



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DO  
SEMIÁRIDO**

**REINIVALDO SÉRGIO FERRAZ JUNIOR**

**INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO EM ÁREA CULTIVADA  
COM GLIRICÍDIA E PALMA-FORRAGEIRA EM SISTEMA  
BIOSSALINO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

**PETROLINA – PE**

**2018**



**REINIVALDO SÉRGIO FERRAZ JUNIOR**

**INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO EM ÁREA CULTIVADA  
COM GLIRICÍDIA E PALMA-FORRAGEIRA EM SISTEMA  
BIOSSALINO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Semiárido da UNIVASF, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Semiárido, com área de concentração em Produtos Bioativos do Semiárido. Linha de pesquisa: Química e Atividade Biológica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Jr.  
Co-orientadora: Dra. Diana Signor Deon

**PETROLINA – PE**

**2018**

F381i Ferraz Júnior, Reinivaldo Sérgio.  
Indicadores de qualidade de solo em área cultivada com gliricídia e palma forrageira em Sistema Biossalino no Semiárido Nordeste / Reinivaldo Sérgio Ferraz Júnior. - - Petrolina, 2018.  
xxii, 67 f.: il.: 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Semiárido) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Petrolina, Petrolina – PE, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior.

1. Indicadores de qualidade do solo. 2. Salinidade. 3. Agricultura biossalina. 4. Atributos do solo. 5. Remediação do solo – Matéria orgânica.  
I. Título. II. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.416

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DO  
SEMIÁRIDO**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Reinivaldo Sérgio Ferraz Junior**

**INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO EM ÁREA CULTIVADA  
COM GLIRICÍDIA E PALMA-FORRAGEIRA EM SISTEMA  
BIOSSALINO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Semiárido, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovada em: 18 de maio de 2018.

**Banca Examinadora**



Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior, UNIVASF/Embrapa Semiárido  
(orientador).



Profa. Dra. Lindete Míria Vieira Martins, UNEB  
(examinador externo)



Prof. Dr. Wagner Pereira Félix, UNIVASF  
(examinador interno)



*Aos meus amados pais, Reinivaldo (in memoriam)  
e Angélica pelo amor e dedicação*

*Às respectivas avó e tia avó Zenaide e Lucila (in memoriam) pelo constante incentivo  
educacional e amor incondicional*

*À minha esposa Thaís e filha Ana Clara por me mostrarem o que é o amor*

*Aos meus irmãos Luciana, Viviane e Marcel, pela amizade e incentivo*



## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, **Dr. Paulo Ivan**, pela dedicação, simplicidade, ensinamentos e oportunidade de cursar o mestrado com ele.

À minha co-orientadora e amiga, **Dra. Diana Signor Deon**, muito competente, determinada e ao mesmo tempo doce com todos.

À **Universidade Federal do Vale do São Francisco** (UNIVASF), por proporcionar as condições para minha formação.

À **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária** (Embrapa) e ao Dr. Magnus Deon por concederem as condições para meus estudos.

À minha esposa, amiga, orientadora, mentora, **Thaís**, por sempre estar ao meu lado e por ter me dado a oportunidade de ser pai.

À equipe do Laboratório de solos da Embrapa Semiárido, que ajudou a tornar possível as análises de solo

Aos amigos da Embrapa que me incentivaram e ajudaram tornar este sonho possível, especialmente à amiga Dra. Salete Moraes e ao amigo Braulio Tostes.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento a esta pesquisa.



## RESUMO

O solo é um recurso natural dinâmico e vivo que suporta o balanço global do ecossistema e a produção de alimentos. Sua qualidade pode ser avaliada pela sua capacidade de funcionar para sustentar e promover a produtividade biológica, assim como manter a qualidade ambiental, que pode ser estudada pelos indicadores químicos, físicos e biológicos. A busca pela produção de alimentos no solo do semiárido nordestino torna-se cada vez mais complexa com um regime de chuvas por volta de 550 mm anuais e que apresenta intermitência, chegando a anos que registram índices semelhantes ao de regiões áridas. Assim, a água fornecida pelas vias pluvial e fluvial fica mais escassa. Faz-se necessário buscar alternativas para sustentar a produtividade agrícola, em uma região economicamente dependente da agricultura. Uma delas é utilizar águas com concentrações elevadas de sais para a produção de plantas forrageiras, como a palma e a gliricídia. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de diferentes lâminas de água salina (0 mm; 451 mm; 720 mm e 871 mm) na irrigação de áreas cultivadas com *Gliricídia sepium* e *Opuntia stricta* no Semiárido, sobre atributos do solo, utilizando como estratégia aplicar diferentes doses de matéria orgânica (0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>) a ele. Duas coletas de solo foram realizadas representando os períodos seco e chuvoso na camada 0-10 cm para analisar a fertilidade do solo (pH, CE, C, N, P, K, Na, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, V%) e a microbiologia do solo (CBM, C\_CO<sub>2</sub>, qCO<sub>2</sub> e qMIC). A água utilizada na irrigação apresentou Condutividade Elétrica (CE) de 3,82 dS m<sup>-1</sup> na média dos 18 meses de experimento, sendo classificada como C<sub>4</sub>S<sub>1</sub>. Quanto aos atributos químicos, houve diferenças em relação às duas áreas experimentais (AE): 1) O solo da gliricídia apresentou depreciação dos fatores microbiológicos do solo, mesmo com a aplicação das doses de matéria orgânica (MO), entretanto faz-se necessário um estudo a longo prazo para determinar se o baixo regime pluvial da região na época do experimento pode ter prejudicado os resultados do período chuvoso; 2) As doses de MO de 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>, combinadas com as lâminas 719,7 e 871,9 mm, foram capazes de mitigar os efeitos tóxicos da aplicação de água salina ao solo, indicando que a água biossalina pode ser uma alternativa se houver manejo correto do solo na plantação de palma forrageira.

**Palavras-Chave:** salinidade, atributos do solo, doses de esterco.



## ABSTRACT

Soil is a dynamic and living natural resource that supports the global ecosystem balance and food production. Its quality can be assessed by its function ability to sustain and promote biological productivity, as well as maintain the environmental quality, which can be indicated by chemical, physical and biological indicators. The search for food production in the northeastern semi-arid region is becoming increasingly more complex with a 550 mm per year average rainfall that has been showing intermittence, reaching rainfall levels close to arid regions in some years. Thus, the water provided by the rainwater and river routes becomes scarcer. Therefore, it is necessary to look for alternatives to sustain agricultural productivity, in a region economically dependent on agriculture. One option is to use well water with higher salt concentrations for fodder plants production, such as palm and gliricidia. The present study aimed, through the analysis of soil attributes irrigated with artesian well water, to provide alternatives to agriculture with salinity tolerant plants use. Analyzes were performed to find out the attributes of irrigated soil with artesian well water (0 mm, 451 mm, 720 mm and 871 mm) for 18 months. Regarding the chemical attributes, there were differences in relation to the two EA: 1) The soil of the gliricidia presented negative effects to the treatments, even with the application of the doses of OM, however, a long-term study is necessary to determine if the low rainfall in the region at the time of the experiment may have adversely affected the rainy season; 2) The OM doses of 30 and 45 t ha<sup>-1</sup> were able to mitigate the toxic effects of the application of saline water to the soil, especially in the 720 mm and 871 mm slides, indicating that biosaline water can be used with correct handling of the soil in the forage palm plantation.

**Keywords:** salinity, soil attributes, doses of manure



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - <i>Opuntia stricta</i> (Palma forrageira) utilizada neste estudo .....	29
FIGURA 2 - <i>Gliricidia sepium</i> empregada neste estudo .....	31
FIGURA 3 - Imagem de Satélite da área experimental cultivada com <i>Gliricídia</i> e Palma Forrageira .....	35
FIGURA 4 - Precipitação e evapotranspiração diárias registradas no período de março de 2016 a agosto de 2017 .....	36
FIGURA 5 - Desenho experimental dos estudos realizados com <i>Gliricídia sepium</i> e <i>Opuntia stricta</i> .....	40
FIGURA 6 - Gráfico utilizado na classificação da água quanto à salinidade e concentração de sódio. Fonte: Manual de Análises de Solo, Água e Fertilizantes (Embrapa, 2007) .....	42
FIGURA 7 - Trado holandês utilizado na coleta de amostras de solo da AE cultivada com <i>Gliricidia sepium</i> .....	43
FIGURA 8 - Cachimbo de 10 cm <sup>3</sup> contendo amostra de solo, utilizado na análise de pH. ....	46
FIGURA 9 - (A) Sistema de filtração por arraste utilizado na extração dos sais solúveis das amostras de solo estudadas; (B) Condutivímetro utilizado na determinação da condutividade elétrica das amostras de solo estudadas .....	47
FIGURA 12 - Concentração média de carbono (g kg <sup>-1</sup> ) nas amostras de solo da AE de <i>Opuntia stricta</i> , após aplicação das diferentes doses de esterco caprino curtido	56
FIGURA 13 - Concentrações de Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) nas amostras de solo da AE da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para o tratamento com diferentes doses de MO (t ha <sup>-1</sup> ), em função da lâmina de água: (A) Julho de 2016; (B) Abril de 2017 .....	60
FIGURA 14 - Concentrações de Mg (A, B), Al (C, D) e H+Al (E, F) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) nas amostras de solo da AE da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para o tratamento com diferentes doses de MO (t ha <sup>-1</sup> ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017 .....	62
FIGURA 15 - Concentrações de SB (A, B), CTC (C, D) e V% (E, F) nas amostras de solo da AE da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para o tratamento com diferentes doses de MO (t ha <sup>-1</sup> ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017 .....	63
FIGURA 16 - Valores de (A, B) qCO <sub>2</sub> ; (C, D) qMIC; (E, F) Respirimetria; (G, H) CBM, nas amostras de solo da AE da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para o tratamento com diferentes doses de MO (t ha <sup>-1</sup> ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017 .....	65
FIGURA 17- Atributos pH (A, B), CE (C, D), Na (E, F) e K (G, H) nas amostras de solo da AE da cultura de <i>Gliricidia sepium</i> , para o tratamento com diferentes doses de MO (t ha <sup>-1</sup> ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017 .....	71
FIGURA 18 - Atributos C (A, B), N (C, D), P (E, F) nas amostras de solo da AE da cultura de <i>Gliricidia sepium</i> , para o tratamento com diferentes doses de MO (t ha <sup>-1</sup> ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017. ....	73
FIGURA 19 - Atributos Mg (A, B) e Ca (C, D) nas amostras de solo da AE da cultura de <i>Gliricidia sepium</i> , para o tratamento com diferentes doses de MO (t ha <sup>-1</sup> ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017 .....	74

FIGURA 20 - Atributos AI (A, B) H+AI (C, D) e SB nas amostras de solo da AE da cultura de <i>Gliricidia sepium</i> , para o tratamento com diferentes doses de MO ( $t\ ha^{-1}$ ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017 .....	75
FIGURA 21 - Evolução dos atributos microbiológicos na AE de <i>Gliricidia sepium</i> em relação à respirometria (A, B); CBM (C, D); $qCO_2$ (E, F) e $qMic$ (G, H). Houve queda dos valores de todos os atributos, mesmo com doses aplicadas de MO .....	77
FIGURA 22 – Análise dos componentes principais para o solo da AE cultivada com <i>Gliricidia sepium</i> , comparando as doses de MO, as lâminas de água e o período de coleta .....	79
FIGURA 23 - Análise dos componentes principais para o solo da AE cultivada com <i>Opuntia stricta</i> , comparando as doses de MO, as lâminas de água e o período de coleta .....	80

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Classificação dos solos afetados por sais (adaptado de Yan et al., 2015).....	24
QUADRO 2 - Principais indicadores e suas relações com a qualidade do solo (adaptado de ARAÚJO; MONTEIRO, (2007)). .....	25
QUADRO 3 - Atributos químicos e microbianos dos períodos chuvoso e seco, nos ambientes: conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado....	26



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Análises Químicas realizadas nas amostras de solo coletadas na AE e CEC da Área Experimental e do CEC, antes da implantação do experimento. ....	37
TABELA 2 - Resultados das análises físicas realizadas nas amostras de solo coletadas na AE e CEC, antes da implantação do experimento. ....	38
TABELA 3 - Atributos químicos da água utilizada na irrigação de <i>Gliricidia sepium</i> e <i>Opuntia stricta</i> na AE. ....	42
TABELA 4 - Resumo das coletas e análises realizadas nas amostras de solo do experimento bioassalino com Palma Forrageira e Gliricídia. ....	44
TABELA 5 - Valores médios de condutividades elétricas ( $\text{dS m}^{-1}$ ) nas amostras de solo da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , nas coletas dos períodos seco e chuvoso para cada lâmina de irrigação. ....	52
TABELA 6 - Valores médios de condutividades elétricas ( $\text{dS m}^{-1}$ ) nas amostras de solo da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para cada lâmina de irrigação. ....	53
TABELA 7 - Valores médios de condutividades elétricas ( $\text{dS m}^{-1}$ ) nas amostras de solo da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para cada dose de esterco estudada. ....	53
TABELA 8 - Condutividades Elétricas médias para cada tratamento (dose de esterco versus lâmina de água salina) para a cultura <i>Opuntia stricta</i> ....	54
TABELA 9 - Valores médios de pH determinados nas amostras de solo da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para cada tratamento empregado. ....	55
TABELA 10 - Valores médios de fósforo disponível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) determinados nas amostras de solo da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para cada tratamento empregado. ....	57
TABELA 11 - Concentrações média de K ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) nas amostras de solo da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para cada tratamento empregado. ....	58
TABELA 12 - Concentrações média de Na ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) nas amostras de solo da cultura de <i>Opuntia stricta</i> , para cada tratamento empregado. ....	59
TABELA 13 - Valores médios dos principais parâmetros químicos determinados nas amostras de solo da AE, nos períodos de seca e chuva, para a cultura <i>Opuntia stricta</i> . ....	61
TABELA 14 - Valores médios dos atributos biológicos das amostras de solo da AE de <i>Opuntia stricta</i> após as coletas dos períodos seco e chuvoso. ....	66
TABELA 15 - Atributos químicos e físico-químicos do solo da AE de <i>Gliricidia sepium</i> em função das lâminas de irrigação utilizadas no experimento. ....	70
TABELA 16 - Atributos químicos e físico-químicos do solo da AE de <i>Gliricidia sepium</i> em função das doses de MO utilizadas no experimento ....	70
TABELA 17 - Valores médios dos atributos biológicos das amostras de solo da AE de <i>Gliricidia sepium</i> após as coletas dos períodos seco e chuvoso. ....	76



## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍGLAS

AE	Área Experimental
CBM	Carbono da biomassa microbiana
CE	Condutividade elétrica
CEC	Campo Experimental da Caatinga
CFE	Clorofórmio-fumigação-extração
Cmic	Carbono microbiano
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Centimol de carga por decímetro cúbico
Corg	Carbono orgânico
dag kg <sup>-1</sup>	Decagramas por quilograma
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETo	Evapotranspiração
FBN	Fixação biológica do N <sub>2</sub>
Fertbio	Reunião de Fertilidade e Biologia do Solo
IQS	Indicadores de qualidade do solo
mg kg <sup>-1</sup>	Miligramas por quilograma
mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup>	Miligramas de CO <sub>2</sub> por miligramas de Carbono
MO	Matéria orgânica do solo
qCO <sub>2</sub>	Quociente metabólico
qMic	Razão entre carbono microbiano e carbono orgânico
QS	Qualidade do solo
TFSA	Terra fina seca ao ar



# SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 - REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1 - O SOLO E A SALINIDADE .....	17
2.2 - INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO .....	21
2.2.1 - Microbiológicos .....	21
2.2.2 - Químicos e Físicos .....	23
2.3 - AGRICULTURA BLOSSALINA .....	26
2.4 - ESPÉCIES CULTIVADAS.....	28
<b>3 - OBJETIVOS.....</b>	<b>33</b>
3.1 - OBJETIVO GERAL .....	33
3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
<b>4 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>35</b>
<b>5 - MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
5.1 - PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	39
5.2 - AMOSTRAGEM .....	42
5.3 - ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO .....	44
5.3.1 - Densidade real e aparente .....	44
5.3.2 - Granulometria .....	45
5.3.3 - Porosidade total .....	45
5.4 - ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO .....	45
5.4.1 - Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	46
5.4.2 - Condutividade elétrica .....	46
5.4.3 - Determinação de Na e K trocáveis e de P disponível.....	47
5.4.4 - Determinação de Ca, Mg e Al trocáveis .....	47
5.4.5 - Determinação de C e N totais.....	48
5.5 - AVALIAÇÕES BIOLÓGICAS DO SOLO .....	48
5.5.1 - Carbono da biomassa microbiana.....	49
5.5.2 - Respiração basal .....	49
<b>6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
6.1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICO-QUÍMICOS EM SOLO: <i>Opuntia stricta</i> .....	51



6.2 - ATRIBUTOS BIOLÓGICOS <i>Opuntia stricta</i> .....	64
6.3 - ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICO-QUÍMICOS <i>Gliricidia sepium</i> .....	66
6.4 - ATRIBUTOS BIOLÓGICOS <i>Gliricidia sepium</i> .....	76
6.5 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS .....	78
<b>7 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>



## 1 - INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semiáridas do planeta caracterizam-se por média de precipitação abaixo do necessário para o desenvolvimento de algumas culturas. Assim, em algumas regiões, adota-se a prática da irrigação para o desenvolvimento da agricultura.

Das regiões semiáridas do globo terrestre, a brasileira é a mais povoada do mundo. Devido a inúmeros fatores, como adversidades climáticas, associadas a questões geográficas e políticas, que existem há centenas de anos, abriga a parcela mais pobre da população brasileira, com ocorrência de graves problemas sociais (MOURA et al., 2007).

Na região do submédio do Vale do São Francisco, desde a implantação dos sete perímetros irrigados – “Bebedouro”, “Senador Nilo Coelho” e “Maria Tereza” em Petrolina; “Curaçá”, “Maniçoba”, “Tourão” e “Mandacaru” em Juazeiro (ORTEGA; SOBEL, 2010) - no início da década de 1980, ocorreu um enorme desenvolvimento socioeconômico baseado na fruticultura irrigada, que evoluiu da agricultura de subsistência com produção basicamente de milho, feijão e mandioca pela captação direta da água do rio São Francisco nas áreas ribeirinhas à foz. Contudo, nos últimos anos têm ocorrido poucas chuvas em uma região onde a média pluviométrica é por volta de 600 mm (SOUZA et al., 2001) e o baixo nível do rio São Francisco faz com que políticas públicas racionem o uso da água para irrigação.

Assim, com a crescente escassez de água própria para os processos de irrigação, estão surgindo alternativas para suprir a necessidade de alimentos. Alguns estudos também verificam a viabilidade em se utilizar água com maior nível de salinidade (WU et al., 2017; MOURA et al., 2016; ASKRI et al., 2014; VIANA et al., 2012). Entre as possibilidades, a irrigação direta com água de poços artesianos em regiões áridas ou semiáridas apresenta-se bastante difundida entre os pequenos agricultores que precisam das culturas para alimentação animal, pois rebanhos podem ser beneficiados pelo plantio de forrageiras e é de conhecimento popular e científico que as forrageiras são bastante resistentes à salinidade da água e do solo. Araújo e Monteiro (2007) relatam forrageiras cultivadas com águas salinas, em um modelo de cultivo conhecido como agricultura biossalina, no qual águas salobras com altas concentrações salinas são utilizadas para produzir alimentos aos animais.

Contudo, mesmo que a espécie seja considerada tolerante aos sais, quase sempre há algum comprometimento sobre o rendimento das culturas. Todavia, comparando a produtividade das forrageiras com o sistema de sequeiro em regiões áridas ou semiáridas, a produtividade utilizando esse recurso pode ser maior, principalmente em anos em que os índices pluviométricos são baixos (RODRIGUES, 2017).

Águas artesianas nem sempre apresentam qualidade apropriada para algumas culturas se desenvolverem (VIANA et al., 2012) ou manterem a fertilidade do solo (MOURA et al., 2016 e WU et al., 2017). Além disso, o solo sofre consequências da salinização promovida por águas com altas concentrações salinas – especialmente de águas com condutividades elétricas e/ou concentrações de íons elevadas – tornando-os inaptos a fornecer a nutrição para o desenvolvimento vegetal e inutilizando-os para fins agrícolas.

A agricultura bioassalina, que se propõe ao uso de culturas tolerantes a sais e de águas salobras ou salinas, possui potencial de uso no semiárido pelos mais de 200 mil poços existentes na região, o que pode impactar positivamente a utilização dessas águas na produção de forrageiras resistentes a sais por irrigação. Todavia, para ser possível permitir que o solo continue fértil, faz-se necessário o acompanhamento de seus atributos para evitar um processo precoce de salinização e desertificação.

Assim, muitos agricultores já vêm realizando o aproveitamento de águas de poços em regiões áridas e semiáridas. Como não haveria uso para fins de irrigação para essa água, sua utilização passou a ser conhecida como Agricultura Bioassalina. Entretanto, sem um manejo adequado, essa água de salinidade elevada poderia prejudicar definitivamente o solo e impedir o crescimento das plantas a médio e longo prazos (LIEBIG; DORAN, 1999).

Deve-se atenção ao fato de que manejar adequadamente o solo envolve acompanhar a evolução dos atributos físicos, químicos e biológicos e que ainda há poucos estudos sobre a microbiologia dos solos brasileiros, especialmente os da caatinga e do semiárido (SÁ et al., 2015).

Para este estudo, foram selecionadas duas culturas bastante utilizadas como forrageiras na nutrição animal e que apresentam tolerância a aplicações de água com níveis de salinidade: a cactácea forrageira *Opuntia stricta* e a fabacea *Gliricidia*

*sepium* (Jacq.) Steud, denominadas popularmente como palma forrageira e gliricídia, respectivamente.

Faz-se importante estudar os efeitos da agricultura biossalina nos atributos do solo e possíveis medidas de mitigação identificadas pelas análises químicas, físico-químicas e microbiológicas, que podem indicar a evolução da qualidade do solo (QS).



## 2 - REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 - O SOLO E A SALINIDADE

Recurso vital e natural para o funcionamento do ecossistema terrestre, o solo representa um equilíbrio entre os fatores físicos, químicos e biológicos. Sua composição é bastante complexa e contém areia, silte, argila, minerais, matéria orgânica estável da decomposição da biota do solo; a biota, composta de bactérias, fungos, algas, insetos e nematoides e gases carbônico, oxigênio, nitrogênio e óxidos de nitrogênio e água (DORAN et al., 1996). No meio ambiente e agricultura, o solo serve como atenuante da degradação por substâncias químicas que prejudicam o ambiente, pois apresenta resistência a mudanças de pH, conhecido como efeito tamponante. Possui função de prover meio para crescimento vegetal, moradia para animais e microrganismos; regular o fluxo de água no ambiente; (LARSON; PIERCE, 1994).

Alguns estudos (BLUM; SANTELISES, 1994), apontam as funções ecológicas do solo:

- 1) produzir biomassa como alimentos, fibra e energia;
- 2) filtração, tamponamento e transformação da matéria para proteção do ambiente, da poluição das águas subterrâneas e dos alimentos;
- 3) habitat biológico e banco genético de animais, organismos e vegetais.

Outros estudos o relacionam às atividades humanas:

- i) meio físico para habitação e atividades socioeconômicas em geral;
- ii) depósito e fonte de argila, areia e minerais;
- iii) herança cultural e histórica da humanidade, estudada pela paleontologia e arqueologia (WU et al., 2013).

A qualidade do solo sustenta a produtividade, bem como a promoção da saúde vegetal e animal. Assim, o solo bem equilibrado proporciona desenvolvimento vigoroso, oferecendo condições de expressar seu potencial genético produtivo (WU et al., 2017).

Há algum tempo existe uma preocupação pela demanda de alimentos ocasionada pelo crescimento populacional. Nesse sentido, o manejo intensivo do solo, o uso de pesticidas e fertilizantes e a monocultura, passaram a ser práticas comuns para aumentar a produtividade agrícola (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Por outro lado, o interesse em reduzir a erosão e manter a qualidade do solo é estimulado pela consciência renovada de que o solo é vital para a produção de alimentos e fibras e para a função do ecossistema global, dentro de limites de ecossistemas naturais ou gerenciados, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a água e qualidade do ar, e promover a saúde vegetal e animal (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A qualidade do solo pode sofrer mudanças ao longo do tempo devido a eventos naturais ou por efeitos antrópicos. Eles são aprimorados pelas decisões de gerenciamento e uso do solo que pesam as múltiplas funções do solo e são prejudicadas por decisões que se concentram apenas em funções únicas, como a produtividade das culturas (DORAN; ZEISS, 2000).

Por se tratar de uma preocupação relativamente recente, principalmente se comparado a outros recursos naturais como a água e o ar, que já possuem indicadores e padrões universalmente aceitos, não há consenso quanto aos critérios estabelecidos para determinar a qualidade do solo (LAISHRAM et al, 2012). A presença de sais é um dos mais poderosos fatores ambientais para a estrutura microbiana em ambiente aquático, entretanto o mesmo ainda não pode ser afirmado para o solo devido à escassez de estudos para se chegar a um consenso (RATH; ROUSK, 2015). Assim, os critérios para os indicadores de qualidade e saúde do solo relacionam-se principalmente com a sua utilidade na definição dos processos ecossistêmicos e integrando propriedades físicas, químicas e biológicas; sua sensibilidade à gestão e variações climáticas; e a sua acessibilidade e utilidade para especialistas, produtores, conservacionistas e o poder público. Contudo, a escolha de indicadores úteis da qualidade e da saúde do solo dependerá da identificação de estratégias para o gerenciamento sustentável de nossos recursos naturais. Embora os solos tenham uma qualidade inerente em relação às suas propriedades físicas, químicas e biológicas dentro dos limites estabelecidos pelo clima e pelo ecossistema, o determinante final da qualidade e saúde do solo é o responsável por manejá-lo, ou seja, o produtor (DORAN; ZEISS, 2000).

Dados alarmantes foram apresentados para a comunidade científica sobre a degradação física e química e a grande contaminação por defensivos agrícolas (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Nesse contexto, está uma previsão catastrófica que instigou cientistas e produtores a pensar e a executar alternativas para otimizar o uso desse recurso vital para sustentar a produtividade por um longo período ao invés de seguir no caminho descrito até aquele momento: maximizar a produção e a lucratividade sem se preocupar com as consequências ao meio ambiente (DORAN et al., 1999).

Como o manejo do solo é de fundamental importância para o equilíbrio ou desequilíbrio de seus atributos, atenção deve ser fornecida a estudos que privilegiem práticas não convencionais que já estão em prática nos sistemas produtivos. Principalmente aquelas em que são utilizados recursos que teriam poucas finalidades e que possuem potencial devido à sua disponibilidade, como ocorre com as águas salobras, disponíveis em poços artesianos, mesmo em regiões com escassez pluviométrica.

Em locais onde o aporte hídrico pluvial é inferior à evapotranspiração (ET<sub>o</sub>), como no caso do semiárido brasileiro, uma das alternativas para viabilizar os cultivos agrícolas é realizar a irrigação para suprir as necessidades hídricas durante o período vegetativo das plantas. No entanto, a aplicação de água salina na agricultura pode levar ao acúmulo excessivo de sais no solo, com impactos negativos sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo, como dispersão dos agregados, alteração na porosidade e taxa de infiltração de água no solo, alteração na disponibilidade de nutrientes, toxidez de alguns elementos e consequente efeito sobre a fisiologia das plantas e dos microrganismos do solo. Como relatado por Silva et al. (2009), algumas técnicas de manejo têm alterado negativamente o equilíbrio entre os fatores físicos, químicos e biológicos do solo, o que pode tornar o solo impróprio para o cultivo. Assim, estudos que apontem soluções viáveis para evitar tal processo devem ocorrer para auxiliar o agricultor a garantir a produção agrícola e ao mesmo tempo manter a saúde de um dos recursos naturais mais preciosos: o solo.

Para a manutenção da saúde desse recurso natural, muitos autores levantam preocupações sobre o manejo do solo salino: 1) Salinidade é um dos fatores limitantes ambientais de produtividade de culturas pela maioria das plantas serem sensíveis aos seus efeitos, devido à elevação da pressão osmótica, a qual pode

impedir desidrar a planta e impedir a entrada de nutrientes pelas raízes. Algumas estratégias para mitigar os efeitos da salinidade foram propostas, entretanto são caras e/ou difíceis de serem implantadas. Assim, faz-se necessário desenvolver um método de manejo simples, barato e de fácil manejo biológico em curto prazo (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015); 2) A utilização de solo e água com altas concentrações de sais é o maior fator limitante no desenvolvimento de culturas nas regiões semiáridas do planeta (DODD; PÉREZ-ALFOCEA, 2012).

Dados da FAO no ano 2000 estimaram uma área de 831 milhões de hectares de terras afetadas por sais, sendo 397 milhões salinas e 434 milhões sódicas. Daliakopoulos et al. (2016) apresentam um panorama da salinização do solo na Europa, conceituam diferenças entre tipos de salinização e abordam questões de mudanças climáticas. Kameli et al. (2017), em 2013, indicam que 20% dos solos do globo estão de alguma forma afetados pela salinidade.

Lutando contra essa realidade, estudos são realizados e apontam que para evitar a deterioração ou desertificação do solo em condições com alta salinidade, existem alternativas como a aplicação de gesso (CHOUDHARY et al., 2011), a aplicação de doses de matéria orgânica e até o uso de plantas halófitas, as quais seriam capazes de utilizar os sais como promotores de crescimento (HASANUZZAMAN et. al, 2014). Contudo, a aplicação de esterco ou matéria orgânica é apontada como uma excelente alternativa, pois ajuda a manter o bom funcionamento microbiológico, além de aumentar as taxas de lixiviação dos nutrientes em excesso (KAMELI et al., 2017; FREIRE et al., 2014; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Como consequência, a aplicação de esterco no solo pode aumentar a capacidade de infiltração de água, densidade do solo e estabilidade de agregados, além de influenciar o crescimento de populações microbianas (BHUIYAN et al., 2017). A matéria orgânica do solo representa o principal reservatório de carbono e energia para os microrganismos e de nutrientes para as plantas. O declínio ou acréscimo da matéria orgânica do solo serve para mensurar a preservação dos ecossistemas naturais e os desequilíbrios dos ecossistemas agrônômicos; ou seja, é utilizado como critério na avaliação da sua sustentabilidade (YUAN, 2007).

Para Rath e Rousk (2015) existe a necessidade de pesquisas mais sistemáticas, incluindo amplitudes abrangentes de salinidade do solo, substanciarem a conexão entre a salinidade do solo e a tolerância microbiana ao sal. De acordo com os

autores, isso poderia confirmar que a salinidade tem efeito direto na composição das comunidades microbianas. Também, a relação entre o carbono da biomassa microbiana e do carbono mantido na matéria orgânica do solo não apresenta um padrão consistente com níveis de salinidade do solo a curto ou longo prazo. Assim, altas concentrações salinas no solo inibem substancialmente a respiração por carbono orgânico do solo a curto e a longo prazos.

## 2.2 - INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Em Grattan et al. (2004), há três linhas de pesquisa para estudos sobre a qualidade do solo:

- 1) Busca de atributos do solo como Indicadores de qualidade do solo (IQS);
- 2) Matéria orgânica do solo como IQS;
- 3) Sistema solo-planta gerando resultados indicaria a QS.

Os autores concluem que o grande avanço é abordar o solo de forma sistêmica, pois é fundamental identificar como obter QS ao invés de identificar atributos para medi-la. Portanto, a qualidade do solo está integrada às plantas e à biota edáfica e o seu funcionamento deve se basear nos princípios da termodinâmica do não-equilíbrio, ciência que rege os sistemas abertos.

Pode-se concluir que os sistemas agrícolas que devem favorecer a QS são os que cultivam plantas intensamente, sem o revolvimento do solo e cultivando espécies diferentes (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Algumas propostas para avaliação da QS já foram realizadas e a maior parte dos estudos propõem variáveis como IQS, contudo como prestador de auxílio à avaliação de terras degradadas, estimando necessidades de pesquisa, de financiamentos e para que o manejo do solo seja melhor realizado (NIEMEYER et al., 2012).

### 2.2.1 - Microbiológicos

Os indicadores de qualidade do solo medem a condição de sustentabilidade do ecossistema (NIEMEYER et al., 2012). Há indicadores biológicos, como a biomassa

microbiana, a mineralização de nutrientes, a respiração do solo, a fixação biológica do  $N_2$  (FBN) e a atividade enzimática dos microrganismos no solo. Por estarem mais relacionados à produtividade das plantas, até recentemente não eram considerados na avaliação dos impactos ambientais. Porém, esse quadro tem mudado, especialmente desde o início do século XXI (SILVA et. al., 2009).

Perez et al., (2004) apontam alguns atributos biológicos como mais sensíveis do que os físicos e químicos, característica que fornece a eles a capacidade de prever modificações dos outros fatores. Isso se deve ao fato de os microrganismos terem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças de uso e manejo do solo, refletindo, portanto, rapidamente as alterações na qualidade do solo.

Uma vez que a entrada de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, a biomassa e atividade microbiana, são tipicamente concentradas nos primeiros centímetros do solo, a salinização próxima à superfície do solo pode afetar significativamente uma série de processos mediados por micro-organismos (YUAN et al., 2007).

Dos fatores microbiológicos, os primeiros a serem mensurados em laboratório, pela relativa simplicidade em suas execuções, são o carbono da biomassa microbiana (CBM), a respiração basal do solo e o quociente microbiano, calculado pela relação entre o CBM e o Carbono Orgânico Total (COT) (YAN et al., 2015; MARTINS et al., 2010; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; YUAN et al., 2007; TABATABAI, 1994).

A biomassa microbiana pode ser definida como a fração viva da matéria orgânica do solo, representando aproximadamente de 1% a 5% do C orgânico do solo (WU et al., 2017). Sua composição contém algas, bactérias, fungos e protozoários. Interage na dinâmica dos nutrientes e conseqüentemente participa dos processos de decomposição e atua na regeneração de agregados (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). É influenciada pelas variações sazonais de umidade e temperatura, pelo manejo do solo, pelo cultivo e, também, pelos resíduos vegetais. Apesar disso, é mais sensível que os teores de C orgânico e N total para aferir alterações na matéria orgânica causadas pelas práticas de cultivo (WU et al., 2017). Pode ser utilizada como um indicador biológico ou como índice de adequação de sustentabilidade de sistemas de produção e, geralmente, apresenta forte correlação com a matéria orgânica do solo, ou seja, reflete mudanças na concentração de

matéria orgânica. A razão entre carbono microbiano e carbono orgânico ( $qCO_2$ ) indica a qualidade da matéria orgânica (ANDERSON; DOMSCH, 1993; WARDLE, 1994 apud MENDES et al., 2009), a qual pode ser usada para monitorar a dinâmica da matéria orgânica do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

No Brasil, até o início do século XXI, havia trabalhos que propunham o estudo da microbiologia do solo com diferentes métodos e em distintas camadas de coleta, como 0 a 10 cm, 0 a 20 cm, 0 a 30 cm, 10 a 20 cm e até 20 a 30 cm abaixo da superfície. Todavia, na Reunião de Fertilidade e Biologia do Solo (Fertibio), em 2006, os pesquisadores se reuniram com o intuito de padronizar algumas condições mínimas interlaboratoriais, que permitisse construir uma base nacional de dados (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Assim, o método Clorofórmio-fumigação-extração (CFE) foi escolhido para determinação da biomassa microbiana do solo, com a amostragem sendo realizada na camada de 0 a 10 cm.

Outras determinações realizadas atualmente envolvem identificações de enzimas e suas atividades. Faz-se importante identificar a presença delas, pois participam como catalisadoras das reações que ocorrem no solo, principalmente aquelas dos microrganismos que decompõem a matéria orgânica, liberam nutrientes na forma disponível para as plantas e aceleram o processo de degradação de substâncias tóxicas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

### **2.2.2 - Químicos e Físicos**

Os atributos químicos do solo são os mais conhecidos, sendo a combinação entre alguns deles conhecida como a fertilidade do solo. Assim, são determinados o potencial Hidrogeniônico (pH), a Condutividade Elétrica (CE), os conteúdos dos macronutrientes N, P e K; o teor de matéria orgânica do solo (MOS); além dos teores de cálcio, magnésio, acidez potencial (H+Al) e acidez trocável (alumínio). Também há os indicadores físicos, determinados pela estrutura do solo, infiltração e densidade do solo e capacidade de retenção de umidade (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

O potencial hidrogeniônico do solo ou pH mede o índice de acidez de uma solução em equilíbrio com o solo. Geralmente é determinado por um eletrodo, utilizando água destilada ou deionizada, solução de cloreto de cálcio 0,01M ou

solução de KCl 1M. Assim como em soluções aquosas, o pH igual a 7,0 (25°C) indica um solo com pH neutro; se o pH >7,0 o solo pode ser classificado como alcalino; e se o pH <7,0 o solo será designado como ácido (LEPSCH, 2011). O pH do solo é crítico determinante da distribuição de espécies químicas, pois determina as disponibilidades de nutrientes para a planta. Macronutrientes como P, K, Ca, Mg, S e Nitrogênio são menos biodisponíveis em pH maior do que 6. Em solos alcalinos, com pH acima de 8,0; manganês, ferro e fosfato são relativamente mais insolúveis, ficando menos disponíveis para as plantas. A maioria das plantas se desenvolve em faixa de pH entre 5,5 e 7,5. Em valores maiores do que 9,0 ou menores do que 3,0 o protoplasma da planta cristaliza, impossibilitando seu desenvolvimento (BHUIYAN et al., 2017).

A CE é uma medida que não revela as concentrações exatas de cada íon presente na solução. Todavia é capaz de ajudar na identificação da salinidade presente no meio, pois fornece um valor para definir se o total de íons dissolvidos é alto ou baixo. Portanto, CE alta indica muitos íons disponíveis no meio, enquanto valores baixos indicam que há poucos íons solúveis naquela solução. Convencionou-se que CE abaixo de 4 dS m<sup>-1</sup> é uma característica de solos normais, enquanto valores acima do descrito relacionam-se a solos salinos (WU et al., 2017).

Yan et al. (2015) propõem uma classificação que está resumida no QUADRO 1 de solos que podem estar afetados por sais, que envolve a CE, o pH, a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e a condição física do solo.

QUADRO 1 - Classificação dos solos afetados por sais (adaptado de Yan et al., 2015)

<b>Classificação</b>	<b>CE<sub>e</sub> (dS m<sup>-1</sup>)</b>	<b>pH</b>	<b>RAS<sup>1</sup></b>	<b>Condição física</b>
<i>Salino</i>	>4,0	<8,5	<13	Normal
<i>Sódico-salino</i>	>4,0	<8,5	>13	Normal
<i>Sódico</i>	<4,0	>8,5	>13	Pobre

<sup>1</sup>Razão de Adsorção de sódio

Como macronutrientes do solo, a disponibilidade de N, P e K é essencial para o crescimento das plantas e deve estar no solo para a nutrição adequada do vegetal. Esses nutrientes também se encontram em adubos e esterco que são amplamente utilizados para o crescimento das plantas.

No QUADRO 2 estão resumidas algumas funções dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e suas contribuições para a qualidade do solo.

QUADRO 2 - Principais indicadores e suas relações com a qualidade do solo (adaptado de ARAÚJO; MONTEIRO, (2007))

<b>Indicadores</b>	<b>Contribuição para a qualidade do solo</b>
<i>Matéria orgânica</i>	Fertilidade, estabilidade e estrutura do solo, retenção de água e nutrientes, fonte de C e energia para os microrganismos.
<i>Físicos</i>	
Estrutura do solo	Transporte de água e retenção de nutrientes
Infiltração e densidade do solo	Movimento da água pelos poros
Capacidade de reter umidade	Armazenar e disponibilizar água
<i>Químicos</i>	
pH	Disponibilização de nutrientes e atividade biológica
CE	Crescimento vegetal e atividade microbiana
N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas
<i>Biológicos</i>	
Biomassa microbiana	Reposição nutricional e atividade microbiana
Mineralização de N, P e S	Produtividade e potencial de suprir nutrientes
Respiração do solo	Atividade microbiana
FBN	Possibilidade em manter o aporte de N para as plantas
Atividade das enzimas do solo	Capacidade catalisadora/ atividades microbianas no solo

Como referência, o QUADRO 3, adaptado de Martins et al. (2010), apresenta os atributos químicos e microbianos do solo em áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco para os períodos chuvoso e seco, nos ambientes conservado, pouco degradado e intensamente degradado, com o intuito de identificar a degradação do solo.

QUADRO 3 - Atributos químicos e microbianos dos períodos chuvoso e seco, nos ambientes: conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado

Atributo	Ambiente					
	Conservado		Pouco degradado		Degradado	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
COT (dag kg <sup>-1</sup> )	1,377	1,397	1,092	0,944	0,581	0,845
pH	7,116	7,116	7,464	7,339	7,419	7,404
P (mg kg <sup>-1</sup> )	5,550	4,322	6,178	4,088	6,087	4,207
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	11,215	11,058	11,282	10,256	11,17	13,319
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,575	4,575	5,500	5,393	6,277	5,803
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,098	0,076	0,119	0,172	0,325	0,316
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,607	0,477	0,358	0,297	0,252	0,217
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,783	2,216	0,257	0,643	0,242	0,391
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	22,278	18,402	17,517	16,762	18,27	20,046
C-CO <sub>2</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	3,253	3,311	1,988	1,857	2,125	1,311
C-BMS (mg kg <sup>-1</sup> )	332,83	199,256	109,65	135,865	64,32	67,170
qMIC (%)	2,575	1,596	1,024	1,591	1,170	0,794
qCO <sub>2</sub> (mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> )	0,013	0,030	0,021	0,021	0,042	0,026

## 2.3 - AGRICULTURA BLOSSALINA

Com a crescente escassez de água própria para os processos de irrigação, estão surgindo alternativas para suprir a necessidade de alimentos. Alguns estudos verificam a viabilidade em se utilizar água com maior nível de salinidade (WU et al. 2017; MOURA et al., 2016; ASKRI et al., 2014; VIANA et al., 2012). Entre as possibilidades, a irrigação direta com água de poços artesianos em regiões áridas ou semiáridas apresenta-se bastante difundida entre os pequenos agricultores que precisam das culturas para alimentação animal, pois rebanhos podem ser beneficiados pelo plantio de forrageiras e é de conhecimento popular que as forrageiras são bastante resistentes à salinidade da água e do solo. Araújo e Monteiro (2007) relatam forrageiras cultivadas com águas salinas, em um modelo de cultivo conhecido como agricultura biossalina, no qual águas salobras com altas concentrações salinas são utilizadas para produzir alimentos para os animais.

Contudo, mesmo que a espécie seja considerada tolerante aos sais, quase sempre há algum comprometimento sobre o rendimento das culturas. Todavia, comparando a produtividade das forrageiras com o sistema de sequeiro em regiões áridas ou semiáridas, a produtividade utilizando esse recurso pode ser maior, principalmente em anos em que os índices pluviométricos são baixos (RODRIGUES, 2017).

Porém, águas artesianas nem sempre apresentam qualidade apropriada para algumas culturas se desenvolverem (VIANA et al., 2012) ou manterem a fertilidade do solo (WU et al., 2017; MOURA et al., 2016). Além disso, o solo sofre consequências da salinização promovida por águas com altas concentrações salinas – especialmente de águas com condutividades elétricas e/ou concentrações de íons elevadas – tornando-os inaptos a fornecer a nutrição para o desenvolvimento vegetal e inutilizando-os para fins agrícolas.

A agricultura bioassalina, que se propõe ao uso de culturas tolerantes a sais e de águas salobras ou salinas, possui potencial de uso no semiárido pelos mais de 200 mil poços existentes na região, o que pode impactar positivamente a utilização dessas águas na produção de forrageiras resistentes a sais por irrigação. Todavia, para ser possível permitir que o solo continue fértil, faz-se necessário o acompanhamento de seus atributos para evitar um processo precoce de salinização e desertificação.

Estudo realizado por Silva (2010) utilizou água residuária da osmose reversa e obteve-se produtividade satisfatória da forrageira *Atriplex numulária*, popularmente conhecida como erva sal. Já Rodrigues (2017) utilizou água de poço na região semiárida brasileira e obteve produtividade de *Gliricidia sepium* maior do que sem o sistema de irrigação.

Assim, muitos agricultores já vêm realizando o aproveitamento de águas de poços em regiões áridas e semiáridas. Como não haveria uso para fins de irrigação para essa água, sua utilização passou a ser conhecida Agricultura Bioassalina. Entretanto, sem um manejo adequado, essa água de salinidade elevada poderia prejudicar definitivamente o solo e impedir o crescimento das plantas a médio e longo prazos (LIEBIG; DORAN, 1999).

Em 1999, em Dubai, nos Emirados Árabes Unidos, foi estabelecido um centro de pesquisas denominado ICBA – International Center for Biosaline Agriculture –

instituição que foca suas pesquisas em cinco linhas: 1) Avaliação do gerenciamento dos recursos naturais; 2) Impacto e gerenciamento das mudanças climáticas; 3) Produção e diversificação das culturas; 4) Políticas para resiliência; 5) Aquacultura e bioenergia. Assim, há inúmeras pesquisas e desenvolvimento de alternativas para o uso de terras antes improdutivas devido aos altos índices de salinidade em países como Egito, Líbano, Jordânia, Mauritânia, Marrocos, Tunísia, Senegal, Yemen, Iraque e Emirados Árabes Unidos (ICBA, 2018). Foram desenvolvidos genótipos diferentes de sorgo, alfafa, atriplex e milho pérola resistentes a solos salinos. Instituições como essa são cada vez mais presentes no mundo e buscam alternativas para o problema da seca e alternativas para a produção de alimentos. No Brasil, apesar de alguns grupos de pesquisas de universidades federais e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) dedicarem-se ao tema, não existem instituições que se dediquem exclusivamente ao tratamento de questões como essas, que envolvem a recuperação do solo afetado pela salinidade ou para a utilização da água de poços artesianos que estão disponíveis ao agricultor do sertão nordestino.

## 2.4 - ESPÉCIES CULTIVADAS

### 2.4.1 - *Opuntia stricta* (IPA-200016)

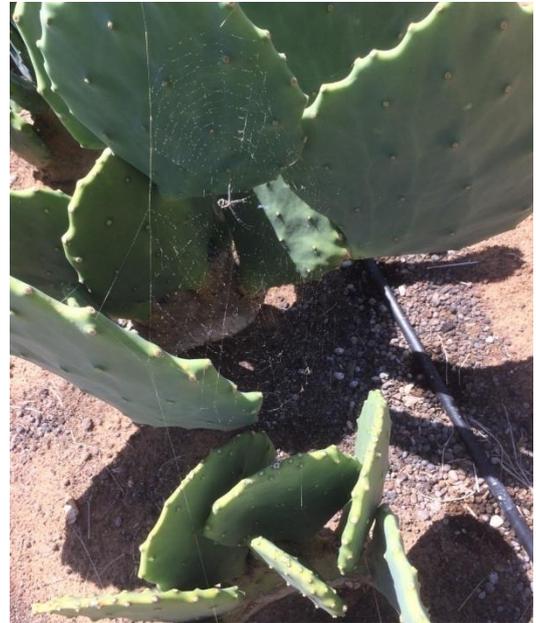
A *Opuntia stricta*, também conhecida como Palma Forrageira, é uma espécie pertencente ao reino *Plantae*, filo *Magnoliophyta*, Classe *Magnoliopsida*, Ordem *Caryophyllales* e família *Cactaceae* (FREIRE, 2012) (FIGURA 1). A variedade IPA-200016 é um clone desenvolvido pelo Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA) para possuir maior resistência aos regimes de seca do semiárido. Crescem naturalmente em regiões tropicais e subtropicais e seu cultivo é bastante disseminado em diversos países da América do Sul como Argentina, Peru, Brasil, Bolívia e Chile; da América do Norte como México e sul dos Estados Unidos da América; da África em Marrocos, Etiópia, Eritreia, Tunísia e África do Sul; da Europa na Espanha e Itália (SÁENZ, 2013; MENDES et al., 2009). Pesquisas mostraram que os extratos de suas raquetes – nome popular dado à planta – podem reduzir níveis de colesterol, ter efeitos anti-hipoglicêmicos, atividades antiulcerosas, efeitos

neuroprotetores e propriedades anti-inflamatórias (CROON, 2013). Além disso, a planta é caracterizada pela alta capacidade de retenção de água em condições climáticas adversas, devido especialmente a um de seus principais componentes funcionais, a mucilagem (SÁENZ, 2013).

FIGURA 1 - *Opuntia stricta* (Palma forrageira) utilizada neste estudo



Fonte: próprio autor



Fonte: próprio autor

De acordo com Santos e colaboradores (2006), a palma se destaca como um volumoso suculento muito importante para os rebanhos, especialmente nos períodos de secas prolongadas, possuindo a maior produção de matéria fresca que as demais forrageiras e, por não precisarem ser armazenadas como silagem ou feno, mantendo seu valor nutritivo durante todo o período de estiagem, representa uma alternativa para pecuaristas e agricultores de regiões áridas de todo o mundo. Esta forrageira, cuja área cultivada no Brasil alcança cerca de 550.000 ha (ROCHA, 2012), aparece neste contexto como uma alternativa de cultivo, adaptada ao clima semiárido, visto ser uma cultura com mecanismo fisiológico especial no que se refere ao uso eficiente da água (eficiência na absorção, aproveitamento e perda de água).

Apresenta eficiência no uso de água se comparada a outras culturas, necessitando de 50 a 100 kg de água  $\text{kg}^{-1}$  de matéria seca produzida (MS),

enquanto gramíneas e leguminosas necessitam de 300 a 400 kg de água kg<sup>-1</sup> de MS e de 600 a 800 kg de água kg<sup>-1</sup> de MS, respectivamente (LARCHER, 1986).

### 2.4.2 - *Gliricidia sepium*

A *Gliricidia sepium* é uma leguminosa arbórea de porte médio, boa opção como fixadora de nitrogênio, nativa no México, América Central e Norte da América do Sul, que apresenta crescimento rápido e enraizamento profundo, com interesse econômico para regiões tropicais, sendo uma espécie tolerante à seca (KILL; DRUMOND, 2001). Sua classificação científica é do reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales* e família *Fabaceae*. Possui múltiplo uso, entre eles: forragem, reflorestamento, adubação verde, cercas vivas e sombreamento do cacau no semiárido de Sergipe e Pernambuco (JASMINE et al., 2017). Também, pode ser aproveitada para fins como repelente de mosquitos, fumigante, tratamento de disenteria, feridas, antibacteriano, antifúngico e agente antiviral (YUAN et al., 2007). Desenvolve-se melhor em condições quentes e úmidas, tendo seu crescimento limitado por baixas temperaturas, podendo, entretanto, tolerar prolongados períodos de seca, ainda que com queda de folhas dos ramos mais velhos. Não necessita de solos férteis, embora exiba melhor desempenho naqueles de alta fertilidade e profundos o suficiente para um bom enraizamento, fator determinante da maior ou menor produção e manutenção de folhagem verde no período seco. Os materiais comestíveis, folhas e ramos finos, produzido pela *Gliricidia sepium*, podem ser conservados na forma de silagem ou feno (YUAN et al., 2007).

No Brasil, a espécie é conhecida como gliricídia, enquanto em países da América Central e México pode ser conhecida como madero negro (Costa Rica), mata ratón (Colombia), madre de cacao (Guatemala) e coiote (México) (CARVALHO FILHO et al., 1997). Planta perene pertencente à família Fabaceae e que se reproduz sexuadamente por semente e assexuadamente por estacas. Geralmente alcança de 10 a 12 metros de altura e diâmetro de até 30 cm (NATIONAL ACADEMY SCIENCES, 1980).

A FIGURA 2 mostra imagem de experimento no semiárido com a *Gliricidia sepium*, leguminosa que surgiu como alternativa forrageira.

FIGURA 2 - *Gliricidia sepium* empregada neste estudo



Fonte: Próprio Autor



Fonte: Próprio Autor

Com introdução no Semiárido brasileiro na década de 1980, seu conhecimento no Brasil é recente, entretanto trabalhos com adubação verde, forragicultura e alimentação animal merecem destaque (RANGEL et al., 2011).

Por se tratar de uma planta fixadora de nitrogênio, possui quantidades comparáveis a outras forrageiras em teores de proteína – altos teores de nitrogênio orgânico – e apresenta-se como opção para alimentação animal. Assim, em algumas regiões do semiárido, substituiu a leucena (*Leucaena leucocephala*) com essa função, especialmente por se tratar de uma cultura que não precisa de solo fértil e por ser tolerante a períodos de estiagem (CARVALHO FILHO et al., 1997).



### 3 - OBJETIVOS

#### 3.1 - OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da aplicação de diferentes lâminas de água salina na irrigação de áreas cultivadas com *Gliricídia sepium* e *Opuntia stricta* no Semiárido, sobre atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo, utilizando como estratégia a aplicação de diferentes doses de matéria orgânica no solo.

#### 3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

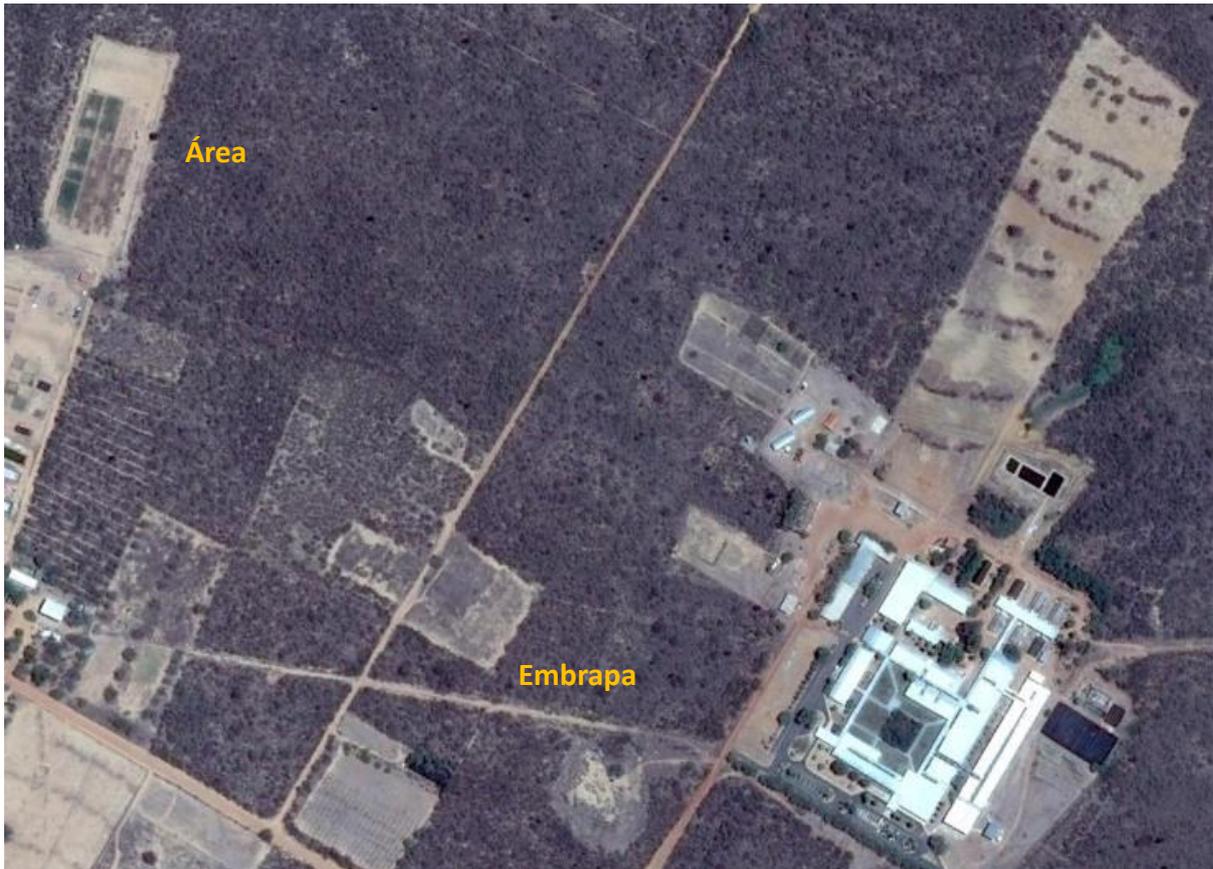
- Determinar os parâmetros químicos e físicos do solo cultivado com Gliricídia e Palma Forrageira no Semiárido;
- Predizer quais tratamentos de esterco caprino e lâminas de irrigação podem mitigar os efeitos da salinidade no solo cultivado com Gliricídia e Palma Forrageira no Semiárido.



#### 4 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os estudos realizados neste trabalho foram desenvolvidos no Campo Experimental da Caatinga, localizado nas coordenadas geográficas 09°04'16,4"S e 40°19'5,37"W, área pertencente à Embrapa Semiárido em Petrolina/PE (FIGURA 3).

FIGURA 3 - Imagem de Satélite da área experimental cultivada com Gliricídia e Palma Forrageira



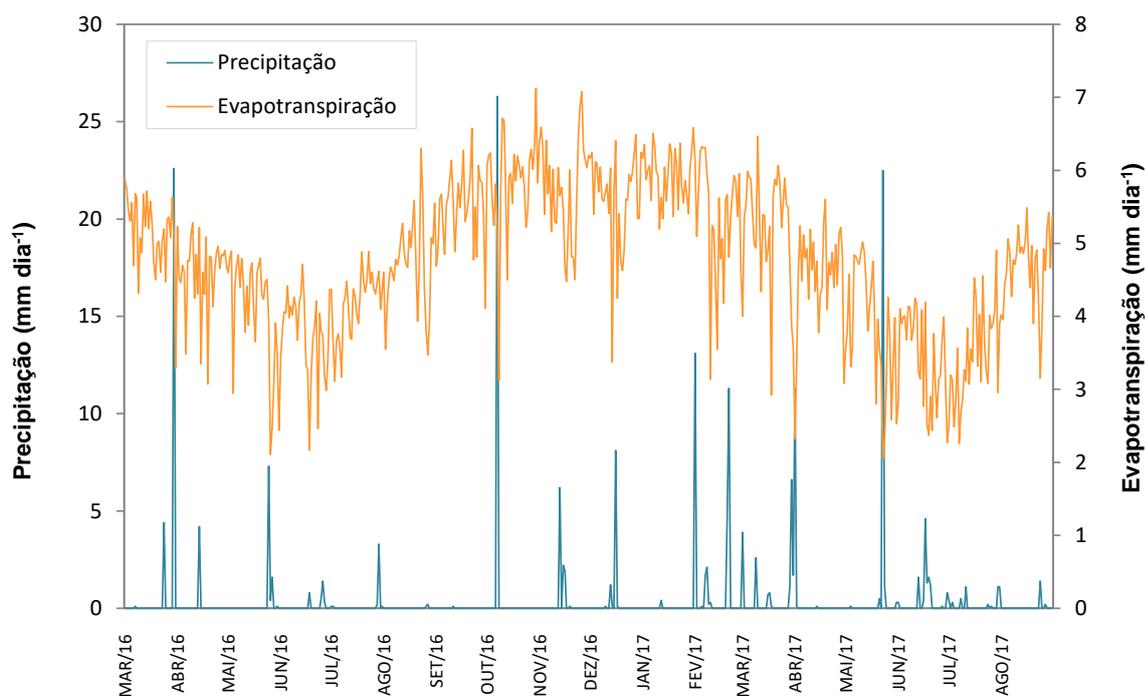
Fonte: Imagem do Google Earth®. Acesso em 30/09/2017

De acordo com a classificação de Köppen (1936), o clima regional é do tipo BSw<sup>h</sup>, com regime anual pluviométrico aproximado de 560 mm, concentrados principalmente nas proximidades do verão. A umidade relativa do ar média é de 62% e a temperatura média do ar 26°C.

Os dados meteorológicos foram captados por uma estação automática pertencente a Embrapa Semiárido, localizada a menos de 500 m do campo experimental onde os ensaios foram realizados. Registros das médias dos valores de evapotranspiração e precipitação diários desde o início do experimento foram

coletados, desde março de 2016, até a última coleta, em agosto de 2017 (FIGURA 4). Os dados de precipitação e ETo são importantes para indicar se a umidade do solo está sendo mantida com o passar do tempo ou se há algum déficit hídrico na região. Como observado, os dados pluviométricos foram bastante inferiores à ETo durante todo o período experimental, fato que confirmou a expectativa de seca, como a que ocorreu na região nos últimos anos. Mesmo assim, ainda foi possível extrair informações sobre as respostas dos atributos para a condição experimental.

FIGURA 4 - Precipitação e evapotranspiração diárias registradas no período de março de 2016 a agosto de 2017



Fonte: Estação automática Embrapa Semiárido

Antes da instalação do experimento, em meados de 2015, foram analisados os atributos físicos e químicos do solo da área experimental (AE) e em área virgem do campo experimental da caatinga (CEC) nas profundidades 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm, 60 – 80 cm e 80 – 100 cm. Esses dados (TABELAS 1 e 2) foram utilizados para realizar a classificação do solo e também para inferir os impactos do experimento no solo cultivado. As mudas de gliricídia e as palmas foram plantadas em fevereiro de 2016 e todas as plantas foram irrigadas de maneira igualitária até o pleno estabelecimento das culturas, obedecendo a ETo da região para completa reposição do déficit hídrico do solo.

TABELA 1 - Análises Químicas realizadas nas amostras de solo coletadas na AE e CEC da Área Experimental e do CEC, antes da implantação do experimento

Amostra	Determinação																	
	pH	C.E ( $mS\ cm^{-1}$ )	C ( $g\ kg^{-1}$ )	N ( $g\ kg^{-1}$ )	P ( $mg\ dm^{-3}$ )	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V (%)	Cu	Fe	Mn	Zn ( $mg\ dm^{-3}$ )
CEC 0-10 cm	6,4	0,23	11,7	1,15	3,85	0,36	0,08	3,7	0,80	0,00	5,0	4,9	9,9	49,9	0,93	20,8	23,0	28,87
CEC 10-20 cm	5,9	0,37	6,1	0,75	2,37	0,25	0,04	1,7	0,80	0,00	1,9	2,8	4,7	59,2	0,51	14,9	17,0	25,08
CEC 20-40 cm	6,3	0,51	5,2	1,16	2,30	0,36	0,05	2,4	1,60	0,00	3,0	4,4	7,5	59,2	0,67	70,9	19,0	29,33
CEC 40-60 cm	6,5	0,55	6,4	0,58	3,78	0,37	0,07	2,9	1,50	0,00	1,9	4,8	6,8	71,6	0,92	167,6	34,8	30,63
CEC 60-80 cm	6,5	0,34	5,3	0,59	4,12	0,36	0,08	2,8	1,30	0,00	2,7	4,5	7,3	62,5	0,95	175,6	31,1	30,95
CEC 80-100 cm	6,0	0,97	2,9	0,47	0,34	0,18	0,05	2,6	1,40	0,00	1,9	4,2	6,2	68,8	0,75	125,1	27,2	29,73
AE 0-10 cm	6,1	1,06	5,2	0,43	2,97	0,34	0,24	1,5	0,60	0,00	2,1	2,7	4,8	56,3	0,54	12,9	9,6	15,38
AE 10-20 cm	6,0	0,30	4,9	0,43	2,50	0,30	0,21	1,2	0,70	0,00	2,7	2,4	5,1	47,0	0,50	6,2	20,0	3,66
AE 20-40 cm	5,5	0,24	3,7	0,38	0,61	0,18	0,03	1,6	0,60	0,00	3,0	2,4	5,5	44,2	1,06	7,9	8,9	22,34
AE 40-60 cm	5,5	0,36	3,9	0,49	0,28	0,08	0,36	1,5	0,70	0,05	3,0	2,6	5,7	46,5	0,59	38,9	8,1	4,20
AE 60-80 cm	5,2	0,36	3,0	0,55	0,75	0,07	0,32	2,5	1,50	0,10	2,6	4,4	7,0	63,2	0,90	34,4	18,2	3,29
AE 80-100 cm	5,7	0,34	2,8	0,15	0,75	0,37	0,06	2,4	1,60	0,00	2,2	4,4	6,7	66,4	2,61	6,2	25,1	12,80

TABELA 2 - Resultados das análises físicas realizadas nas amostras de solo coletadas na AE e CEC, antes da implantação do experimento

Amostra	Densidade (kg dm <sup>-3</sup> )		Porosidade (%)	Granulometria (%)		
	Solo	Partículas	Total	Areia	Silte	Argila
CEC 0-10 cm	1,45	2,54	42,85	78,59	13,78	7,63
CEC 10-20 cm	1,51	2,58	41,47	76,76	18,00	5,24
CEC 20-40 cm	1,51	2,63	42,74	71,68	19,41	8,91
CEC 40-60 cm	1,55	2,64	41,43	68,34	19,14	12,52
CEC 60-80 cm	1,55	2,57	39,64	72,48	18,57	8,95
CEC 80-100 cm	1,46	2,69	45,70	52,23	9,32	38,45
AE 0-10 cm	1,47	2,58	43,20	83,40	10,49	6,11
AE 10-20 cm	1,41	2,58	45,23	80,60	13,53	5,87
AE 20-40 cm	1,44	2,58	44,02	71,64	11,47	16,89
AE 40-60 cm	1,42	2,58	45,04	72,82	12,99	14,19
AE 60-80 cm	1,37	2,61	47,72	55,18	13,26	31,57
AE 80-100 cm	1,34	2,52	46,94	53,33	15,16	31,51

Com base nos dados descritos, o solo foi classificado como Argissolo Amarelo Alítico Plíntico (EMBRAPA, 2013).

## 5 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 - PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL

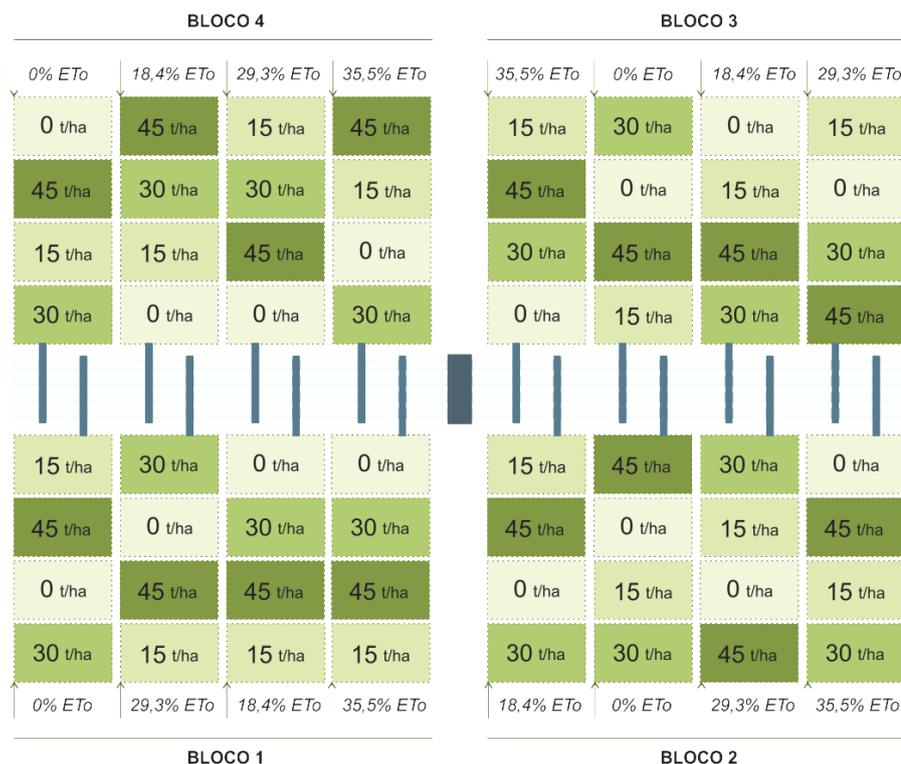
A área experimental foi preparada para receber as culturas por aração e gradagem. Para a *Gliricida sepium* houve plantio por sementes com esterco caprino curtido, mantidos em ambiente e com irrigação diária. O transplante foi realizado quando as mudas atingiram 30 cm de altura, colocando-as em covas com espaçamento de 30 cm entre elas no campo. Já a *Opuntia stricta* foi semeada em ambiente com irrigação diária e as raquetes, nome popular da planta, foram transplantadas em área distinta, mas concomitantemente com as mudas de *Gliricidia sepium*. Para finalizar, uma poda de uniformização foi realizada em fevereiro de 2016 antes do início do tratamento com diferentes lâminas com água salina.

O experimento foi montado em uma área no CEC da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, onde anteriormente já havia histórico de irrigação com água salina, em uma área total de aproximadamente 5.000 m<sup>2</sup>, com área útil de 2.500 m<sup>2</sup> somando-se as duas culturas.

Foram aplicadas diferentes lâminas de irrigação por gotejamento, com base na evapotranspiração de referência para o período de 2453 mm - ETo (0%, 18,4%, 29,3%, e 35,5%), que corresponderam a 0; 451,9; 719,7 e 871,3 mm; respectivamente. Também, quatro doses de matéria orgânica (15; 30; 45 t ha<sup>-1</sup> e testemunha 0 t ha<sup>-1</sup>). Os intervalos das coletas de solo ocorreram semestralmente, para acompanhamento da evolução dos atributos do solo, com o intuito de diferenciar os períodos seco e chuvoso, a profundidade, a influência da cultura e os tratamentos.

A seguir, a FIGURA 5 apresenta o desenho experimental da distribuição casualizada das plantas de ambas as culturas em função dos quatro tratamentos com água salobra e das quatro doses de matéria orgânica avaliadas. Em cada um dos blocos uma repetição experimental de cada tratamento, totalizando 16 tratamentos por bloco (4 doses de esterco x 4 lâminas de água).

FIGURA 5 - Desenho experimental dos estudos realizados com *Gliricídia sepium* e *Opuntia stricta*.



Fonte: próprio autor

Desde a implantação do experimento as culturas foram irrigadas por gotejamento com água do poço do Campo Experimental da Caatinga (CEC), que apresenta elevados níveis de salinidade (TABELA 3). Após o transplante, ocorreu irrigação inicial para todas as plantas do experimento com essa água totalizando 60% da ETo, até que as mudas passassem de seus estados vegetativos. Após esse período, essa irrigação uniforme foi cessada, amostras de solo foram coletadas para análises físicas, químicas e microbiológicas (Abril de 2016) e o experimento foi padronizado com as distintas quatro doses de matéria orgânica e as quatro lâminas de água.

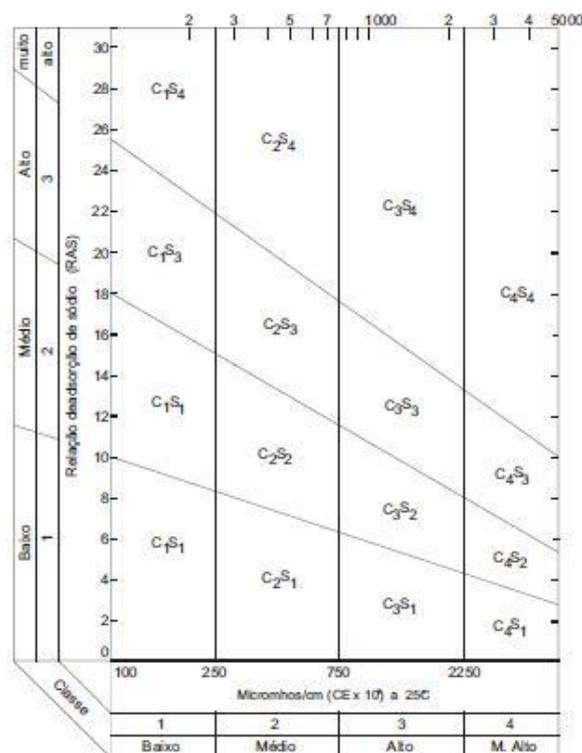
Também, ocorreu monitoramento quinzenal da qualidade da água utilizada na irrigação, proveniente de poços tubulares. Verificou-se que ela apresentou condutividade elétrica média de  $3,84 \text{ dS m}^{-1}$ . A irrigação realizada foi de três vezes por semana, com base nos percentuais de evapotranspiração mencionados, que totalizou 2453 mm evapotranspirado no período. O sistema de irrigação foi por

gotejamento, com uma eficiência média de 93% e vazão média de 0,9 litros por hora.

A água aplicada na irrigação do experimento é classificada como  $C_4S_1$  (RICHARDS, 1980). O “C” mensura o perigo de salinidade, sendo “ $C_1$ ” água de baixa salinidade ou CE entre 0,10 e 0,25  $dS\ m^{-1}$ , até “ $C_4$ ” com salinidade muito elevada e valores de CE acima de 2,25  $dS\ m^{-1}$ ; enquanto o “S” indica o perigo de sodificação ou alcalinização, sendo “ $S_1$ ” a água com baixo teor de sódio até “ $S_4$ ”, indicando teores muito altos de sódio. Na FIGURA 6 pode-se observar o gráfico da classificação de Richards. Esta depende da Razão de Adsoção de Sódio (RAS) e da CE. No presente trabalho a água foi classificada como  $C_4S_1$ , bastante encontrada em poços da região semiárida. Ao compará-la à água do Rio São Francisco e dos perímetros irrigados, classificadas como  $C_1S_1$ , é considerada com teor salino muito elevado, entretanto com baixo risco de alcalinização. A seguir é apresentada a equação matemática que define a RAS:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (1)$$

FIGURA 6 - Gráfico utilizado na classificação da água quanto à salinidade e concentração de sódio. Fonte: Manual de Análises de Solo, Água e Fertilizantes (Embrapa, 2007)



Há dados deste experimento na literatura sobre os parâmetros de produtividade e qualidade da forragem da *Gliricidia sepium* (RODRIGUES, 2017) e da *Opuntia stricta* (NUNES, 2018), ambos indicando produtividade maior das forrageiras comparadas ao sistema de sequeiro.

TABELA 3 - Atributos químicos da água utilizada na irrigação de *Gliricidia sepium* e *Opuntia stricta* na AE

Amostra	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-1</sup>	C.E.	pH
	mmol dm <sup>-3</sup>								dS m <sup>-1</sup>	
Água	13,00	24,66	15,98	0,59	0,00	4,34	2,62	48,35	3,84	7,24

## 5.2 - AMOSTRAGEM

Para as variáveis microbiológicas apenas a profundidade 0-10 cm foi analisada (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). As determinações físicas foram realizadas com amostras indeformadas do perfil. Para os atributos químicos, as profundidades 0-10cm, 10-20cm e 20-30cm foram coletadas para a determinação das características

químicas e físico-químicas. A FIGURA 7 mostra a imagem de uma das coletas na área de *Gliricídia sepium*.

FIGURA 7 - Trado holandês utilizado na coleta de amostras de solo da AE cultivada com *Gliricídia sepium*



Fonte: próprio autor



Fonte: próprio autor

Desde a implantação do experimento foram realizadas duas coletas completas para análise química e microbiológica, em julho de 2016 e abril de 2017, visando comparar a influência nos atributos do solo dos períodos seco e chuvoso. Os custos elevados das análises químicas, físicas e biológicas aliados ao tempo disponível para realização das análises foi limitante o número de coletas realizadas. Outras quatro coletas e análises foram realizadas para acompanhamento dos atributos do solo. A TABELA 4 resume o cronograma de coletas realizado.

TABELA 4 - Resumo das coletas e análises realizadas nas amostras de solo do experimento bioassalino com Palma Forrageira e Gliricídia

Coleta	Análise			Descrição
	Física	Química	Biológica	
Ago/2015	x	x		Caracterização inicial da área experimental
Mar/2016	x	x		Implantação das doses de MO e lâmina única
Jul/2016		x	x	Período seco (coleta completa)
Abr/2017		x	x	Período chuvoso* (coleta completa)
Jun/2017		x		Lâminas e MO mínimas e máximas
Set/2017	x	x	x	Caracterização final da área experimental

\*neste período observou-se baixos valores pluviométricos, se comparado a outros anos na região. Todavia, o experimento continuou implantado e a evolução dos atributos pode ser analisada.

### 5.3 - ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

As análises físicas das amostras de solo estudadas neste trabalho foram realizadas no Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais da Embrapa Semiárido, Petrolina/PE, de acordo com metodologia descrita no Manual de Análises Físicas e Químicas da Embrapa (2009).

#### 5.3.1 - Densidade real e aparente

A análise da densidade aparente foi realizada de acordo com o Método da Proveta, baseado na determinação da massa de solo compactada necessária para completar o volume de uma proveta de 100 ml. A densidade aparente pode ser definida como a relação entre o peso da amostra seca a 105°C e o volume da proveta.

A densidade real ou de partículas foi avaliada através da determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa.  $Densidade = \frac{a}{(50-b)}$ , sendo a a massa da amostra seca a 105°C e b o volume de álcool gasto no procedimento.

### 5.3.2 - Granulometria

As análises granulométricas das amostras de solo coletadas neste estudo foram realizadas de acordo com o Método da Pipeta. Este método baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. O tempo é fixado para a movimentação vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico, no caso, o hexametáfosfato de sódio que é indicado para solos salinos. Um volume da suspensão é pipetado para determinar a argila seca em estufa gravimetricamente. As frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100%. É obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original.

### 5.3.3 - Porosidade total

A porosidade total do solo determina o volume de poros totais ocupado por água e/ou ar, e foi determinada levando em consideração os resultados obtidos nos cálculos das densidades aparente e real.  $Porosidade\ total = \frac{100(a-b)}{a}$ , sendo a a densidade real e b a densidade aparente.

## 5.4 - ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO

As análises químicas das amostras de solo utilizadas foram realizadas no Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais da Embrapa Semiárido, Petrolina/PE, conforme o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2009). Apenas os elementos C e N não foram determinados conforme o referido manual, entretanto foi utilizado o padrão internacional (SWIFT, 1996) para determinar esses nutrientes.

### 5.4.1 - Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para determinar os valores de pH, as amostras de solo estudadas foram introduzidas em cachimbos de 10 cm<sup>3</sup> (FIGURA 8), transferidas para potes plásticos previamente numerados, aos quais foram dispensados 25 mL de água deionizada e, 30 minutos depois, as leituras foram realizadas em potenciômetro da marca Digimed, modelo dmph-2, previamente calibrado.

FIGURA 8 - Cachimbo de 10 cm<sup>3</sup> contendo amostra de solo, utilizado na análise de pH.



Fonte: próprio Autor

### 5.4.2 - Condutividade elétrica

Amostras de TFSA foram acondicionadas em potes plásticos de volume igual a 350 mL e acrescidas de água deionizada até a formação de uma pasta de saturação. Tais potes eram tampados e a pasta ficava em repouso até o dia seguinte. Após esse período, a pasta era filtrada com papel de filtro quantitativo com 9 cm de diâmetro em um sistema onde é possível filtrar simultaneamente 6 amostras, como o mostrado na FIGURA 9a. Os filtrados eram coletados em diferentes béqueres, onde era realizada a determinação da C.E, utilizando um

condutímetro marca **AZ, modelo 6505** (FIGURA 9b), com célula de condutividade de constante  $k=1 \text{ cm}^{-1}$ , após a devida calibração do equipamento.

FIGURA 9 - (A) Sistema de filtração por arraste utilizado na extração dos sais solúveis das amostras de solo estudadas; (B) Condutímetro utilizado na determinação da condutividade elétrica das amostras de solo estudadas



A



B

Fonte: próprio Autor

Fonte: próprio Autor

#### 5.4.3 - Determinação de $\text{Na}^+$ e $\text{K}^+$ trocáveis e de $\text{PO}_4^{3-}$ disponível

Os nutrientes  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  foram extraídos em solução diluída de ácidos sulfúrico e clorídrico (Mehlich-1). O preparo da extração foi realizado com  $10 \text{ cm}^3$  da amostra que seria analisada e  $100 \text{ mL}$  da solução extratora. A determinação foi realizada por fotometria de chama para  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , enquanto uma parte do extrato foi pipetada para determinação do fósforo disponível em um espectrofotômetro de absorção molecular Gehaka UV-340G, pela intensidade da coloração azul formada pelo complexo fósforo-molibídico.

#### 5.4.4 - Determinação de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e $\text{Al}^{3+}$ trocáveis

Os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídos do solo colocando  $10 \text{ cm}^3$  de TFSA em uma solução de  $\text{KCl}$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . As determinações dos metais alcalino-terrosos foram realizadas por complexometria, utilizando EDTA na titulação. O Al trocável, também conhecido como acidez trocável do solo, foi determinado pela titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ .

#### 5.4.5 - Determinação de C e N totais

O manual de métodos de Embrapa 2009 recomenda a utilização do método Walkley-Black (1934) e de YEOMANS & BREMNER (1988) por titulação ou colorimetria. Contudo, ambos os procedimentos são realizados com cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ), o qual é um agente teratogênico, carcinogênico e mutagênico (DAYAN; PAINE, 2001). Assim, foi escolhido para o estudo o padrão difundido mundialmente há mais de uma década (SWIFT, 1996). A amostra sólida é pesada e queimada diretamente no equipamento. Os gases carbônicos gerados pela combustão são detectados por uma célula de infravermelho, enquanto o nitrogênio gasoso gerado pela queima da amostra é detectado por condutividade térmica, em ambiente inerte com gás hélio.

### 5.5 - AVALIAÇÕES BIOLÓGICAS DO SOLO

Para avaliar o funcionamento da comunidade microbiana, alguns parâmetros indicadores de qualidade do solo foram avaliados e são brevemente descritos a seguir. Todos os procedimentos bioquímicos e moleculares das amostras de solo utilizadas neste trabalho foram realizados no Laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Semiárido, Petrolina/PE.

Desde que os estudos biológicos do solo se iniciaram no Brasil, cientistas realizavam estudos de diferentes camadas do solo para os parâmetros biológicos. Ocorreu, então, uma padronização na Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas (FERTBIO, 2006) e a camada estudada para fins biológicos no Brasil iria de 0 a 10 cm. Assim, foram coletadas amostras com essa profundidade para realização do estudo dos atributos biológicos do solo, que são estratificadas da coleta química para a profundidade 0 a 10 cm.

### **5.5.1 - Carbono da biomassa microbiana**

Para a avaliação da biomassa microbiana foi determinado o CBM por meio do método CFE e seguiu para determinação conforme Vance et al. (1987) com alterações. As amostras de solo foram incubadas por 15 dias em um dessecador com formol como agente fumigante. Paralelamente, amostras de solo foram incubadas pelos mesmos frascos de vidro hermeticamente fechados e incubadas por igual período em frasco sem o agente fumigante. Para todas as amostras incubadas o carbono do solo foi extraído com sulfato de potássio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e, uma vez extraído, ocorreu reação com dicromato de potássio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e titulação com ácido clorídrico previamente padronizado. O carbono da biomassa microbiana é calculado pela subtração do carbono da amostra não fumigada da fumigada. As amostras para a biomassa foram armazenadas em câmara fria entre o dia da coleta e o dia das análises

### **5.5.2 - Respiração basal**

A respiração basal do solo foi avaliada pelo método titrimétrico de acordo com Vance et al. (1987). Neste método, as amostras são armazenadas individualmente em frascos hermeticamente fechados com um frasco contendo hidróxido de sódio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . A incubação ocorreu por 15 dias e o frasco com hidróxido de sódio foi titulado com ácido clorídrico 33%.

### **5.5.3 - Análise estatística dos atributos do solo**

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa InfoStat. Os resultados foram submetidos a testes de normalidade e, quando os dados se comportaram como paramétricos, foram aplicadas análises de variância ANOVA com teste de Scott\_Knott, que agrupa os dados em grupos de médias sem intersecção como observado pelos testes baseados em cálculos da diferença mínima significativa. Os dados foram normalizados utilizando-se raiz quadrada de  $x+1$  para que os valores assumissem comportamento paramétrico. Para a análise, assumiu-se um esquema fatorial com os seguintes fatores: Lâmina de irrigação com água salina

(4) x Matéria Orgânica (4), Período (2) e as interações entre estas variáveis dependentes para cada cultura.

Para os dados microbianos (Biomassa microbiana, respiração basal do solo e cálculos derivados), o fator “profundidade não foi avaliado, uma vez que para esta variável foi avaliada apenas a profundidade 0-10 cm.

Também foram realizadas análises de componentes principais (PCA), para encontrar os padrões mais fortes de tratamento em relação aos dados analisados.

## 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos dados está disposta separadamente para cada cultura. Primeiramente, os dados do solo da AE de *Opuntia stricta*, depois de *Gliricidia sepium* e por último as conclusões com a comparação entre ambas as culturas.

Não houve mudanças nos atributos físicos do solo no intervalo de confiança de 95% e, portanto, esses dados não são abordados nos resultados e discussão.

As profundidades analisadas 10-20 cm e 20-30 cm apresentaram decréscimo nos valores dos atributos quando comparadas à camada superficial 0-10 cm. Além disso, como há uma padronização quanto as análises microbiológicas serem na camada superficial 0-10 cm, as análises de dados ficaram concentradas nesta profundidade.

### 6.1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICO-QUÍMICOS EM SOLO:

#### *Opuntia stricta*

Entre os atributos químicos e físico-químicos do solo, alguns são amplamente estudados e há dados na literatura que os consideram decisivos para a qualidade do solo. CE, MO e os teores de sódio (SILVA et al., 2009) são alguns desses atributos. Inicia-se então o tratamento de dados pela análise das CE do solo da AE cultivada com *Opuntia stricta*, pois a CE é um dos fatores mais sensíveis (SÁ et al., 2015; MARTINS et al., 2010; FERNANDES, 2009; YUAN et al., 2007).

Na análise da lâmina zero, ou seja, sem a aplicação de água salina, a média dos valores ficou acima de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  (QUADRO 1) para a CE, o que enquadra o solo como altamente salino de acordo com essa classificação. Como o aporte hídrico inicial foi cessado em fevereiro de 2016 para o início do experimento, provavelmente, não houve precipitação suficiente para lixiviar o excesso de sais (TABELA 5) que estava no solo. Essa hipótese pode ser reforçada pelo fato de a ETo ter sido bastante superior aos índices pluviométricos. O valor de  $CE = 6,64 \text{ dS m}^{-1}$  indica que as poucas chuvas do período não foram suficientes em auxiliar no processo de remoção do excesso de sais da camada arável.

TABELA 5 - Valores médios de condutividades elétricas ( $\text{dS m}^{-1}$ ) nas amostras de solo da cultura de *Opuntia stricta*, nas coletas dos períodos seco e chuvoso para cada lâmina de irrigação

Coleta	Lâmina (mm)	CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	
Seco 2016	0	6,49	B <sup>1</sup>
Seco 2016	451,9	6,29	B <sup>1</sup>
Seco 2016	719,7	4,64	A <sup>1</sup>
Seco 2016	871,3	4,73	A <sup>1</sup>
Chuvoso 2017	0	6,64	B <sup>1</sup>
Chuvoso 2017	451,9	4,44	A <sup>1</sup>
Chuvoso 2017	719,7	4,81	A <sup>1</sup>
Chuvoso 2017	871,3	2,9	A <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott\_Knott( $p \leq 0,05$ )

A TABELA 6 mostra que as menores lâminas de água apresentaram maiores valores de condutividade elétrica. O tratamento inicial realizado até fevereiro de 2016 com água salina adicionou sais ao solo. Após cessar os tratamentos igualitários e iniciarem-se os tratamentos diferenciados quanto às lâminas de água, pôde-se observar que a irrigação com as menores lâminas de água não foi suficiente para lixiviar os sais ali presentes. E, mesmo com lâminas maiores de água bioessalina sendo utilizadas na irrigação, houve diminuição da salinidade do solo. Isso indica que foi mais vantajosa para o solo experimental da AE de *Opuntia stricta* a manutenção da irrigação, mesmo com água salina, já que o solo tende a permanecer com altas taxas de sais se sua lavagem não ocorre. Todavia, se na época do experimento os índices pluviométricos tivessem sido maiores, possivelmente o comportamento da salinidade seria diferente do apresentado. Estudos de Sastre-Conde et al. (2015) propõem lavagem do solo como um dos processos de sua recuperação, enquanto Kameli et al. (2017) realizaram estudo com efluentes e indicaram que aplicação de efluentes de alta carga orgânica auxilia na recuperação de solos salinos.

TABELA 6 - Valores médios de condutividades elétricas ( $\text{dS m}^{-1}$ ) nas amostras de solo da cultura de *Opuntia stricta*, para cada lâmina de irrigação

Lâmina (mm)	CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	
871,3	3,82	A <sup>1</sup>
719,7	4,73	A <sup>1</sup>
451,9	5,36	B <sup>1</sup>
0	6,56	B <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott\_Knott( $p \leq 0,05$ )

Quanto à aplicação de diferentes doses de esterco, observa-se pela TABELA 7 diferença significativa nas variâncias comparando-se as CE. A maior dose de esterco foi eficiente em auxiliar na manutenção de menores médias, o que indica que a aplicação de doses de matéria orgânica mitigou os efeitos da salinidade no solo na AE de *Opuntia stricta*, corroborando resultados de Wu *et al.* (2017), Sastre-Conde *et al.* (2015) e Tejada *et al.* (2006).

TABELA 7 - Valores médios de condutividades elétricas ( $\text{dS m}^{-1}$ ) nas amostras de solo da cultura de *Opuntia stricta*, para cada dose de esterco estudada

MO ( $\text{t ha}^{-1}$ )	CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	
45	3,57	A <sup>1</sup>
15	4,60	A <sup>1</sup>
30	5,32	B <sup>1</sup>
0	6,29	B <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott\_Knott( $p \leq 0,05$ )

Os dados apresentados na TABELA 8 são da CE em função dos tratamentos (Matéria Orgânica e Lâminas de água salina) realizados no experimento para o solo da AE de *Opuntia stricta*. Resultados menores de salinidade foram constatados na maior lâmina de água salina 871,3 mm (todos dessa aplicação de água foram classificados com a mesma variância a 95% pelo teste de Scott\_Knott) combinada com a maior dose de matéria orgânica aplicada de  $45 \text{ t ha}^{-1}$ , também no grupo dos menores valores de CE. A lâmina 719,7 mm também foi bastante promissora em diminuir os efeitos da salinidade, entretanto apresentou valor estatisticamente mais alto quando não foi tratada com dose de esterco ( $0 \text{ t ha}^{-1}$ ), reforçando o efeito

benéfico da aplicação de MO no experimento. Solos com condutividade abaixo de 4 dS m<sup>-1</sup> são considerados normais (VIANA *et al.*, 2012; SOARES *et al.*, 2002) e as combinações de tratamentos 871,3 mm com 30 t ha<sup>-1</sup>, 0 mm com 45 t ha<sup>-1</sup>, 871,3 mm com 15 t ha<sup>-1</sup>, 719,7 com 45 t ha<sup>-1</sup>, 871,3 com 45 t ha<sup>-1</sup> e 451,9 com 45 t ha<sup>-1</sup>, foram efetivas em manter a CE abaixo desse valor.

TABELA 8 - Condutividades Elétricas médias para cada tratamento (dose de esterco versus lâmina de água salina) para a cultura *Opuntia stricta*

Lâmina (mm)	MO (t ha <sup>-1</sup> )	CE (dS m <sup>-1</sup> )	
871,3	30	3,23	A <sup>1</sup>
0	45	3,26	A <sup>1</sup>
871,3	15	3,45	A <sup>1</sup>
719,7	45	3,49	A <sup>1</sup>
871,3	45	3,53	A <sup>1</sup>
451,9	45	3,76	A <sup>1</sup>
719,7	15	4,28	A <sup>1</sup>
719,7	30	4,34	A <sup>1</sup>
451,9	15	4,68	A <sup>1</sup>
871,3	0	5,05	A <sup>1</sup>
451,9	0	6,33	B <sup>1</sup>
0	15	6,64	B <sup>1</sup>
451,9	30	6,68	B <sup>1</sup>
719,7	0	6,79	B <sup>1</sup>
0	30	7,9	B <sup>1</sup>
0	0	8,46	B <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott\_Knott( $p \leq 0,05$ )

Em virtude da adição de sais carregados com metais alcalinos e alcalino terrosos, um dos efeitos da adição de água salina ao solo é sua elevação do pH (YUAN *et al.*, 2007), fato que foi observado em lâminas com aportes aquosos maiores. No presente estudo fica mais evidente elevações de pH nas maiores lâminas, especialmente por haver um maior aporte hídrico salino comparado às outras lâminas. Dos cinco maiores valores médios de pH (TABELA 9: 7,56; 7,45; 7,43; 7,28 e 7,27), quatro se referem à lâmina de 871,3 mm, cujo motivo devem ser

os sais de metais alcalinos e alcalino-terrosos na água utilizada na irrigação. A aplicação de maiores doses de esterco também colaborou para o aumento do pH, pois três das quatro médias de pH apresentadas estão no grupo dos maiores valores (TABELA 9). Pela comparação dos dados com o QUADRO 3, apenas os tratamentos com pH 7,56 (871,3 mm e 0 t ha<sup>-1</sup>); 7,45 (871,3 mm e 30 t ha<sup>-1</sup>) e 7,43 (719,7 mm e 45 t ha<sup>-1</sup>) podem ser considerados de ambiente degradado. Porém, entre estes tratamentos, todos permaneceram em valores de CE estatisticamente iguais ( $p \leq 0,05$ ), inclusive o tratamento 871,3 mm e 0 t ha<sup>-1</sup>, o qual foi maior do que 4 dS m<sup>-1</sup> (5,05 dS m<sup>-1</sup>).

TABELA 9 - Valores médios de pH determinados nas amostras de solo da cultura de *Opuntia stricta*, para cada tratamento empregado

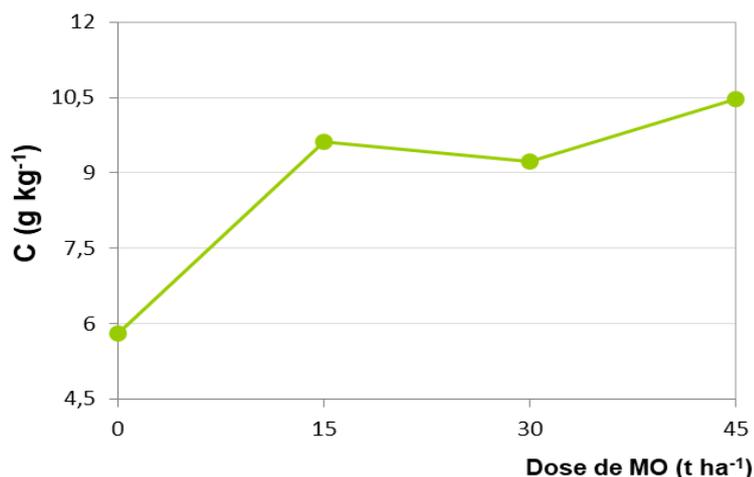
Lâmina (mm)	MO (t ha <sup>-1</sup> )	pH	
0	0	6,10	A <sup>1</sup>
0	30	6,66	B <sup>1</sup>
0	45	6,79	B <sup>1</sup>
451,9	30	6,80	B <sup>1</sup>
451,9	0	6,83	B <sup>1</sup>
0	15	6,87	B <sup>1</sup>
451,9	15	6,90	B <sup>1</sup>
719,7	30	6,91	B <sup>1</sup>
719,7	0	7,00	B <sup>1</sup>
719,7	15	7,05	C <sup>1</sup>
451,9	45	7,25	C <sup>1</sup>
871,3	45	7,27	C <sup>1</sup>
871,3	15	7,28	C <sup>1</sup>
719,7	45	7,43	C <sup>1</sup>
871,3	30	7,45	C <sup>1</sup>
871,3	0	7,56	C <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott\_Knott ( $p \leq 0,05$ )

Para os nutrientes carbono e nitrogênio, não houve efeito de lâminas, entretanto as análises químicas mostraram que a aplicação das doses de esterco caprino nas doses 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>, tiveram diferença significativa a 95% para a

parcela sem tratamento com a matéria orgânica ou dose 0 t ha<sup>-1</sup>. A média de carbono no solo sem tratamento foi de 5,80 g kg<sup>-1</sup> e, nas parcelas tratadas, as concentrações médias obtidas foram de 9,62; 9,22 e 10,47 g kg<sup>-1</sup> para os respectivos tratamentos de 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>. Os valores podem ser visualizados na FIGURA 12 e elevação das concentrações de carbono orgânico no solo indicam a recuperação da fertilidade (VEZZANI; MIELCNIZUK, 2009).

FIGURA 10 - Concentração média de carbono (g kg<sup>-1</sup>) nas amostras de solo da AE de *Opuntia stricta*, após aplicação das diferentes doses de esterco caprino curtido



Quanto ao fósforo, a análise do esterco revelou teores de fosfato acima de 100 mg dm<sup>-3</sup>, fato que aumentou os teores de ânions fosfato na AE, conforme TABELA 10. Estudo realizado formando substrato com esterco caprino (ARAÚJO et al., 2010), encontrou valores de fósforo acima de 150 mg dm<sup>-3</sup>. Assim, as doses de MO aplicadas à AE disponibilizaram o nutriente para o solo, aumentando estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) a concentração que inicialmente era de 3,85 mg dm<sup>-3</sup> (TABELA 10) em todos os tratamentos com MO. Apenas não ocorreu elevação do fósforo disponível nas lâminas sem aplicação de esterco.

TABELA 10 - Valores médios de fósforo disponível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) determinados nas amostras de solo da cultura de *Opuntia stricta*, para cada tratamento empregado

Lâmina (mm)	MO ( $\text{t ha}^{-1}$ )	P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	
871,3	0	4,27	A <sup>1</sup>
719,7	0	4,35	A <sup>1</sup>
451,9	0	4,80	A <sup>1</sup>
451,9	15	10,24	B <sup>1</sup>
0	15	11,67	B <sup>1</sup>
719,7	15	12,58	B <sup>1</sup>
871,3	45	14,22	B <sup>1</sup>
0	0	14,30	B <sup>1</sup>
719,7	30	14,46	B <sup>1</sup>
871,3	15	14,64	B <sup>1</sup>
719,7	45	15,49	B <sup>1</sup>
451,9	30	18,31	C <sup>1</sup>
0	30	20,40	C <sup>1</sup>
0	45	24,92	C <sup>1</sup>
871,3	30	28,74	D <sup>1</sup>
451,9	45	34,03	D <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott\_Knott ( $p \leq 0,05$ )

A concentração do cátion trocável potássio ( $\text{K}^+$ ) foi maior onde não foi realizada irrigação com água bioessalina combinada com aplicação de doses de matéria orgânica de 15, 30 e 45  $\text{t ha}^{-1}$  (TABELA 11), o que indica que a condição de não irrigação não foi suficiente para realizar o processo de lixiviação do analito, pois o regime de chuva na região foi inferior à média registrada nos últimos anos. Apesar disso, apenas nos tratamentos 0 mm com 30  $\text{t ha}^{-1}$  e 0 mm com 45  $\text{t ha}^{-1}$  os valores de potássio foram maiores do que na caracterização inicial do solo ( $0,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). Assim, não houve elevação na concentração de potássio em quase todos os tratamentos. Além disso, trata-se de um cátion móvel no solo e, quando água é disponibilizada ao solo, ele deve ser um dos primeiros a ser levado às camadas mais profundas do solo (WERLE et al., 2008).

TABELA 11 - Concentrações média de K ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) nas amostras de solo da cultura de *Opuntia stricta*, para cada tratamento empregado

Lâmina (mm)	MO ( $\text{t ha}^{-1}$ )	K <sup>+</sup> ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	
451,9	0	0,14	A <sup>1</sup>
719,7	0	0,15	A <sup>1</sup>
871,3	0	0,16	A <sup>1</sup>
719,7	15	0,16	A <sup>1</sup>
871,3	45	0,16	A <sup>1</sup>
719,7	30	0,17	A <sup>1</sup>
871,3	15	0,18	A <sup>1</sup>
0	0	0,18	A <sup>1</sup>
451,9	15	0,19	A <sup>1</sup>
719,7	45	0,23	A <sup>1</sup>
451,9	45	0,23	A <sup>1</sup>
451,9	30	0,27	A <sup>1</sup>
0	15	0,32	B <sup>1</sup>
871,3	30	0,33	B <sup>1</sup>
0	30	0,4	B <sup>1</sup>
0	45	0,53	C <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott\_Knott ( $p \leq 0,05$ )

Das análises químicas realizadas, uma das mais importantes, devido à precaução com a saúde do solo, é a do cátion sódio ( $\text{Na}^+$ ). Os valores da TABELA 12 para as concentrações de sódio mostram que os tratamentos com  $45 \text{ t ha}^{-1}$  de esterco reduziram a presença deste cátion no meio. Apesar de as doses 15 e  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de MO também terem ajudado a diminuir os teores de sódio trocável, apenas na maior dose de esterco as concentrações foram estatisticamente inferiores às demais, independente da lâmina de água. Pode-se inferir que apenas as maiores doses aplicadas de MO conseguiram adsorver irreversivelmente o sódio trocável disponibilizado pela água da irrigação salina.

TABELA 12 - Concentrações média de Na (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) nas amostras de solo da cultura de *Opuntia stricta*, para cada tratamento empregado

Lâmina (mm)	MO (t ha <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
0	45	0,63	A <sup>1</sup>
871,3	45	0,74	A <sup>1</sup>
719,7	45	0,77	A <sup>1</sup>
719,7	30	0,79	A <sup>1</sup>
871,3	0	0,83	A <sup>1</sup>
871,3	15	0,85	A <sup>1</sup>
719,7	15	0,88	A <sup>1</sup>
451,9	45	1,01	A <sup>1</sup>
871,3	30	1,03	A <sup>1</sup>
451,9	15	1,08	A <sup>1</sup>
0	15	1,23	B <sup>1</sup>
0	0	1,27	B <sup>1</sup>
451,9	0	1,32	B <sup>1</sup>
0	30	1,67	B <sup>1</sup>
719,7	0	1,75	B <sup>1</sup>
451,9	30	1,79	B <sup>1</sup>

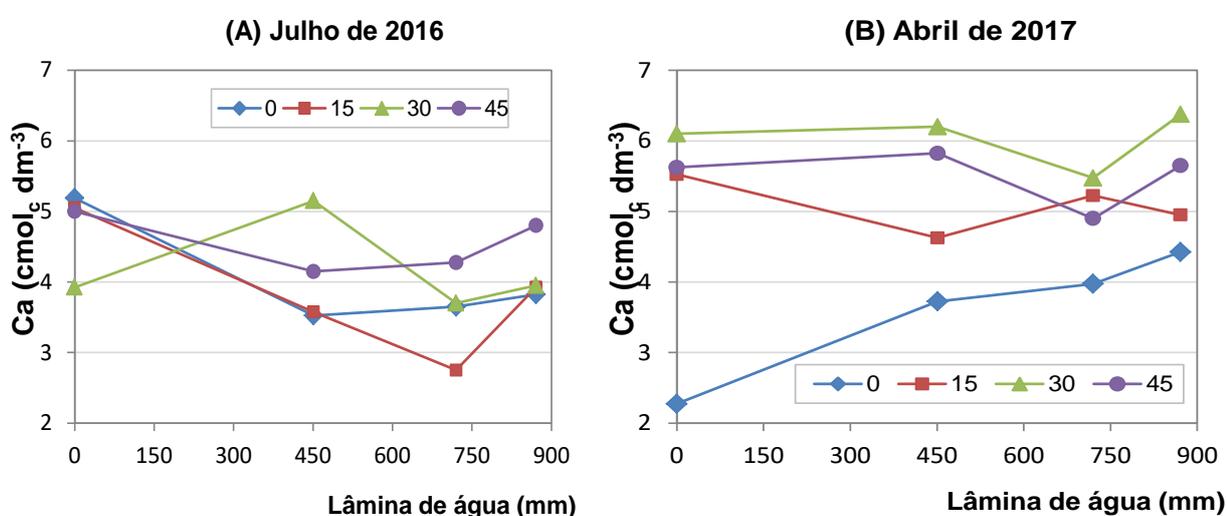
<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott\_Knott( $p \leq 0,05$ )

Teores elevados de sódio no solo causam contaminação do solo, por ser um cátion pequeno e extremamente solúvel em soluções aquosas, formando o cátion Na<sup>+</sup> (CHA-UM; KIRDMANEE, 2011). É um íon tóxico ao ambiente, pois causa estresse em níveis celulares na maior parte das plantas, especialmente nas susceptíveis ou espécies glicófitas (QADIR et al., 2007; CHINNUSAMY et al., 2005). Excesso de cloreto de sódio no solo causa a redução da permeabilidade das raízes, fechamento dos estômatos para reduzir perdas aquosas e consequente redução no crescimento das plantas (FREIRE, 2012).

A melhora da qualidade do solo sódico-salino pode ocorrer pela adição de cálcio disponível (Ca<sup>2+</sup>) ao ambiente, o qual pode substituir o sódio (Na<sup>+</sup>), cuja toxicidade pode ser letal para o crescimento de algumas culturas (KARTHIKEYAN et

al., 2015; LAISHRAM et al., 2012; CHA-UM; KIRDMANEE, 2011; QADIR et al., 2001). Além disso, o  $\text{Na}^+$  possui raio hidratado grande, favorecendo a dispersão das argilas, o entupimento dos poros e a infiltração de água até as raízes das plantas. Já o  $\text{Ca}^{2+}$  possui menor raio iônico hidratado comparado ao sódio, favorecendo a floculação das argilas. Os dados da TABELA 3 indicam que a água salina utilizada na irrigação do experimento continha  $1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{Ca}^{2+}$ , fato que pode contribuir para a substituição dos íons sódio solúveis presentes na solução. A FIGURA 13 compara as concentrações de cálcio em função das doses de MO aplicadas a) no período seco e b) no período chuvoso. Observa-se que nos tratamentos com esterco (MO = 15, 30 e  $45 \text{ t ha}^{-1}$ ) as concentrações de cálcio cresceram de julho de 2016 para abril de 2017, fato que indica que ocorreu reposição de cátions cálcio pela água utilizada na irrigação do experimento, considerando que havia  $1,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de íons cálcio e que boa parte desses íons podem ter substituído os íons sódio presentes no meio, favorecendo a manutenção do bom funcionamento físico do solo. Apenas onde não houve tratamento com esterco (MO =  $0 \text{ t ha}^{-1}$ ) a concentração de cálcio não aumentou (exceto na lâmina 871,3mm), corroborando os fatos discutidos de que houve influência positiva da irrigação nos níveis de cálcio.

FIGURA 11 - Concentrações de Ca ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) nas amostras de solo da AE da cultura de *Opuntia stricta*, para o tratamento com diferentes doses de MO ( $\text{t ha}^{-1}$ ), em função da lâmina de água: (A) Julho de 2016; (B) Abril de 2017



A TABELA 13 resume as concentrações dos principais parâmetros químicos e físico-químicos do solo da AE de *Opuntia stricta* comparando as duas coletas realizadas durante o experimento. As variáveis CE, N, K e Na, apesar da elevação

dos valores de concentração, não apresentam variação em nível de significância de 95% de acordo com a avaliação estatística. Entretanto, pH, C e P apresentaram diferenças significativas, ou seja, seus valores foram elevados. Assim, pode-se dizer que o solo sofreu alcalinização, assim como os teores de carbono, fósforo, nitrogênio, cálcio e magnésio subiram pela aplicação das doses de esterco caprino.

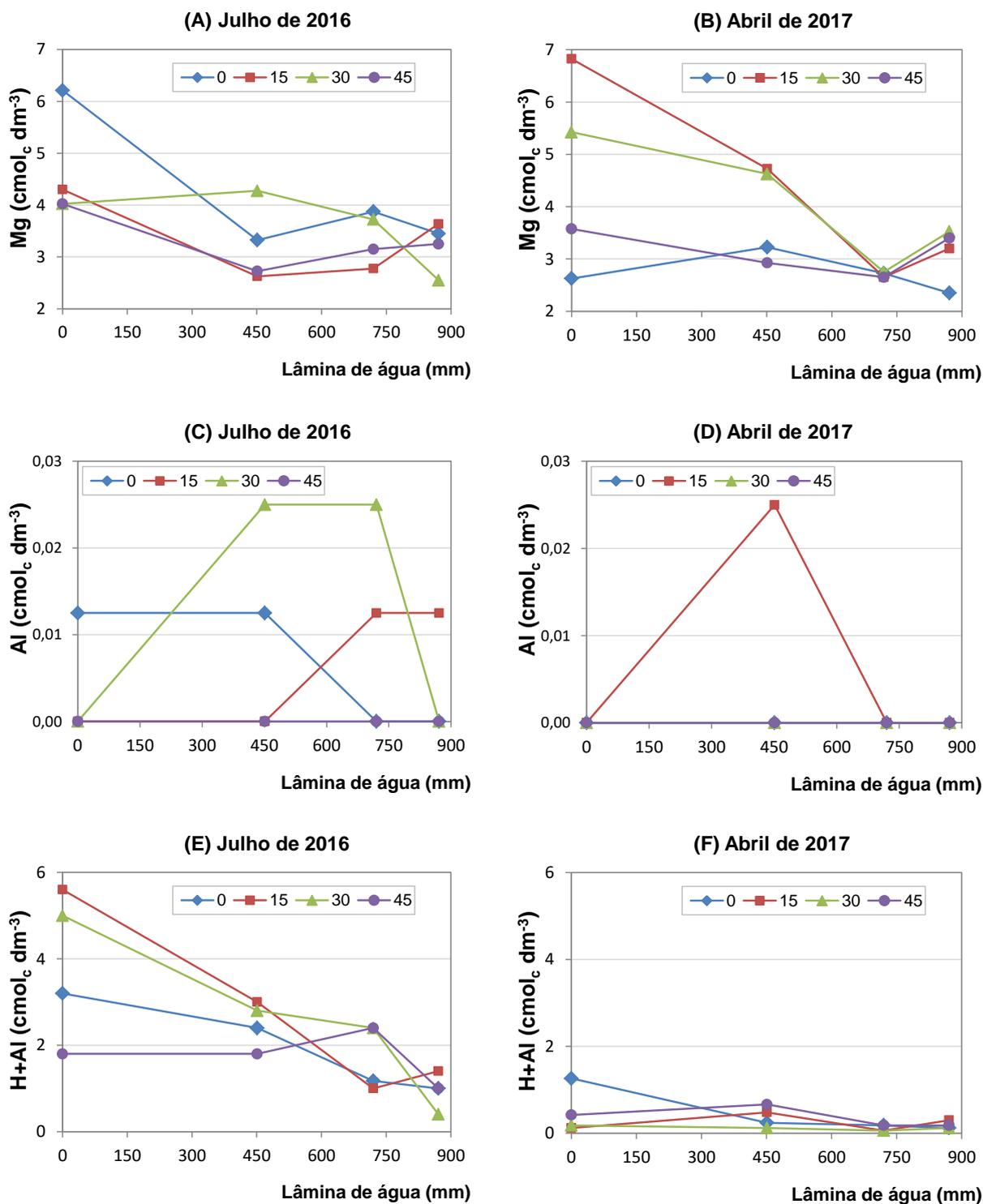
TABELA 13 - Valores médios dos principais parâmetros químicos determinados nas amostras de solo da AE, nos períodos de seca e chuva, para a cultura *Opuntia stricta*

Período	pH	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	C (g.kg <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg.dm <sup>-3</sup> )	K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
Julho 2016	6,79 A	4,54 A	4,71 A	0,48 A	11,66 A	0,23 A	1,05 A
Abril 2017	7,27 B	5,35 A	8,99 B	0,81 B	19,17 B	0,24 A	1,22 A

Letras distintas indicam diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Scott\_Knott

Na FIGURA 14 é possível observar os valores de magnésio, alumínio e acidez potencial para o solo da AE de *Opuntia stricta*. Em todos os tratamentos, ocorreu redução nos valores da acidez potencial devido à elevação do pH. Os teores de magnésio sofreram alteração negativa apenas na lâmina zero, pois esse nutriente é repostado pela água salina da irrigação. Já o Al também sofreu decréscimo nos valores, pois o aumento do pH torna indisponível o alumínio no solo.

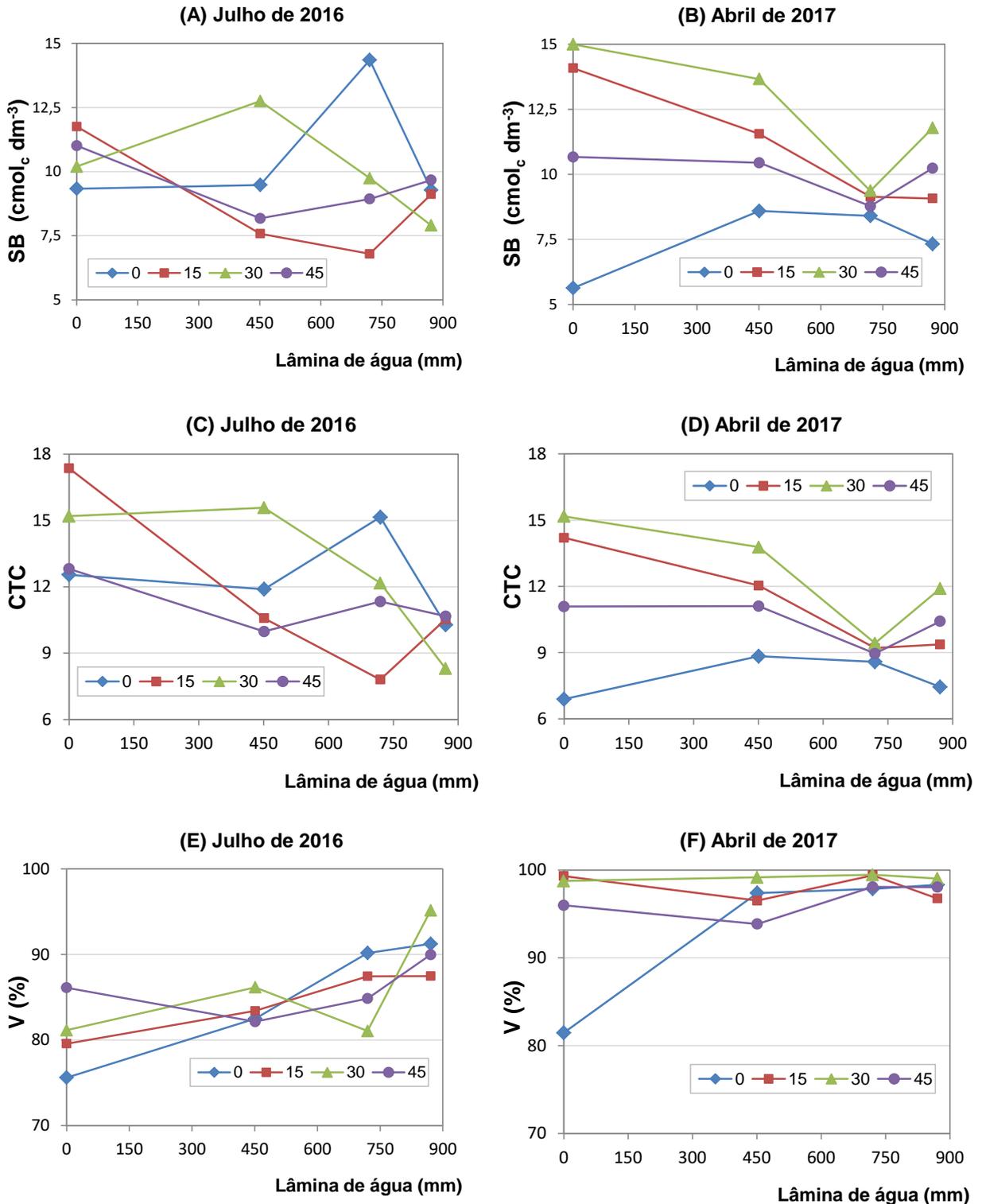
FIGURA 12 - Concentrações de Mg (A, B), Al (C, D) e H+Al (E, F) ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) nas amostras de solo da AE da cultura de *Opuntia stricta*, para o tratamento com diferentes doses de MO ( $\text{t ha}^{-1}$ ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017



A FIGURA 15 traz os valores de soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases para o solo da AE de *Opuntia stricta*. Com o aumento das concentrações das bases trocáveis  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , ocorreu também aumento

na saturação por bases, fato que pode ser interpretado pela elevação do pH do solo. Os valores de SB e CTC ficaram maiores em Abril de 2017 quando houve tratamento com MO (15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>).

FIGURA 13 - Concentrações de SB (A, B), CTC (C, D) e V% (E, F) nas amostras de solo da AE da cultura de *Opuntia stricta*, para o tratamento com diferentes doses de MO (t ha<sup>-1</sup>), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017



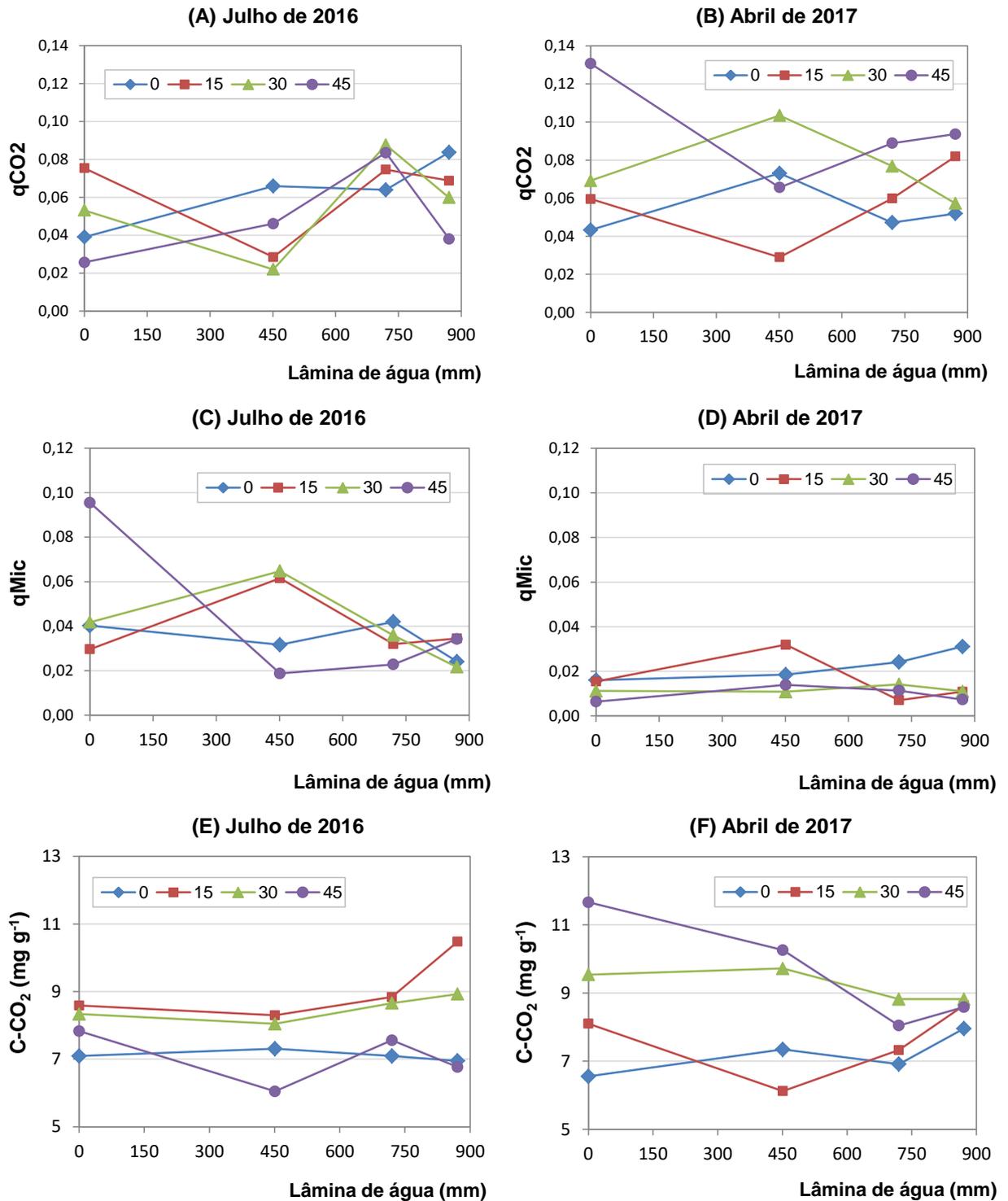
## 6.2 - ATRIBUTOS BIOLÓGICOS *Opuntia stricta*

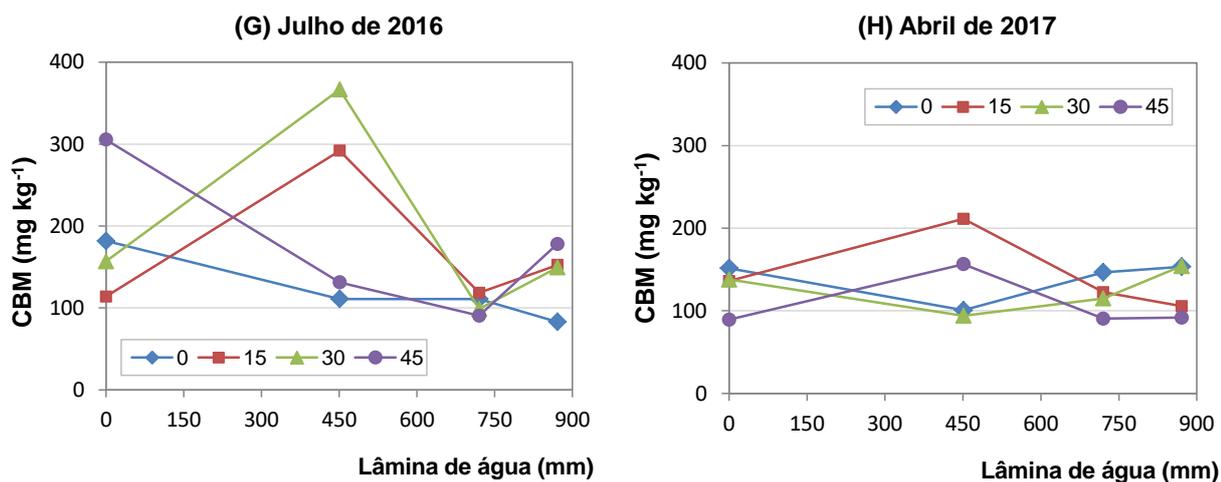
As análises de variância revelaram que a aplicação de matéria orgânica no solo, especialmente as doses de 30 t ha<sup>-1</sup> e 45 t ha<sup>-1</sup> auxiliaram a mitigar os efeitos negativos da aplicação da água salina nos atributos biológicos do solo. A FIGURA 16 mostra (A, B) qCO<sub>2</sub> do solo; (C, D) qMIC do solo; (E, F) Respirometria do solo; (G, H) CBM do solo; todos da AE de *Opuntia stricta* em Julho de 2016 e Abril de 2017. O quociente metabólico e a respiração do solo mantiveram seus valores, mesmos após os diferentes tratamentos a manutenção da atividade microbiana, mesmo na época seca.

Entretanto, os valores de CBM e qMIC foram reduzidos devido ao uso da irrigação com água salina. Possivelmente a ausência de chuva pode ter colaborado com estas reduções e faz-se necessário avaliar novamente o solo após período de chuvas. Assim, deve ser possível constatar a mitigação dos efeitos da salinidade.

A redução dos valores do qMIC também foram influenciados pelos aumentos no carbono total do solo, uma vez que este parâmetro é calculado por meio da razão entre a CBM e o C total do solo, representando a porção viva do C do solo. Estes dados indicam que o CBM pode se manter estável, mesmo com o aporte de água bioossalina e que esta manutenção só foi possível por meio da adição de matéria orgânica, ressaltando o seu papel na manutenção dos atributos biológicos do solo.

FIGURA 14 - Valores de (A, B)  $qCO_2$ ; (C, D)  $qMIC$ ; (E, F) Respirimetria; (G, H) CBM, nas amostras de solo da AE da cultura de *Opuntia stricta*, para o tratamento com diferentes doses de MO ( $t\ ha^{-1}$ ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017





Aumentos da CE causam redução do CBM (YAN et al., 2015; YUAN et al., 2007). Como o aumento das taxas de salinidade foram mitigados, houve menor redução nos valores do CBM do que sem tratamento com MO. A TABELA 14 traz os valores dos atributos microbiológicos para o solo da AE de *Opuntia stricta* tratados com diferentes doses de MO. Nas doses maiores aplicadas (MO = 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>, TABELA 14), houve aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) nas doses de matéria orgânica, o que culminou em níveis de respiração basal do solo maiores em relação ao solo sem tratamento com esterco (MO=0 t ha<sup>-1</sup>). Os teores aplicados de MO ao solo contribuíram para minimizar os efeitos nocivos da salinidade à microbiologia do solo.

TABELA 14 - Valores médios dos atributos biológicos das amostras de solo da AE de *Opuntia stricta* após as coletas dos períodos seco e chuvoso

MO (t ha <sup>-1</sup> )	C (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	C-CO <sub>2</sub> (μg g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	CBM (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	qCO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	qMic <sup>1</sup>
0	5,79 A	7,15 A	129,80 A	0,15 A	0,03 A
15	10,25 B	8,30 A	156,49 A	0,12 A	0,03 A
30	9,65 B	8,86 A	159,04 A	0,12 A	0,03 A
45	10,67 B	8,35 A	141,63 A	0,15 A	0,03 A

<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Scott\_Knott

### 6.3 - ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICO-QUÍMICOS *Gliricidia sepium*

O comportamento dos atributos químicos e físico-químicos do solo da AE de *Gliricidia sepium* apresentaram diferenças em relação ao solo da AE de *Opuntia*

*stricta*. Deve-se considerar as distintas características entre as plantas, tanto na morfologia, quanto nos mecanismos de interação com o solo.

A TABELA 15 fornece os dados químicos e físico-químicos do solo da AE de *Gliricidia sepium* em função das lâminas de irrigação utilizadas no experimento. Para esta cultura, diferentemente do solo da AE de *Opuntia stricta*, não houve elevação da CE nos tratamentos sem irrigação, mostrando que o fato de a *Gliricidia sepium* ser uma planta arbórea, há menor ETo no solo devido ao sombreamento realizado pelas folhas da árvore e, conseqüentemente, menor acúmulo de sais onde não há irrigação. Todavia, nas lâminas irrigadas houve aumento das CE e, portanto, o mecanismo de redução da salinidade que ocorreu no solo da AE da *Opuntia stricta* não foi semelhante ao que ocorreu no solo da área de *Gliricidia sepium*.

O pH sofreu elevação nas duas maiores lâminas de água salina, sendo 6,82 na lâmina 871,3 mm e 6,79 na 719,7 mm. Como a água utilizada na irrigação do experimento apresenta condutividade elétrica média de 3,82 dS m<sup>-1</sup>, considerada alta para a irrigação, ela carrega íons com metais alcalinos e alcalino terrosos que, ao penetrar no solo, interagem com as frações argila do solo, alcalinizando-o e modificando sua estrutura (BORTOLUZZI et al., 2008). Apesar disso, a elevação de pH não foi suficiente para que o solo seja considerado alcalino, de acordo com o QUADRO 3, onde o solo degradado possui pH acima de 7,4.

Corroborando os dados sobre a CE versus lâmina de irrigação está o sódio, que é um grande responsável pela elevação da salinidade do solo que se reflete em maiores condutividades elétricas. Sem lâmina (L=0 mm) de irrigação a concentração desse íon foi menor (0,71 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), enquanto todos os tratamentos com lâminas de água aumentaram a disponibilidade de sódio no solo da AE de *Gliricidia sepium*.

Ainda na TABELA 15, observa-se aumento dos teores de cálcio devido à irrigação com lâminas maiores (L=719,7mm e L=871,3mm), o que pode auxiliar na remoção dos íons sódio como forma de remediar o solo. Observa-se também diminuição dos teores de potássio com o aumento da lâmina de água, acidez potencial maior e magnésio menor no tratamento sem irrigação (L=0mm), enquanto a CTC permanece no mesmo intervalo de confiança. Sódio e potássio são os elementos mais móveis no solo e, por isso, o aumento da lâmina de água é menor, pois ele está sendo levado para as camadas mais profundas do solo. A CTC

permanece a mesma pois, mesmo adicionando água rica em elementos, ela não é capaz de alterar a quantidade de cargas no solo (WERLE et al., 2008). Contudo, a MO pode alterar a CTC.

A TABELA 16 mostra os atributos químicos e físico-químicos do solo da AE de *Gliricidia sepium* em função das doses de MO utilizadas no experimento. Os tratamentos com MO mantiveram valores de CE menores do que nas parcelas de solo sem aplicação de esterco. Já os pHs foram maiores em doses mais elevadas de esterco, o que se deve à capacidade da MO agir como adsorvente e os cátions disponíveis no meio serem metais alcalinos como o sódio e o potássio e alcalino terrosos, como o cálcio e o magnésio. Assim, eleva-se o pH do meio. Porém, essa elevação média ainda não é suficiente para classificar o solo como alcalino.

Os atributos C, N e P possuem comportamento semelhante, sem diferenças estatísticas entre eles, fator esperado, pois o solo da AE foi classificado inicialmente como pobre nesses elementos (QUADRO 3) com  $5,2 \text{ g kg}^{-1}$  de C;  $0,43 \text{ g kg}^{-1}$  de N e  $2,97 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo disponível. A aplicação de esterco disponibilizou esses elementos para o solo. Nas parcelas do experimento com aplicação de  $0 \text{ t ha}^{-1}$  de MO, os valores médios obtidos foram  $5,17 \text{ g kg}^{-1}$  de C;  $0,50 \text{ g kg}^{-1}$  de N e  $5,17 \text{ mg dm}^{-3}$  dados estatisticamente equivalentes aos da caracterização inicial do solo. A elevação dos níveis desses elementos deveu-se à aplicação das doses de matéria orgânica.

O potássio, apesar de ser um cátion alcalino que pode favorecer a alcalinização do solo, está presente no esterco e também foi estatisticamente maior nas parcelas com maiores doses de esterco caprino. A média de  $0,85 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{K}^+$  foi observada nas parcelas com aplicação de  $45 \text{ t ha}^{-1}$  de MO. Como consequência, a SB foi estatisticamente superior quando comparada às menores doses de esterco.

O íon  $\text{Ca}^{2+}$  também teve seu valor elevado nas parcelas com esterco, enquanto o  $\text{Mg}^{2+}$  manteve seu valor praticamente constante nas parcelas com aplicação de esterco e de lâminas de água. Estudo de Lima et al. (2018), apontam redução nos teores de cálcio e potássio com o aumento da salinidade na produção hidropônica de pimentão. Isso indica que o esterco aplicado foi capaz de repor o nutriente ao solo.

A acidez potencial foi maior em lâmina 0 e MO = 0 t ha<sup>-1</sup>, pois quanto mais sais alcalinos há no solo, maior é o pH e, conseqüentemente, a acidez potencial é reduzida a 0 em pH = 7,0. Ou seja, valores menores de pH favorecem a elevação da acidez potencial do solo. Isso também fez com que na ausência de irrigação e de aplicação de MO a saturação por bases (V%) ficasse menor em relação aos outros tratamentos.

Os teores de alumínio também são alterados quando há aumento de pH, pois só há alumínio disponível em pH < 5,6. Assim, após os tratamentos com MO e aplicação das lâminas salinas, os valores de alumínio ficaram próximos a zero.

TABELA 15 - Atributos químicos e físico-químicos do solo da AE de *Gliricidia sepium* em função das lâminas de irrigação utilizadas no experimento

L	CE	pH	C	N	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
(mm)	(dS m <sup>-1</sup> )		(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )						%		
0	3,04 A	6,39 A	8,21 A	0,74 A	19,33 A	0,72 B	0,71 A	2,56 A	2,20 A	0,01 A	3,33 B	6,20 A	9,53 A	71,67 A
451,9	5,92 B	6,40 A	7,93 A	0,72 A	15,21 A	0,49 A	1,34 B	2,77 A	2,55 B	0,04 B	2,20 A	7,15 B	9,36 A	79,96 B
719,7	6,13 B	6,79 B	7,32 A	0,70 A	17,14 A	0,47 A	1,55 C	2,92 B	2,70 B	0,01 A	1,71 A	7,64 C	9,35 A	85,05 B
871,3	5,30 B	6,82 B	9,18 A	0,79 A	22,15 A	0,38 A	1,29 B	2,96 B	2,51 B	0,02 A	1,73 A	7,14 B	8,87 A	83,64 B

Letras distintas indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ )

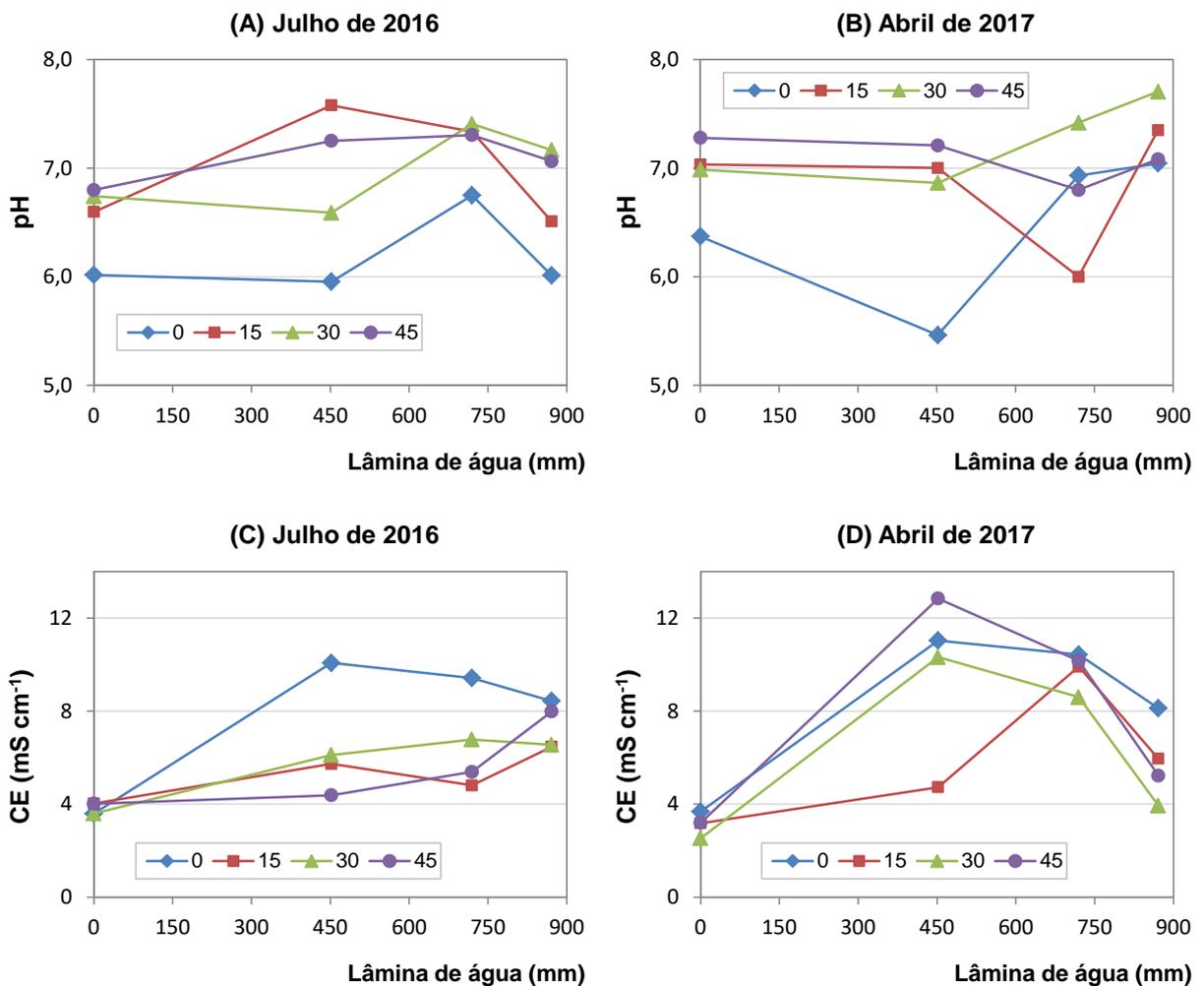
TABELA 16 - Atributos químicos e físico-químicos do solo da AE de *Gliricidia sepium* em função das doses de MO utilizadas no experimento

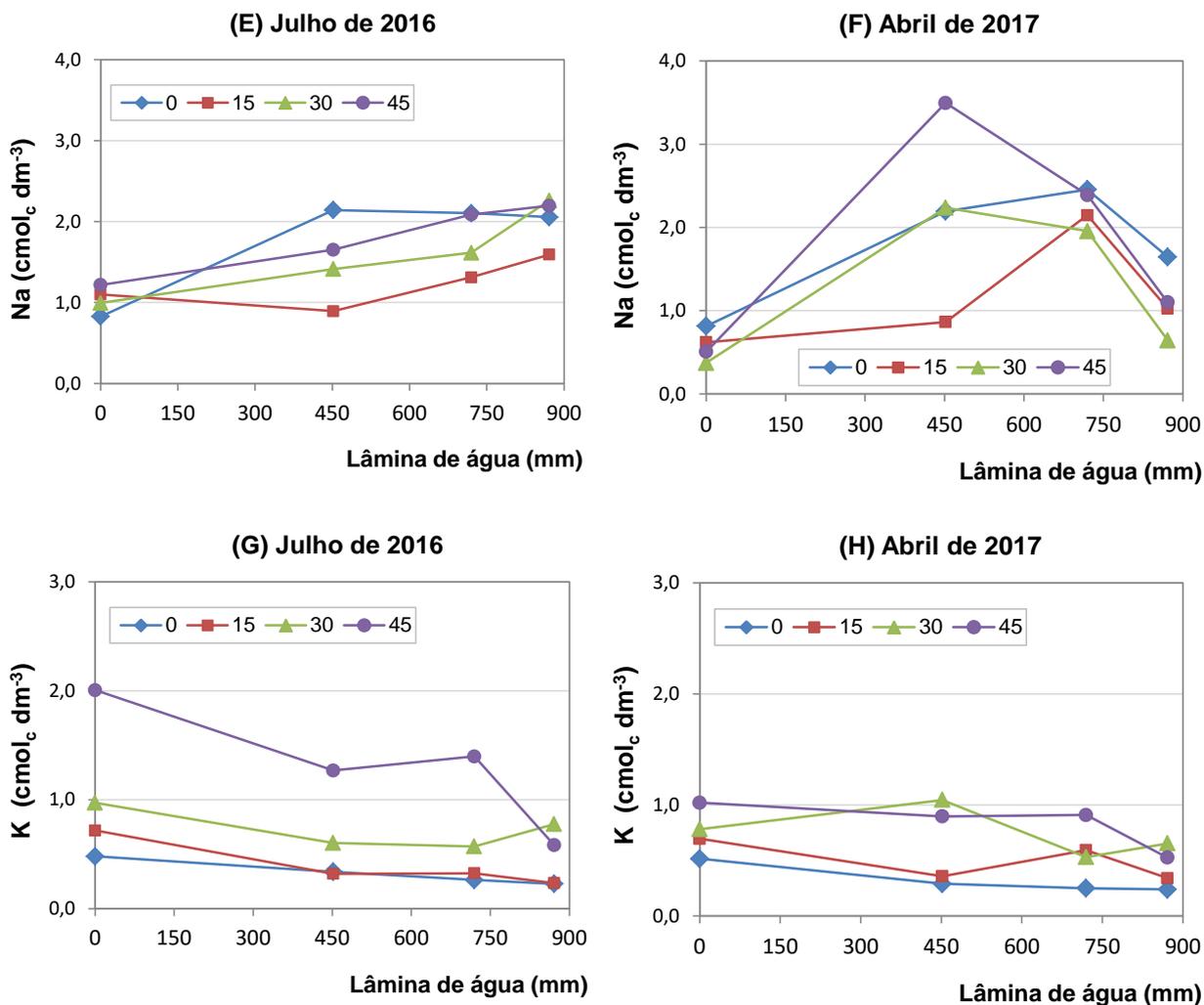
MO	CE	pH	C	N	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
(t ha <sup>-1</sup> )	(dS m <sup>-1</sup> )		(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )						%		
0	6,32 A	6,09 A	5,17 A	0,50 A	4,90 A	0,28 A	1,46 B	2,26 A	2,33 A	0,05 B	3,04 B	6,34 A	9,39 A	72,45 A
15	4,82 B	6,57 B	6,61 A	0,62 A	11,19 A	0,36 A	1,13 A	2,75 B	2,59 B	0,01 A	2,00 A	6,82 A	8,83 A	80,72 B
30	5,40 B	6,88 C	9,03 B	0,82 B	21,42 B	0,55 B	1,23 A	3,15 C	2,63 B	0,01 A	1,50 A	7,55 B	9,05 A	85,28 B
45	5,55 B	6,85 C	12,2 C	1,03 C	36,50 C	0,85 C	1,49 B	3,42 C	2,62 B	0 A	2,24 A	8,38 C	10,62 B	83,25 B

Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott\_Knott ( $p \leq 0,05$ )

A FIGURA 17 compara os resultados do pH, CE, Na e K em função dos tratamento de lâmina *versus* matéria orgânica nos diferentes períodos de coleta: Julho de 2016 e Abril de 2017. Observa-se que a CE média está acima de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  em todos os tratamentos com doses de esterco e aplicações de lâminas de água. O tratamento sem matéria orgânica manteve o mesmo comportamento gráfico nas duas coletas, enquanto a CE mais alterada foi da lâmina  $45 \text{ t ha}^{-1}$ , chegando a valores acima de  $12 \text{ dS m}^{-1}$  na lâmina  $451,7 \text{ mm}$ , em Abril de 2017.

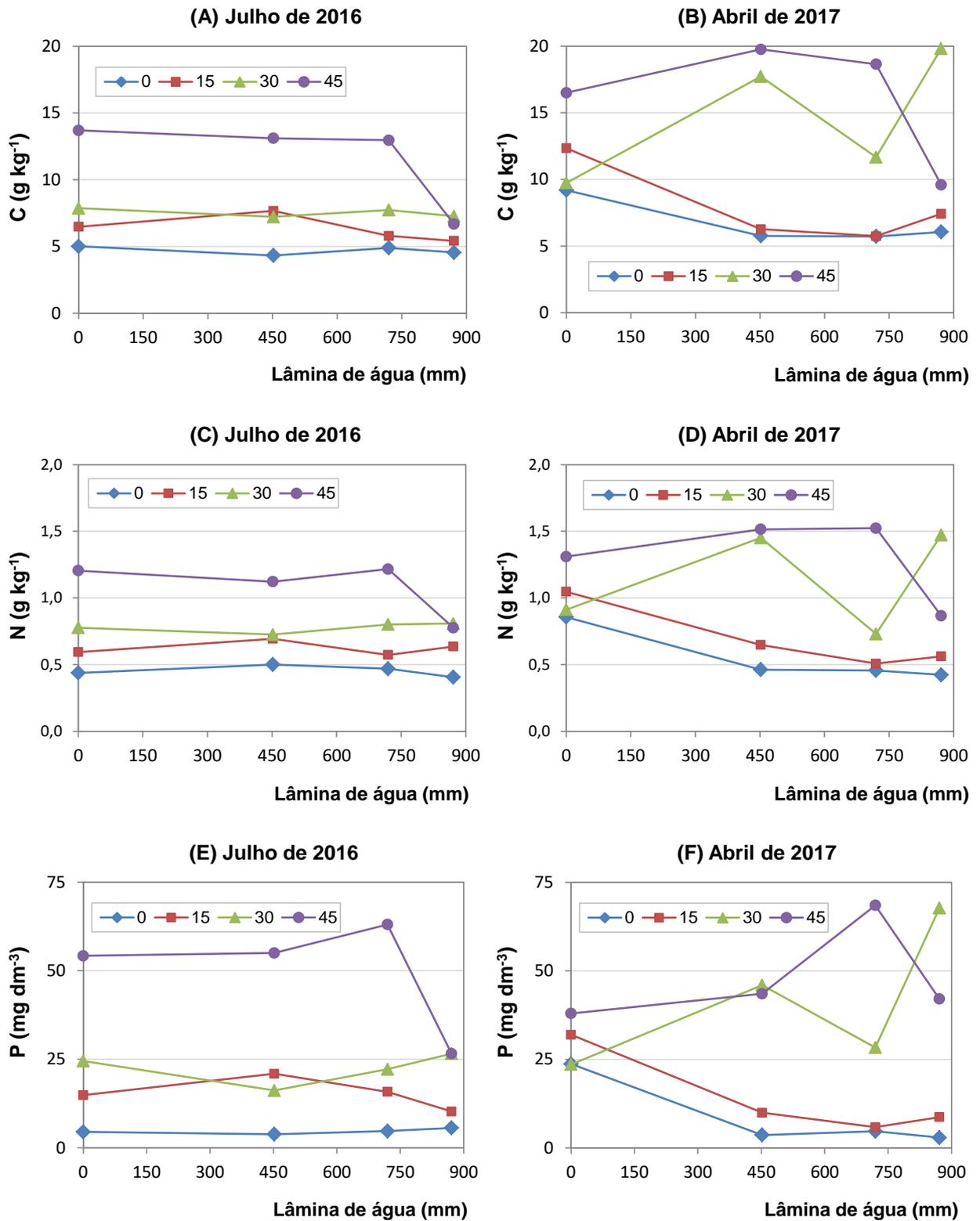
FIGURA 15- Atributos pH (A, B), CE (C, D), Na (E, F) e K (G, H) nas amostras de solo da AE da cultura de *Gliricidia sepium*, para o tratamento com diferentes doses de MO ( $\text{t ha}^{-1}$ ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017





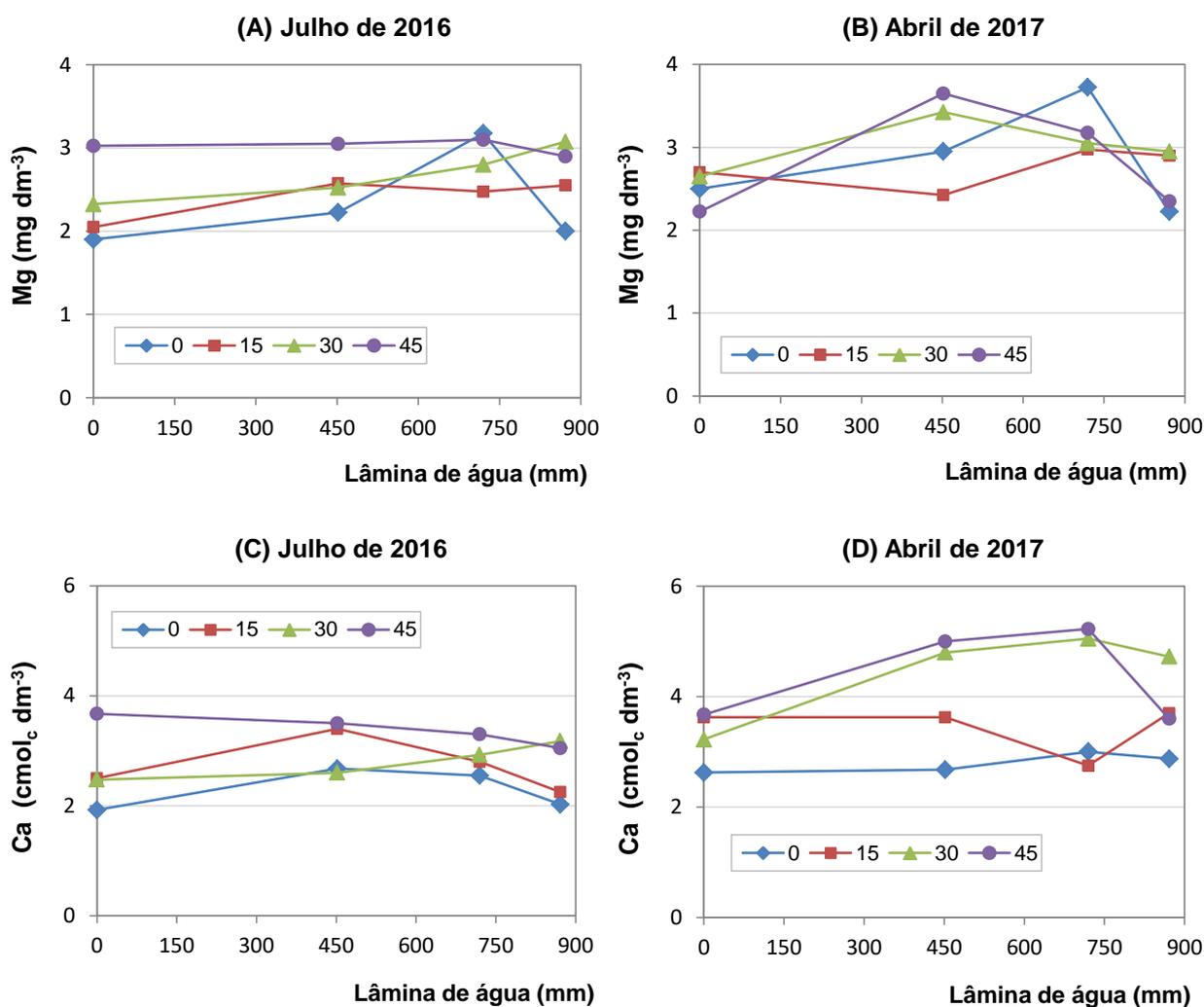
Os atributos C (A, B), N (C, D) e P (E, F) nas amostras de solo da AE da cultura de *Gliricidia sepium*, para o tratamento com diferentes doses de MO ( $\text{t ha}^{-1}$ ), em função da lâmina d'água em Julho de 2016 e Abril de 2017 são apresentados na FIGURA 18. O comportamento gráfico para esses atributos é bastante semelhante, pois a MO utilizada no tratamento tem altas concentrações destes nutrientes. Os tratamentos 30 e 45  $\text{t ha}^{-1}$  apresentaram as maiores médias, o que foi acentuado em Abril de 2017.

FIGURA 16 - Atributos C (A, B), N (C, D), P (E, F) nas amostras de solo da AE da cultura de *Gliricidia sepium*, para o tratamento com diferentes doses de MO ( $t\ ha^{-1}$ ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017.



A FIGURA 19 apresenta os atributos  $Mg^{2+}$  (A, B) e  $Ca^{2+}$  (C, D) nas amostras de solo da AE da cultura de *Gliricidia sepium*, para o tratamento com diferentes doses de MO ( $t\ ha^{-1}$ ), em função da lâmina d'água em Julho de 2016 e Abril de 2017. Houve elevação nas concentrações de cálcio de Julho de 2016 para Abril de 2017, contudo essa elevação foi maior no tratamento 45  $t\ ha^{-1}$  e lâmina 719,7 mm. Pela FIGURA 19 (D) observa-se que ocorreu redução da concentração de cálcio no tratamento 45  $t\ ha^{-1}$  e 871,3 mm. Neste mesmo tratamento não houve elevação das concentrações de carbono, o que possivelmente prejudicou a absorção de cálcio pelo solo provindo da irrigação com a água salina.

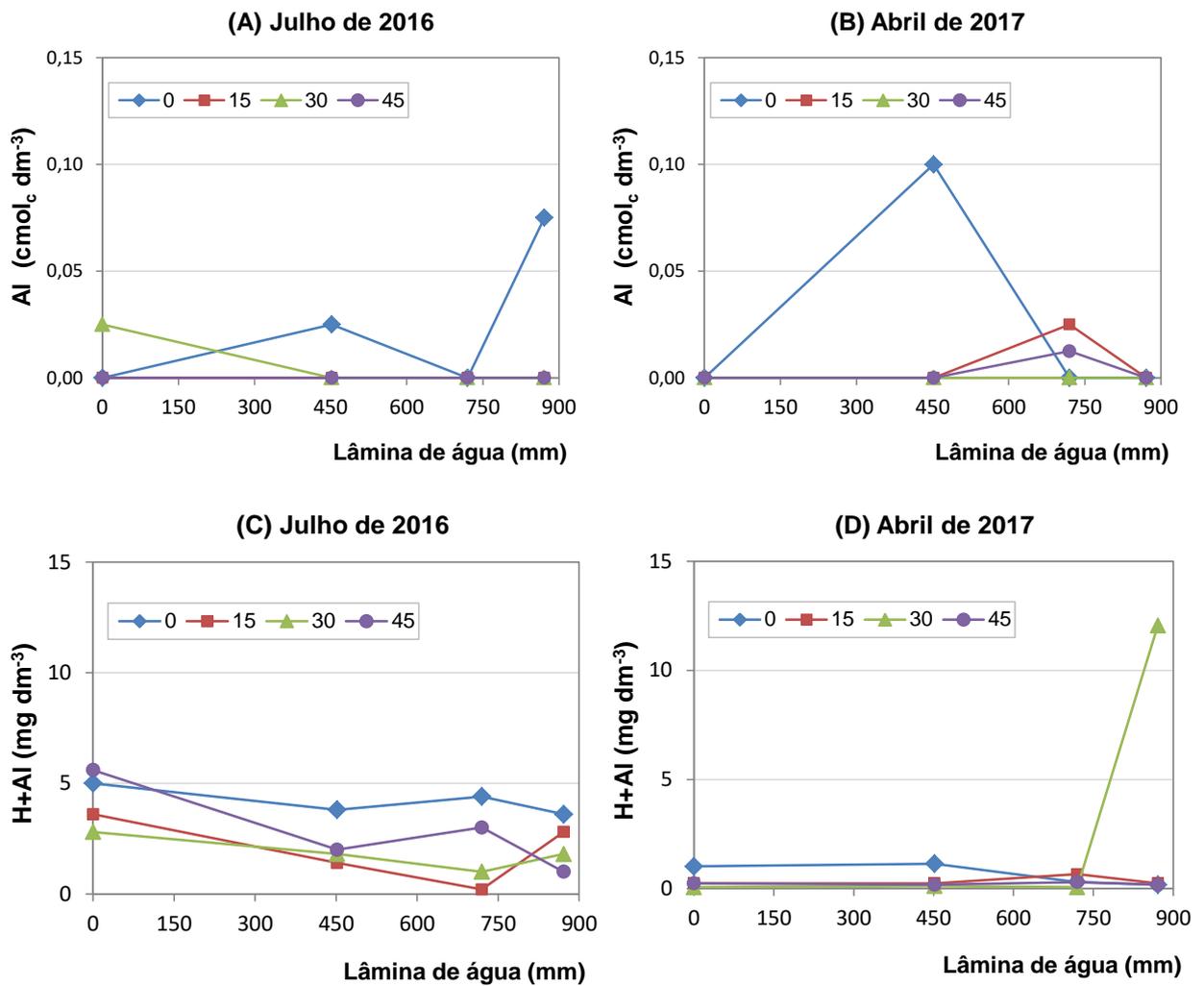
FIGURA 17 - Atributos Mg (A, B) e Ca (C, D) nas amostras de solo da AE da cultura de *Gliricidia sepium*, para o tratamento com diferentes doses de MO ( $t\ ha^{-1}$ ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017

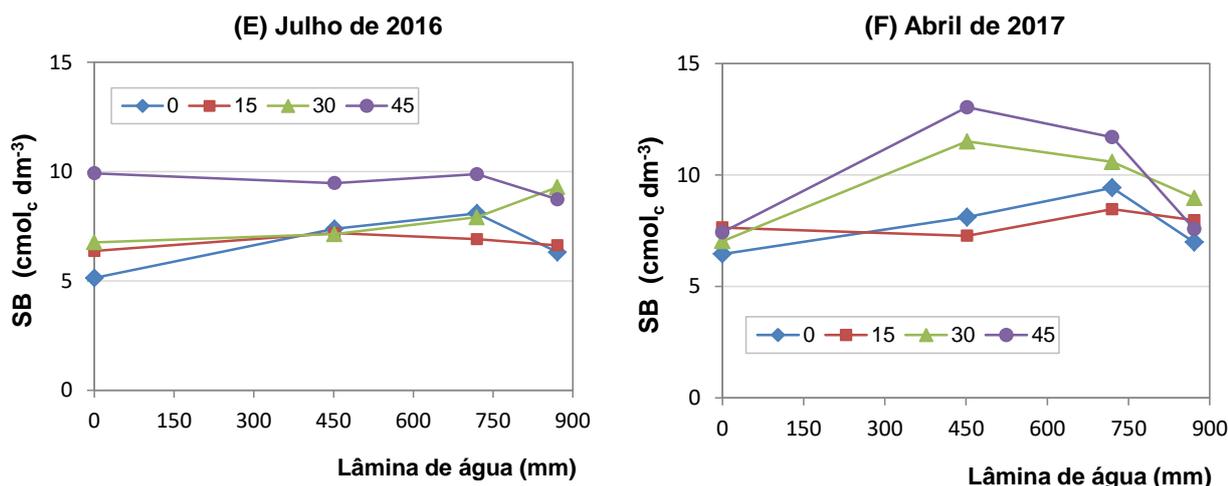


Houve redução na acidez potencial do solo e no alumínio de Julho de 2016 para Abril de 2017 (FIGURA 20 (B) e (D)). Essa característica é acompanhada do aumento da salinidade e do pH no solo, fazendo também com que a SB aumente,

pois há mais cátions alcalinos disponíveis no meio. Todos esses fatores são prejudiciais à fertilidade do solo. Porém, como já dito anteriormente, um ano com regime pluvial regular no semiárido deve responder ao questionamento se as aplicações de doses de MO podem auxiliar na mitigação dos prejuízos à fertilidade do solo da AE de *Gliricidia sepium*.

FIGURA 18 - Atributos AI (A, B) H+AI (C, D) e SB nas amostras de solo da AE da cultura de *Gliricidia sepium*, para o tratamento com diferentes doses de MO ( $t\ ha^{-1}$ ), em função da lâmina de água: Julho de 2016; Abril de 2017





#### 6.4 - ATRIBUTOS BIOLÓGICOS *Gliricidia sepium*

Após tratamento com as doses de MO, ocorreu reposição de carbono orgânico nos tratamentos 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>, enquanto não houve alteração ( $p < 0,05$ ) na comparação entre o não tratamento (0 t ha<sup>-1</sup>) e a dose de 15 t ha<sup>-1</sup> (TABELA 17). As variáveis CBM, qCO<sub>2</sub> e qMIC não sofreram modificações, o que indica que o estresse do solo foi minimizado devido aos tratamentos com doses de MO, apesar da salinidade elevada (ROCHA, 2012; YUAN et al., 2007).

TABELA 17 - Valores médios dos atributos biológicos das amostras de solo da AE de *Gliricidia sepium* após as coletas dos períodos seco e chuvoso

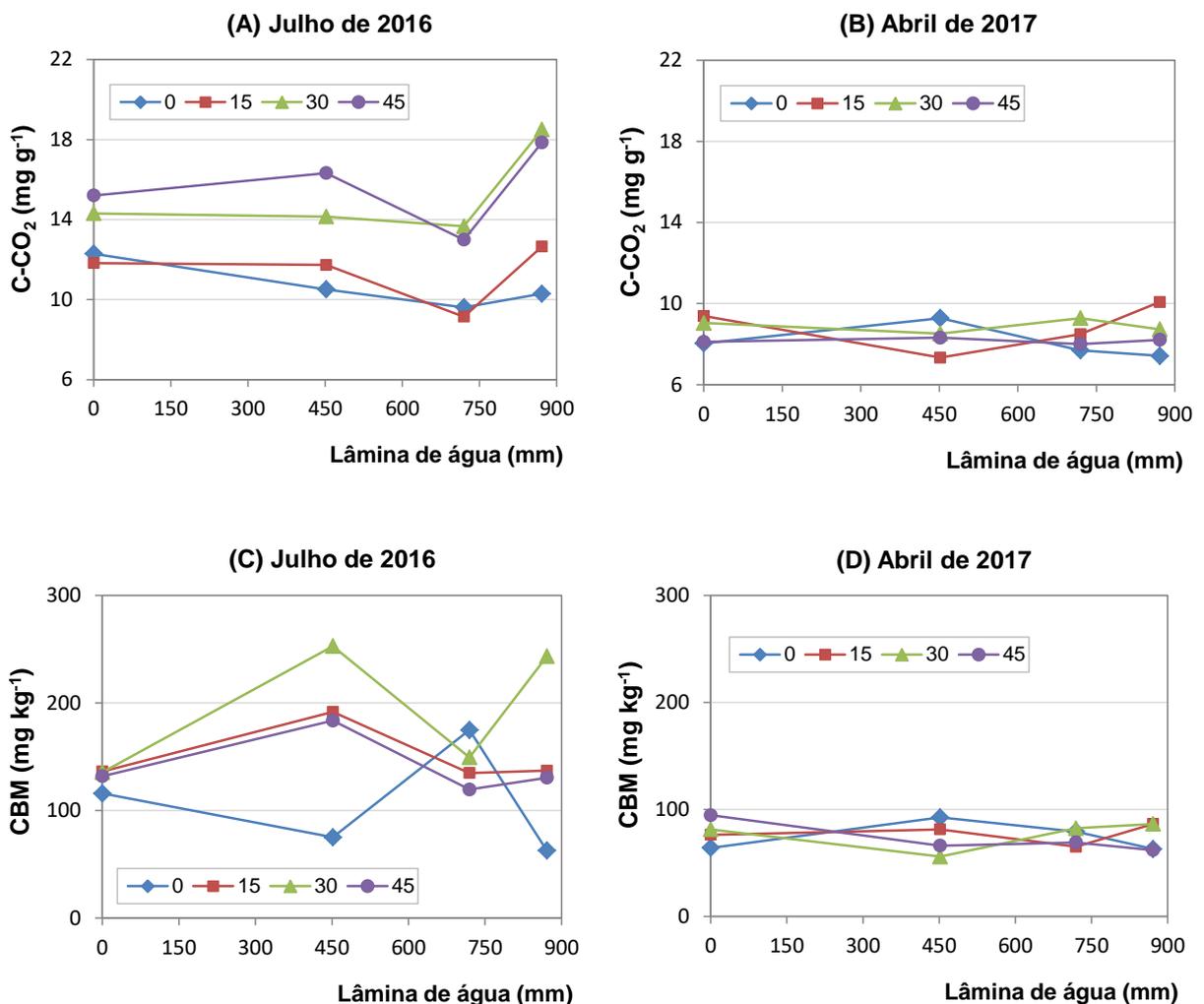
MO (t ha <sup>-1</sup> )	C (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	C-CO <sub>2</sub> (μg g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	CBM (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	qCO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	qMic <sup>1</sup>
0	5,84 A	9,23 A	90 A	0,207 A	0,02 A
15	7,59 A	11,07 B	110 A	0,194 A	0,02 A
30	12,11 B	11,99 B	150 A	0,186 A	0,02 A
45	14,00 B	11,74 B	110 A	0,247 A	0,01 A

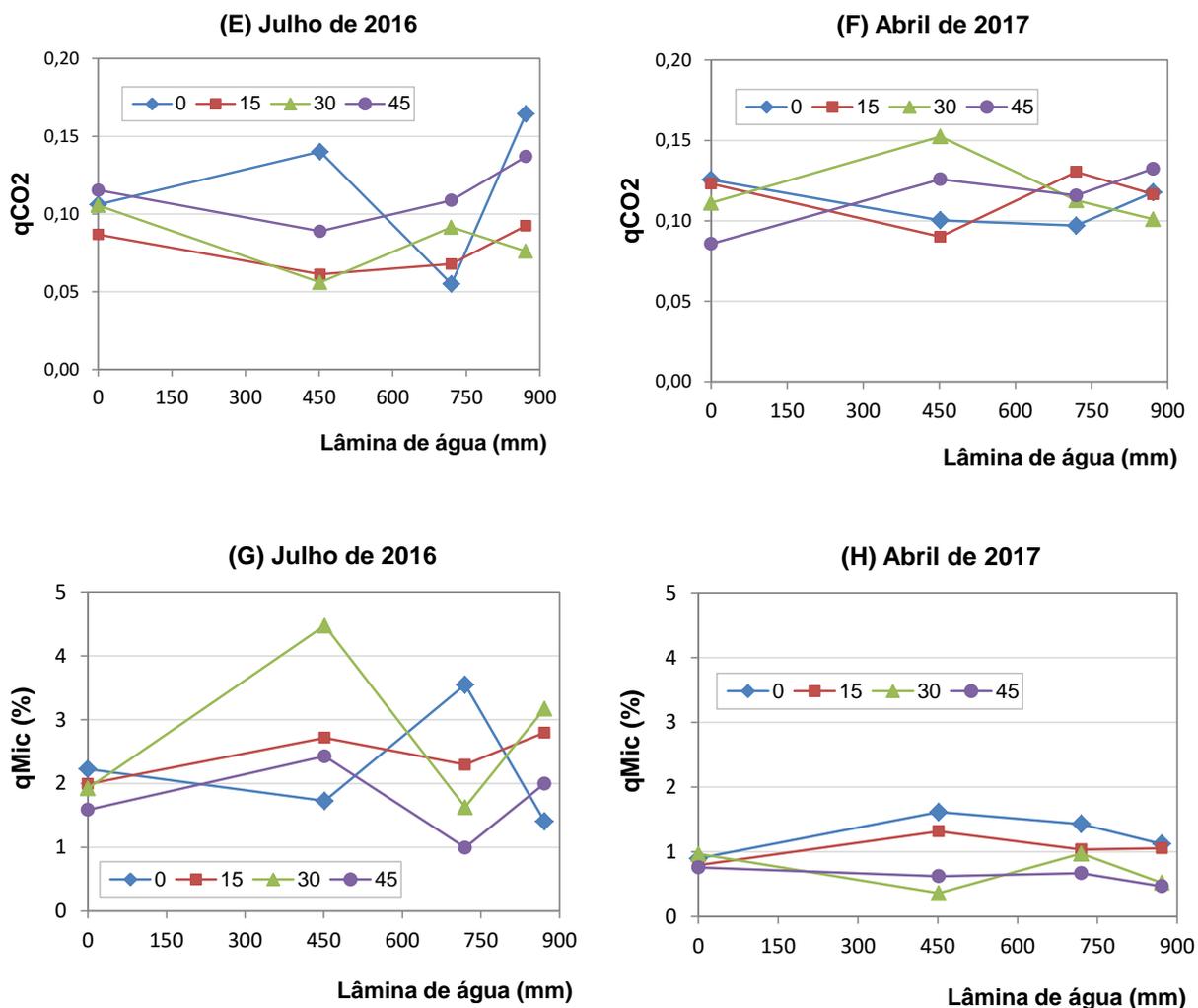
<sup>1</sup>Letras distintas indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

A FIGURA 21 mostra a evolução dos atributos microbiológicos na AE de *Gliricidia sepium* em relação à respirometria (a); CBM (b); qCO<sub>2</sub> (c) e qMic (d). Houve queda dos valores de todos os atributos, mesmo com doses aplicadas de MO. Ao comparar as coletas dos períodos seco e chuvoso, julho de 2016 e abril de 2017, respectivamente, observa-se decréscimo nos atributos microbiológicos do solo da AE de *Gliricidia sepium*, exceto no quociente metabólico. Houve influência da

cultura nos dados obtidos, além dos tratamentos realizados. Entretanto, como não houve chuva suficiente para que a coleta de abril de 2017 fosse classificada como um período chuvoso típico, faz-se necessário estudar os atributos deste solo a longo prazo, para saber se a lavagem com água da chuva seria suficiente para a sua recuperação, mitigação dos danos causados pela salinidade ou se o comportamento seria o mesmo aqui descrito e, conseqüentemente, inviabilizaria a produção da *Gliricidia sepium* nas condições com irrigação e aplicação de doses de matéria orgânica. Estudo de Rodrigues (2017) mostra produção maior da *Gliricidia sepium* com aplicação de lâminas de água salina do que em condição de sequeiro.

FIGURA 19 - Evolução dos atributos microbiológicos na AE de *Gliricidia sepium* em relação à respirometria (A, B); CBM (C, D);  $qCO_2$  (E, F) e  $qMic$  (G, H). Houve queda dos valores de todos os atributos, mesmo com doses aplicadas de MO





## 6.5 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A FIGURA 22 mostra uma ferramenta para a distinção dos componentes estudados. Foram geradas duas Componentes Principais (CP1 e CP2), para os atributos químicos e microbianos do solo da AE de *Gliricidia sepium* e os critérios de classificação foram: a) Coleta período seco (S) e coleta período chuvoso (C); b) Doses de MO 0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>; c) Lâminas de água aplicadas L0=0 mm, L1=451,9 mm; L2=719,7 mm, L3=871,3 mm. A visualização do diagrama mostra que há distinção entre os períodos S e C, apesar de os índices pluviométricos terem sido baixos na época do experimento. Pela distribuição dos componentes, nota-se que o período C possui relação mais próxima aos atributos químicos e físico-químicos e o S aos microbiológicos. Existe forte relação entre a CE e a concentração de Na, enquanto o pH foi influenciado pelos teores de Ca, Mg, C, N, P e qMIC (TABELA 18).

Pelos componentes principais observa-se que a dose 45 t ha<sup>-1</sup> de MO apresentou relação com a CTC, corroborando os dados da literatura de que o aumento da concentração de carbono orgânico aumenta a capacidade de troca catiônica, devido à alta superfície de contato da MO, gerando alta capacidade de adsorver íons (SANTOS et al., 2009; CIOTTA et al., 2003). O componente CP1 foi responsável por 37% da variância e o CP2 20%, totalizando 57% dos componentes analisados, ou seja, a análise dos dois componentes explica 57% da variação dos dados.

FIGURA 20 – Análise dos componentes principais para o solo da AE cultivada com *Gliricidia sepium*, comparando as doses de MO, as lâminas de água e o período de coleta

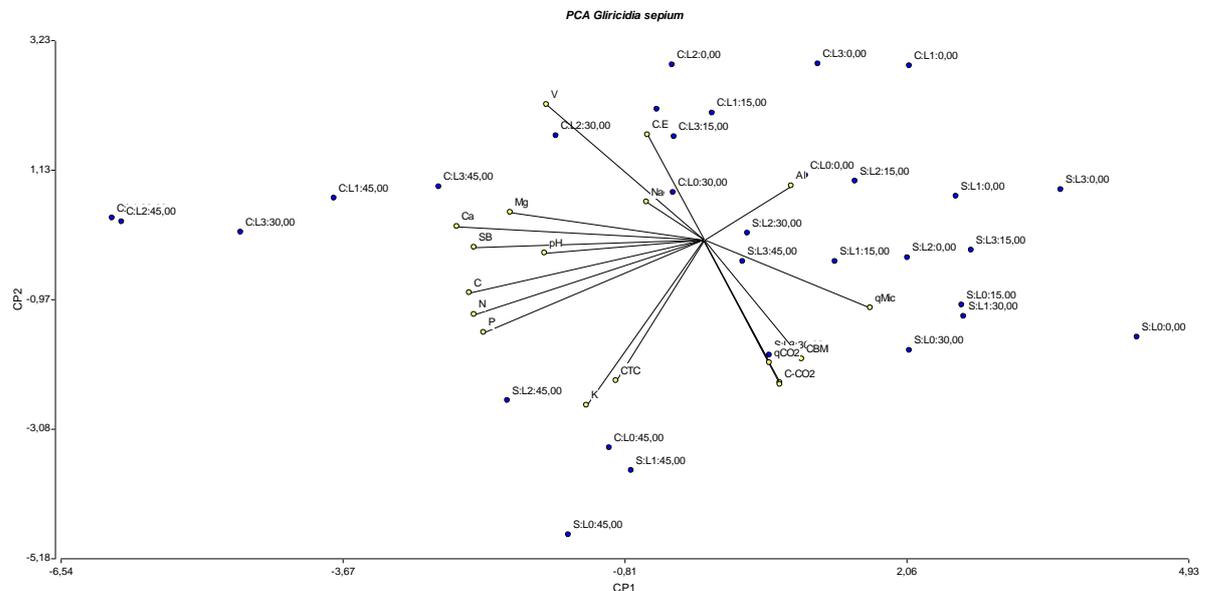


TABELA 18 – Covariâncias dos Componentes principais dos atributos da AE de *Gliricidia sepium*

	C.E	pH	C	N	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	C-CO2	CBM	qCO2
C.E	1																
pH	-0,25	1															
C	-0,02	0,5	1														
N	-0,05	0,5	0,98	1													
P	-0,11	0,54	0,9	0,94	1												
K	-0,28	0,19	0,57	0,64	0,7	1											
Na	0,87	-0,23	0,01	0,04	0,05	-0,01	1										
Ca	0,24	0,63	0,85	0,82	0,78	0,33	0,16	1									
Mg	0,52	0,37	0,53	0,53	0,52	0,25	0,55	0,67	1								
Al	0,33	-0,66	-0,28	-0,32	-0,32	-0,24	0,24	-0,31	-0,2	1							
H+Al	-0,27	-0,27	-0,05	-0,04	-0,07	-0,29	-0,21	-0,3	-0,43	0,07	1						
SB	0,52	0,39	0,72	0,73	0,73	0,46	0,59	0,84	0,88	-0,18	-0,29	1					
CTC	0,11	0,02	0,45	0,48	0,45	0,59	0,21	0,3	0,2	-0,06	0,75	0,42	1				
V	0,27	0,61	0,36	0,31	0,26	-0,21	0,13	0,62	0,55	-0,18	-0,73	0,48	-0,36	1			
C-CO2	-0,22	-0,09	-0,22	-0,09	0,04	0,39	0,11	-0,33	-0,08	-0,06	0,19	-0,08	0,13	-0,43	1		
CBM	-0,21	0,02	-0,3	-0,2	-0,11	0,13	0	-0,35	-0,09	-0,17	0,19	-0,18	0,05	-0,34	0,75	1	
qCO2	-0,2	-0,15	-0,13	-0,07	0,1	0,31	0,1	-0,31	-0,16	0,13	0,21	-0,1	0,13	-0,47	0,56	0,35	1
qMic	-0,05	-0,28	-0,58	-0,5	-0,45	-0,16	0,07	-0,59	-0,24	-0,01	0,19	-0,39	-0,09	-0,45	0,59	0,89	0,33



## 7 - CONCLUSÕES

É possível, em curto prazo, aplicando-se lâminas de água salina em argissolo do semiárido nordestino, cultivar as forrageiras *Opuntia stricta* e *Gliricidia sepium* realizando tratamento do solo com doses de esterco caprino curtido.

No solo da AE de *Opuntia stricta*, as lâminas 871,3 mm e 719,7 mm, combinadas com as doses 30 e 45 t ha<sup>-1</sup> de MO, foram promissoras para manter a fertilidade do solo da AE e minimizar as perdas microbianas.



## 8 -REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.**, v. 23, p. 66–75, 2007.

ARAÚJO, W. B. M. et al. Esterco caprino na composição de substratos para formação de mudas de mamoeiro. **Ciência e agrotecnologia** v. 34, n. 1, p-68-73, 2010.

ASKRI, B. et al. Effects of shallow water table, salinity and frequency of irrigation water on the date palm water use. **Journal of Hydrology**, v. 513, p. 81–90, 2014.

BORTOLUZZI, E. C. et al. Efeito da calagem na relação entre solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2621-2628, 2008.

BLUM, W. E .H.; SANTELISES, A .A. A concept of sustainability and resilience based on soil functions: the role of ISSS in promoting sustainable land use. In: Greenland, D.J. and Szabolcs, I., eds. *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. Wallingford, UK: **CAB International**, 1994. p. 535-542.

BHUYIAN, M. S. I. et al. Plants in Remedianting Salinity-affected Agricultural Landscapes. **Proc Indian Natn Sci Acad**, v. 83, n. 1, p. 51-56. 2017.

CARVALHO FILHO, O. M. de; DRUMOND, M. A.; LANGUIDEY, P. H. Gliricidia sepium - leguminosa promissora para regiões semi-áridas. Petrolina, PE: EMBRAPA/CPATSA, 1997.

CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Remediation of salt-affected soil by the addition of organic matter - an investigation into improving glutinous rice productivity. **Scientia Agricola** (Piracicaba, Brazil), v. 68, n. 4, p. 406-410, July/August 2011.

CHINNUSAMY, V.; JAGENDORF, A.; ZHU, J. K. Understanding and improving salt tolerance in plants. **Crop Science**, v. 45, p. 437-448, 2007.

CHOUDHARY, O. P. et al. Effects of long-term use of sodic water irrigation, amendments and crop residues on soil properties and crop yields in rice-wheat cropping system in a calcareous soil. **Field Crops Research**, v. 121, n. 3, p. 363–372, 2011.

CIOTTA, M. N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**.v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003.

CROON, F. W. Practical aspects of irrigation of biosaline crops with saline water viewed from a land and water use perspective. **Irrigation and Drainage**, v. 62, n. 5, p. 649–657, 2013.

DALIAKOPOULOS, I.N. et al. The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 727-739, 2016.

DAYAN, A. D.; PAINE, A. J. Mechanisms of chromium toxicity, carcinogenicity and allergenicity: Review of the literature from 1985 to 2000. **Human & experimental toxicology**, v. 20, p. 439-451, 2001.

DODD, I. C.; PÉREZ-ALFOCEA, F. Microbial amelioration of crop salinity stress. **Jounal of Experimental Botany**, v. 63, n. 9, p. 3415-3428, 2012.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wis: **Soil Science Society of America**, 1994. p.1-20. (Special 35)

DORAN, J. W.; JONES, A. J. Methods for assessing soil quality. Madison, Wis: **Soil Science Society of America**, 1996. p. 410 (Special Publication, number 49).

DORAN, J.W. et al.. Soil health and sustainability. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*,. Academic Press, San Diego, v. 56, p. 1–54, 1996.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p.3-11, 2000.

DRUMOND, M. A.; CARVALHO FILHO, O. M. Introdução e avaliação da *Gliricidia sepium* na região semiárida do Nordeste brasileiro. In: Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro, 1999, Petrolina, PE. **Anais...Petrolina: Embrapa Semiárido/Embrapa Recursos Genéticos - Cenargen**, 1999.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Global Network on Integrated Soil Management for Sustain-Able Use of Salt-Affected Soils. Rome, Italy, 2000. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.

FREIRE, J. L. *Avaliação de clones de palma forrageira (Opuntia e Napolea) sob irrigação e salinidade*. 2012. 85f. Tese (Programa de doutorado integrado em zootecnia) Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal do Ceará, 2012.

FREIRE, M. B. G. S. et al. Agrupamento de Solos Quanto à Salinidade no Perímetro Irrigado de Custódia em Função do Tempo<sup>1</sup>. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, (Suplemento), p. 86–91, 2014.

GRATTAN, S. R. et al. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems: I. Biomass production. **Agricultural Water Management**, v. 70, n. 2, p. 109–120, 2004.

HASANUZZAMAN, M. et al. Potencial use of halophytes to remediate saline soils. **BioMed Research International**. p. 1-12, v. 2014, 2014.

JASMINE, T. et al. Medicinal properties of *Gliricidia sepium*: A Current Pharmaceutical & Clinical. **International Journal of Current Pharmaceutical & Clinical Research**, v. 7, n. April, p. 35–39, 2017.

KAMELI, M. A. et al. Application of wastewater with high organic load for saline-sodic

soil reclamation focusing on soil purification ability. **Global Journal Environmental Science Management**, v. 3, n. 2, p. 197–206, 2017.

KARTHIKEYAN, K. et al. Soil quality and its assessment: A review. **Journal of Soil & Water Conservation**. v. 14, n. 2, p.100-108. 2015.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Das geographische System der Klimate. **Handbuch der Klimatologie**. 44p. 1936.

KILL, L.H.P.; DRUMOND, M.A. Biologia floral e sistema reprodutivo de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Fabaceae-Papilionoidae) na região de Petrolina, Pernambuco. **Ciência Rural**, v.31, n.4, p.597-601, 2001.

LAISHRAM, J. et al. Soil Quality and Soil Health: A Review. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 38, p. 19-37, 2012.

LAL, R.; PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F.J., eds. Soil management for sustainability. Ankeny: Soil Water Conservation Society, 1991. p.1-5.

LARCHER, W. Utilização de carbono e produção de matéria seca. In: Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo: EPVE, 1986. 319p

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wis: **Soil Science Society of America**, 1994. p. 37-51. (Special, 35)

LEPSCH, I. F. 19 lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIEBIG, M.A. & DORAN, J.W. Evaluation of point-scale assessments of soil quality. **J. Soil Water Conserv.**, v. 54, p. 510-518, 1999.

LIMA, N. S. et al. Fruit yield and nutritional characteristics of sweet pepper grown under salt stress in hydroponic system. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 297-305, 2018.

MARTINS, C. M. et al. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no Semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883–1890, 2010.

MAVI, MANPREET SINGH et al. Sorption of dissolved organic matter in salt-affected soils: Effect of salinity, sodicity and texture. **Science of the Total Environment**, v. 435–436, p. 337–344, 2012.

MENDES, I. C. . et al. Bioindicadores para Avaliação da Qualidade dos Solos Tropicais: utopia ou realidade? **Documentos**, **246**, v. 1, p. 32, 2009.

MOURA, M. S. B. et al. Clima e água de chuva no Semiárido. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). *Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro*. Petrolina: **Embrapa Semi-Árido**, 2007.p. 37-59

MOURA, E. S. R. D. E. et al. Yield and Forage Quality of Saltbush Irrigated With

Reject Brine From Desalination Plant By Reverse Osmosis. **Revista Caatinga**, v. 29, p. 1–10, 2016.

NATIONAL ACADEMY SCIENCES (Washington). **Firewood crops**: shrub and tree species for energy production. Washington, 1980. 237 p.

NIEMEYER, J. C. et al. Microbial indicators of soil health as tools for ecological risk assessment of a metal contaminated site in Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 59, p. 96–105, 2012.

NUNES, T. C. M. D. *Sistemas bioassalinos de produção de palma forrageira recebendo crescentes lâminas de água e doses de matéria orgânica*. 2018. 46f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2018.

ORTEGA, A. C.; SOBEL, T. F. Desenvolvimento Territorial E Perímetros Irrigados : Avaliação Das Políticas Governamentais Implantadas Nos Perímetros Irrigados Bebedouro E Nilo Coelho Em Petrolina (PE) Territorial Development and Irrigated Perimeters : Evaluation of Government Polici. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 35, p. 88–118, 2010.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 567–573, 2004.

QADIR, M.; GHAFOR, A.; MURTAZA, G. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. **Agricultural Water Management**, v. 50, p. 197-210. 2001.

RANGEL, J. H. DE A. et al. Implantação e manejo de legumineira com gliricídia (*Gliricidia sepium*). **Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica**, 63, p. 1-5. 1999.

RANGEL, J. H. A. et al. Implantação e manejo de legumineira com gliricídia (*Gliricidia sepium*). **Circular Técnica**, 63, p.1-5, 2011.

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

RICHARDS. L. A. Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos. 5. ed. México: Limusa, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1980. p. 172.

ROCHA, J. E. S. Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte. **Embrapa Caprinos e Ovinos. Documentos**, 106, p. 1-40. 2012.

RODRIGUES, C. T. A. *Avaliação de Plantas de Gliricídia submetidas à diferentes lâminas de irrigação, doses de Matéria Orgânica e momentos de corte em sistema bioassalino*. 2017. 46f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2017.

SÁ, F. V. S. et al. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. **Irriga**, v. 20, n. 1, p. 46–59, 2015.

SÁENZ, C. Opuntias as a natural resource. In: Agro-industrial utilization of cactus pear. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, p. 1-5, 2013.

SANTOS, D.C. et al. Manejo e utilização de Palma Forrageira (Opuntia e Napolea) em Pernambuco. Recife: IPA, Boletim Técnico 30, 48p, 2006.

SANTOS, V. R. et al. Contribuição de argilominerais e da matéria orgânica na CTC dos solos do Estado de Alagoas. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 27-36, 2009.

SASTRE-CONDE, I. et al. Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendment with sludge. **Geoderma**, v. 247-248, p. 140-150, 2015.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil Salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, p. 123-131. 2015.

SILVA, L. G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 44, n. 6, p. 613-620, jun. 2009.

SILVA, S. A. et al. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 01, p. 1-8, 2010.

SILVERMAN, F. P. et al. Effects of applied NaCl Opuntia humifusa. *Revista Physiologia Plantarum*, v. 72, n. 2, p. 343-348, 2006.

SOARES, F. A. L. et al.; Water Salinity and Initial development of yellow passion fruit. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 491-497, jul./set. 2002.

SOUZA, G. H. F. DE et al. Desempenho do Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 204-209, 2001.

TABATABAI, A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S., eds. *Methods of soil analyses*. Madison, Wis: **Soil Science Society of America**, 1994. p.775-833.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743–755, 2009.

VIANA, P. C. et al. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção de maracujazeiro-amarelo. Effect of irrigation water salinity in the production of yellow passion fruit. **Agropecuária científica no semiárido (ACSA)**, v. 8, n. 1, p. 45–50,

jan-mar, 2012.

WERLE, R. et al. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

WU, Y. *et al.* Organic amendment application influence soil organism abundance in saline alkali soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 54, p. 32–40, 2013.

WU, Y. et al. Response of Saline Soil Properties and Cotton Growth to Different Organic Amendments. **Pedosphere**, v. 160, 2017.

YAN, N. *et al.* Influence of soil salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, p. 316-323, 2015.

YUAN, B. C. et al. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. **Applied Soil Ecology**, v. 35, n. 2, p. 319–328, 2007.