology and evolution*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1996.
- Nobel, P.S., 1988. *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge Univ. Press, New York.
- Nobel, P.S., 1994. *Remarkable agaves and cacti*. Oxford Univ. Press, New York.
- Novais, R.F.; Mello, J.W.V. Relação solo-planta. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, L.E.F.; Neves, J.C.L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.133-204. 2007.
- Nunes, E. L.; Amorim, R. C. F.; Souza, W. G.; Ribeiro, A.; Senna, M. C. A.; Leal, B. G. Zoneamento agroclimático da cultura do café para a bacia do rio doce. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22, 2007.
- Oliveira JR, S. et al. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no semi-árido paraibano. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, João Pessoa, v.3, n.1, 2009.
- Oliveira, E. C. et al. Effects of water deficit in two phenological stages on production of japanese cucumber cultivated in greenhouse. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 676-68, 2011.

- Oliveira, F. T.; Souto, J. S.; Silva, R. P.; Andrade Filho, F. C.; Pereira Júnior, E.B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.5, n.4, 2010.
- Oliveira, V. S.; Ferreira, M. A.; Guim, A. et al. Substituição total do milho e parcial do feno do capim-tifton por palma forrageira em dietas para vacas em lactação. Produção, composição do leite e custos com alimentação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 4, p. 928-935, 2007.
- Pais, I.; Jones Junior, J. B. *The handbook of trace elements*. Boca Raton: St. Lucie Press, 1996. 223p.
- Parida, A. K.; Das, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, New York, v.60, p. 324-349, 2005.
- Pereira Junior, E. B. Efeito do pisoteio ovino sobre atributos do solo, em área de coqueiral. 2006. 35f. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Campina Grande, Patos – PB.
- Pescod, M.B. *Wastewater treatment and use in agriculture*. Rome, FAO, 1992. FAO Irrigation and Drainage Paper 47.
- Pessoa, A. S. *Cultura da palma forrageira*. Recife: SUDENE. Divisão de Documentação, 1967. 98p. (SUDENE. Agricultura, 5).
- Petersen, S.O.; Lind, A.M. & Sommer, S.G. Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure. *J. Agric. Sci.*, 130:69-79, 1998.
- Pimienta, B. E.; Loera, Q.; López, A. Estudio anatómico comparativo em morfoespecies Del subgênero *Opuntia*. *Actas. III congreso internacional de tuna y cochinilla*. Santiago de Chile, 1992.
- Pimienta-Barrios, E. *El nopal tunero*. 1ª Edição. Universidad de Guadalajara, México. Editora Jalisco, 1990. 246p.
- Piveli, R.O.; Melfi, A.J.; Montes, C.R.; Gomes, T.M. Uma reflexão sobre a qualidade e uso de esgoto tratado por lagoas de estabilização na agricultura: Caso de Lins/SP. *Revista DAE*, São Paulo, v. 177, p. 63-70, 2008.

- Polunin, O. and Huxley, A. (1978). *Flowers of the Mediterranean*. Published by Chatto and Windus Ltd, sixth impression 1978. Lond WC. C. 2.
- Possas, J. M. C.; Correa, M. M.; Moura, G. B. A.; Lopes, P. M. O.; Caldas, A. M.; Fontes Júnior, R. V. P. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-manso no Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, 2012.
- Raij, B. V.; Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343 p. RAIJ, B. Van. et al. (Eds.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.
- Raij, B. V.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. & Furlani, A. M. C. Eds. *Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo, (Boletim Técnico 100) 2ª ed.* Campinas, Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. 285p.
- Ramos, J.P.de F. et al. Crescimento vegetativo de *Opuntia fícus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Caatinga*, v.24, n.11, p. 41-48, jul. set. 2011. Recife. Anais...Recife: ABZ, 2006. CD rom.
- Rengasamy, P.; Olsson, K. A. Sodicity and soil structure. *Australian Journal of Agriculture Research*, v. 29, p. 935-952, 1991.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B. & Corrêa, G.F. *Pedologia: Base para distinção de ambientes*. 5.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 322p
- Reyes-Aguero, J.A.; Aguirre-Rivera, J.R.; Valiente-Banuet, A. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments*, v. 64, n. 4, 2006.
- Rheinheimer, D. S.; Anghinoni, I.; Conte, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 589-597. 2000.
- Rhoades, J.; Chanduvi, F.; Lesch, S. Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements. Rome: FAO, 1999, 150 p. (FAO. *Irrigação e drenagem*, 57).

- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, P. 359. 1999.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p. (Agriculture, 60).
- Russel, J. & Russel, E.W. *Soil conditions and plant growth*. Longmans, Green and Co. London/New York/Toronto, 1968. 635 p.
- Sales, A. T.; Leite, M. L. M. V.; Alves, A. Q.; Ramos, J. P. F.; Nascimento, J. P. *Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraibano*. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.7, p.19-24, 2013.
- Sampaio, E. V. S. B. *Fisiologia da palma*. In: Menezes, R. S. C.; Simões, A. S. (Ed.). *A palma no nordeste do Brasil: conhecimento e perspectiva*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005.
- Santos, D. C. dos; Farias, I.; Lira, M. de A.; Santos, M. V. F. dos; Arruda, G. P. de; Coelho, R. S. B.; Dias, F. M.; Melo, J. N. de. *Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco*. Recife: IP A, 2006. 48 p. (IP A. Documentos, 30).
- Santos, D. C. dos; Lira, M. de A.; Dias, F. M. *Melhoramento genético da palma forrageira...*in: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E. V. S. B. (Ed.). *A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005a. p. 27-42.
- Santos, D. C.; Farias, I.; Lira, M. A. et al. *Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco*. Recife: IPA, 2006. 48 p.
- Santos, D. C.; Farias, I.; Lira, M.A.; Santos, M. V. F.; Arruda, G. P.; Coelho, R. S. B.; Dias, F. M.; Warumby, J. F.; Melo, J. N. de. *Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco: cultivo e utilização*. Recife: IPA, 2002. 45p. (IPA. Documentos).

- Santos, D. C.; Lira, M. A.; Dias, F. M. et al. Produtividade de cultivares de palma forrageira (Opuntia e Nopalea). In: Congresso nordestino de produção animal, 2,2000, Anais... SNPA, p. 121-123. 2000.
- Santos, D. S. et al. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 8, 2012.
- Santos, D.C.; Araújo, L.F.; Lopes, E.B. et al. Uso e aplicações da palma forrageira. In: Lopes, E.B. (ed.) Palma forrageira: Cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semi-árido nordestino. João Pessoa, PB: EMEPA-PB, FAEPA, 2007. p. 56-88.
- Santos, D.C.; Farias, I.; Lira, M.A. et al. A palma forrageira (Opuntia ficus indica Mill e Nopalea cochenillifera, Salm Dyck) em Pernambuco: cultivo e utilização. Recife: IPA, 1997. 23p. (IPA. Documentos, 25).
- Santos, D.C.; Lira, M.A.; Dias, F.M. Melhoramento genético da palma forrageira. In: Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (Eds.).
- Santos, D.C.; Lira, M.A.; Silva, M.C. et al. Genótipos de palma forrageira para áreas atacadas pela cochonilha do carmim no sertão pernambucano. In: Congresso brasileiro de melhoramento de plantas, 6, 2011, Búzios. Anais...Búzios: sbmp, 2011. Cd rom.
- Santos, dos J.G.R.; Santos, dos E.C.X.R. Agricultura orgânica: Teoria e prática. Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2008. 228p.
- Santos, G.R.P. Efeito da adubação com chorume animal na fração fibrosa do capim tifton 85 em diferentes idades de corte. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia. Faculdade de Ciências Agrárias - Universidade de Marília (UNIMAR). Marília – SP. 37f. 2006.
- Santos, M. E. R. et al. Influência da localização das fezes nas características morfogênicas e estruturais e no acúmulo de forragem em pastos de capim braquiária. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, MG, v. 40, n. 1, p. 31-38, 2011b.
- Santos, M. V. F. dos; Lira, M. de A.; Farias, I.; Burity, H. A.; Nascimento, M. M. A.; Santos, D. C.; Tavares Filho, J. J. Estudo comparativo das cultivares de palma forrageira “gigante”, “Redonda” (Opuntia ficus-indica Mill) e “Miúda” (Nopalea cochenillifera

- Salm-Dick) na produção de leite. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.19, n.6, 1990.
- Santos, M. V. F.; Lira, M. A.; Farias, I. Efeito do período de armazenamento pós-colheita sobre o teor de matéria seca e composição química das palmas forrageiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.27, p.777-783, 1992.
- Santos, M.C.; Silva, M.S.L.; Almeida, B.G. et al. Caracterização micromorfológica e considerações sobre a gênese de solos de tabuleiro do semi-árido do Brasil. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, v.26, 2002.
- Santos, M.V.F. Composição química, armazenamento e avaliação da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm Dick) na produção de leite em Pernambuco. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989. 124p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989.
- Santos, M.V.F.; Ferreira, M.A.; Batista, A.M.V. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In: Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (Eds). *A Palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. 2º ed., Editora Universitária da UFPE. Recife-PE. 2005b.
- Saraiva, F. M. Desenvolvimento e acúmulo de nutrientes de palma forrageira (*Nopalea*) em diferentes sistemas de cultivo. 2014. 133p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Saraiva, O. F. Manejo da fertilidade do solo para formação de pastagens tropicais. Coronel Pacheco, MG: EMBRAPA-CNPGL, 34 p., 1990.
- Scheinvar, L. Taxonomia das *Opuntia* utilizadas. In: Inglese, P.; Barbera, G.; Pimenta Barrios, E. (Eds.). *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001.
- Segarra, E.; Darwish, M.R.; Ethridge, D.E. Returns to municipalities from integrating crop production with wastewater disposal. *Resources, Conservation and Recycling*, Amsterdam, V. 17, n. 2, p. 97-107, 1996.

- Silva et al; Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under diferente spacings and chemical fertilizers. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, v.20, n.3, p.236-242. 2016. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v20n3p236-242> >. Acessado em 13 de dez. de 2015.
- Silva, A. G.; Costa, F. B. Os estabelecimentos rurais de menor porte econômico do semiárido nordestino, frente as tendências da agropecuária brasileira. In: Buanain, A. M.; Alvez, E., Silveira, J. M. et al. (Eds). *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola*. Brasília: Embrapa. p. 950-977, 2014.
- Silva, A. R. A.; Bezerra, F. M. L.; Lacerda, C. F.; Pereira, J. V.; Freita, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. *Revista Ciência Agronômica*. v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.
- Silva, F. J. A.; Silva, S. A. Lagoas de estabilização no Ceará: prospecto e tendência. In: *Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental*, 20. Disponível em: <http://www.bvsde.ops_oms.org/bvsaidis/brasil20/i-124.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2008.
- Silva, J. A. L.; Neves, J. A. Produção de feijão caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 6, n. 1, 2011.
- Silva, J. G. M.; Lima, G. F. C.; Rêgo, M. M. T. et al. Características morfológicas e produção de matéria verde e seca da palma forrageira cv. Miúda adensada e irrigada submetida à adubação nitrogenada. In: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 49. 2012. Brasília: Anais... Brasília: SBZ, 2012. 3 p. Cd rom. <<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/20506/1/FernandaDanieleGoncalvesDantas DISSERT.pdf>>. Acessado em mar. 2016.
- Silva, J.A. Palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química. (Tese – Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes). Itapetinga-BA: UESB, 2012. 87 f.
- Silva, L. M. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131305>>. Acessado em 15 de mar. De 2016.

- Silva, N. G. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Mello, A. C. L.; Silva, M. C. Relação de características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, 2010. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001100011>>. Acessado em 10 mar. de 2015.
- Silva, T. G. F.; Araújo Primo, J. T.; Morais, J. E. F.; Diniz, W. J. S.; Souza, C. A. A.; Silva, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v.28, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Thieres_Silva/publication/282131576_Caractersticas_morf_ofisiolgicas_e_produtividade_da_palma_forrageira_em_diferentes_lminas_de_irrigao/links/5604066508ae867aa876d6a3.pdf>. Acessado em 12 de mar. de 2016.
- Silvera et al. Evolution along the crassulacean acid metabolism continuum. *Functional Plant Biology* 37, 2010.
- Silvera, K.; Santiago, L.S.; Winter, K. Distribution of crassulacean acid metabolism in orchids of Panama: evidence of selection for weak and strong modes. *Functional Plant Biology* 32, 2005.
- Simões, D. A.; Santos, D. C.; Dias, F. M. Introdução da palma forrageira no Brasil. In: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E. V. S. B. (eds). *A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. 2ªed. Recife: ed universitária da UFPE. p.13-26, 2005.
- Snel, M. Reuse of wastewater – its advantages and disadvantages specifically from an institutional and socio-cultural perspective. Delft, The Netherlands: International water and sanitation centre, 2002.
- Sousa, J. T.; Leite, V. D.; Luna, J. G. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 5, n. 1. p. 107 – 110, 2001.
- Sousa, T. P.; Sousa Neto E. P. Produção da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill e *Nopalea cocherilifera* Salm Dyck) como alternativa de alimentação para criações no Semi-Árido. In: *Simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva*, 8, 2012. Campina Grande. Anais... Campina Grande: ABCMAC. 2012. CD-Rom.

- Souto, P.C.J., Souto, S., Santos, R.V., Araújo, G.T., Souto, L.S. Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semi-árido da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.29, 2005.
- Souza, J. T. et al. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. *Revista de Biologia e Ciência da Terra*, n. 1, suplemento especial, 2006.
- Souza, L. S. B.; Moura, M. S. B.; Silva, T. G. F.; Soares, J. M.; Carmo, J. F. A.; Brandão, E. O. Indicadores climáticos para o zoneamento agrícola da palma forrageira (*Opuntia* sp.). In: *Jornada de iniciação científica da Embrapa semiárido*, 3, 2008, Petrolina. *Anais. Petrolina: Embrapa Semi-Árido*, 2008. p.23-28. Documentos 210.
- Souza, T. C. Sistemas de cultivo para a palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). 2015. 119p. Tese (Doutorado Integrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco / Universidade Federal da Paraíba / Universidade Federal do Ceará, Recife.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition and reactions*. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Suassuna, P. O projeto palma no tropico brasileiro. In: *Seminário de Tropicologia*. 2004, Recife. *Anais...* (prelo). Disponível em: <www.tropicologia.org.br/conferencia/2004/projetopalma>. Acesso em 04 de agosto de 2010.
- Suassuna, P. Tecnologia do cultivo intensivo da palma. In: *Reunión para el aprovechamiento integral de la tuna y otras cactáceas*. 2. Reunión Sudamericana. 1. 2013. Santiago del Estero. *Actas... Cactusnet FAO-ICARDA. Cactusnet Newsletter. Special Issue*. 2013. p. 51-61.
- SUDENE. Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. *Boletim técnico n° 21*, 531p. 1971.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2013) *Fisiologia Vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Disponível em: Artmed, 820 p. <http://uenf.br/posgraduacao/producaovegetal/files/2014/05/Disserta%C3%A7%C3%A3o_final-ILuciene_.pdf>. Acessado em 02 de fev. de 2016.

- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H. & Volkweiss, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
- Tedesco, M.J.; Selbach, P.A; Gianello, C.; Camargo, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, v. 2, cap. 9, 2008.
- Teles, M. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Bezerra Neto, E.; Ferreira, R. L. C.; Lucena, J. E. C.; Lira, M. de A. Efeitos da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill.) cv. Gigante. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.1, p.52-60, 2002.
- Teles, M. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Lira, M. A.; Ferreira, R. L. C.; Bezerra Neto, E. C.; Farias, I. Efeito da adubação e do uso de nematicida na composição química da palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill). Revista Brasileira de Zootecnia, v.33 n.6, p.1992-1998, 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982004000800010>. Acessado em 13 de dez. de 2015.
- Ungera, P.W.; Stewart, B.A.; Parrb, J.F.; Singhc, R.P. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. Soil & Tillage Research, v.20, 1991.
- Valente, J.P.S.; Padilha, P.M.; Silva, M. M., da. Contribution of Botucatu-SP with nutrientes (phosphorus and nitrogen) to the eutrophication of the Barra bonita dam. Acletica Química, Marília, v. 22, p. 31-48, 1997.
- Véras, R. M. L.; Ferreira, M. A.; Carvalho, F. F. R. et al. Farelo de palma (*Opuntia fícus-indica* Mill) em substituição ao milho. 1. Digestibilidade aparente de nutrientes. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 31, n. 3, 2002.
- Véras, R. M. L.; Ferreira, M. A.; Cavalacanti, C. V. A. et al. Substituição do milho por farelo de palma forrageira em dieta de ovinos em crescimento. Desempenho. Revista Brasileira de Zootecnia. v. 34, n. 1, 2005.

- Viana, O. J. Pastagens de cactáceas nas condições do nordeste. *Zootecnia*. Nova Odessa, v. 7, n. 2, 1969.
- Wanderley, W. L.; Ferreira, M. de A.; Andrade, D. K. B. de; Veras, A. S. C.; Farias, I.; Lima, L. E. de; dias, A. M. de A. Palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na alimentação de vacas leiteiras. *Revista Brasileira Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 273-281, 2002. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v31n1/8971.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2013.
- Ximenes, L. J. F. Efeitos da Ocorrência de Secas Sobre Indicadores Agropecuários do Estado do Ceará. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2013. (BNB. Informe Rural, ano VII, n.1).
- Zhu, J. K. Plant salt stress. In: *Encyclopedia of life sciences*. Chichester: John Wiley, 2007. p. 1-3.