

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

EMANUELLE MARIA DA SILVA

**ATRIBUTOS DO SOLO E ESTRUTURA DA COMUNIDADE
MICROBIANA EM SOLO SALINO NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

**Recife
2017**

Emanuelle Maria da Silva
Engenheira Agrônoma

**Atributos do solo e estrutura da comunidade microbiana em solo salino no
semiárido de Pernambuco**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Agronomia – Ciência do
Solo

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Betânia Galvão
dos Santos Freire

**Recife
2017**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S586a Silva, Emanuelle Maria da.
Atributos do solo e estrutura da comunidade microbiana em solo salino no semiárido de Pernambuco / Emanuelle Maria da Silva. – 2017.
73 f, il..

Orientadora: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire.
Coorientadores: Giselle Gomes Monteiro Fracetto.
Luiz Guilherme Medeiros Pessoa.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciências do Solo, Recife, BR-PE, 2017.
Inclui referências.

1. Degradação por sais 2. Compactação 3. Revegetação
4. Atividade microbiana 5. DGGE I. Freire, Maria Betânia Galvão Dos Santos, orient. II. Fracetto, Giselle Gomes Monteiro, coorient.
III. Pessoa, Luiz Guilherme Medeiros, coorient. IV. Título.

CDD 631.4

EMANUELLE MARIA DA SILVA

Atributos do solo e estrutura da comunidade microbiana em solo salino no semiárido de Pernambuco

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Ciência do Solo.

Aprovada em 08 de Agosto de 2017

Profa. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire
Orientadora
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Dr. Josimar Gurgel Fernandes
Instituto Agronômico de Pernambuco

Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas
Universidade Federal Rural de Pernambuco

*À minha avó Angelina (in memoriam),
que sempre foi uma grande apoiadora
e incentivadora dos meus sonhos.*

DEDICO E OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Sou grata pela vida e pelas pessoas que fazem parte dela, mas acima de tudo, grata a Deus, por Sua presença e cuidado constante, por ver seu agir desenhando os caminhos em forma de milagres.

Aos meus pais e meu irmão, que sempre torceram por mim, que sempre me apoiaram em todos os momentos, em todas as decisões, mesmo sem entender muitas vezes. Vocês foram essenciais em todas as minhas conquistas, e a razão por eu nunca desistir de tentar.

Aos meus familiares, por todo desejo de sucesso, por todo carinho e companheirismo. De forma especial, às minha sobrinhas, Maria Sophia e Maria Alice, por toda alegria que trazem a minha vida, por serem fonte de amor e inspiração, e entenderem minhas ausências.

A minha orientadora, Profa. Maria Betânia, que sempre foi minha maior incentivadora, desde a graduação, sempre acreditando em mim quando nem eu mesma, muitas vezes, acreditava. Agradeço pela orientação ao longo destes 7 anos, me direcionando da melhor forma para minha evolução profissional, por toda paciência, por todo o cuidado, muitas vezes de mãe. Não teria conseguido chegar até aqui sem seu apoio!

A Profa. Giselle Fracetto, pela amizade e coorientação, agradeço por cada ensinamento, por toda ajuda e paciência na realização das análises moleculares, por me inspirar a sempre querer evoluir na busca de novos conhecimentos.

Ao Prof. Guilherme Pessoa, por todo o apoio e pela coorientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A Juliet e Mayame, que me acompanharam em todos os momentos, dos bons aos ruins, de forma particular. Agradeço por todo companheirismo, por toda ajuda, por cada incentivo. Vocês foram importantíssimas nesta caminhada, estando ao meu lado num momento tão difícil, que foi a perda da minha vó, agradeço de coração por todo o apoio e toda amizade.

Aos amigos da pós-graduação Adriana, Tiago, Aglair, William, Elis, Alex, Vinicius, Paula, Juscélia, Rita e Leandro, agradeço por toda a ajuda e por todos os momentos compartilhados, sejam de muitas gargalhadas a longas horas de estudo.

Aos amigos do grupo de pesquisa de Química e Salinidade de Solo, Danubia, Patrícia, Camila, Daniela, Guilherme, Alcione, Flávio, Fernanda, Rodrigo, Alisson,

Taciana, Lucca, Claudio, Lene e Pedro, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por toda amizade, por toda a ajuda e ensinamentos. De forma especial, agradeço a Clarissa e Patryk, que me ajudaram desde o início, sempre muito dedicados e responsáveis, e sem os quais eu não teria conseguido realizar todo o trabalho.

A todos os Professores, por cada incentivo e valiosos ensinamentos, em especial aos professores Fernando Freire, Brivaldo Almeida, Izabel Galindo, Mateus Filho, Valdomiro, Edivan e Emídio.

A Maria do Socorro (Socorrinho), secretária do programa de pós-graduação, por todo carinho e amizade, por todo apoio e ensinamento, por sempre nos acalmar nos momentos de angústia e preocupação e por sempre nos ajudar e nos acolher.

A Dr. Ana Dolores Freitas, ao Dr. Josimar Fernandes e ao Pro. Dr. Brivaldo Almeida, pela disponibilidade em participar como examinadores deste trabalho de dissertação.

Ao Instituto Agronômico de Pernambuco, especialmente na pessoa do Dr. Josimar Fernandes, por todo apoio e orientação prestado ao decorrer de todo o trabalho de pesquisa.

Ao Sr. Evandro, proprietário da Fazenda Santa Maria, e a todos os seus funcionários, pela concessão da área para o experimento e por sempre terem nos acolhido tão bem, nos dando todo o apoio necessário para a execução deste trabalho.

A todos os demais que passaram por minha vida, mas não foram citados, que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para a minha formação.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Hipóteses.....	15
1.2 Objetivo geral.....	15
1.3 Objetivos específicos.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Semiárido brasileiro e a degradação dos solos	16
2.2 Impacto da salinidade sobre o solo	17
2.3 Efeito da salinidade sobre as plantas	18
2.4 Recuperação de solos salinos	19
2.5 Micro-organismos em solos salinos	21
2.6 Estrutura e diversidade das comunidades microbianas	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Área de estudo	23
3.2 Montagem e condução do experimento	25
3.3 Avaliação do Solo	27
3.3.1 Análises químicas do solo	28
3.3.2 Análises físicas do solo	28
3.3.3 Análises microbiológicas.....	29
3.3.4 Extração do DNA do solo	29
3.3.5 Análise em Gel de Eletroforese com Gradiente Desnaturante (PCR-DGGE)	30
3.4 Análises estatísticas e interpretação dos resultados	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Atributos químicos	33
4.2 Atributos físicos	45
4.3 Atributos biológicos.....	50
4.1 Análise do DGGE	52
4.2 Interação entre os atributos químicos e biológicos	60
5. CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo. Em destaque o Estado de Pernambuco e o município de Caruaru.....	23
Figura 2 – Precipitação acumulada (mm) dos últimos 30 anos (A) e sua distribuição ao longo do ano (B), no município de Caruaru – PE.....	24
Figura 3 – Esquema de disposição dos blocos e parcelas na área experimental....	25
Figura 4 - Esquema da disposição das plantas na parcela e área útil.....	26
Figura 5 – Eletroforese com gel de poliacrilamida com gradiente desnaturante, gerado por separação de fragmentos do gene 16S amplificados de amostras de DNA do solo (BS – Baixa salinidade, MS – Média salinidade, AS – Alta salinidade).....	53
Figura 6 – Agrupamento hierárquico com base na separação por DGGE de fragmentos do gene 16S de amostras de solo num gradiente crescente de salinidade (M – Mata, BS – Baixa salinidade, MS – Média salinidade, AS – Alta salinidade)...	54
Figura 7 – Índices de diversidade para o gene 16S rRNA de bactéria. (A) Números de bandas no gel de DGGE, (B) índice de dominância de Simpson e (C) índice de diversidade de Shannon do 16S rRNA DGGE.....	55
Figura 8 – Eletroforese com gel de poliacrilamida com gradiente desnaturante, gerado por separação de fragmentos do gene 18S amplificados de amostras de DNA do solo (BS – Baixa salinidade, MS – Média salinidade, AS – Alta salinidade).....	57
Figura 9 – Agrupamento hierárquico com base na separação por DGGE de fragmentos do gene 18S de amostras de solo num gradiente crescente de salinidade (MAT – Mata, BS – Baixa salinidade, MS – Média salinidade, AS – Alta salinidade).....	58
Figura 10 – Índices de diversidade para o gene 18S de fungo. (A) Números de bandas no gel de DGGE, (B) índice de dominância de Simpson e (C) índice de diversidade de Shannon do 18S rDNA DGGE.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Precipitação mensal e acumulada no município de Caruaru durante a condução do experimento.....	27
Tabela 2 – Iniciadores e condições das reações utilizados para amplificar os genes de interesse.....	30
Tabela 3 – Valores de pH em água (pH H ₂ O), pH da pasta saturada (pH) e condutividade elétrica (CE) no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 e 9 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm.....	34
Tabela 4 – Teores de cátions solúveis no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 e 9 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm.....	37
Tabela 5 – Teores de Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ e HCO ₃ ⁻ no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm.....	39
Tabela 6 – Teores de cátions trocáveis no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 e 9 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm.....	41
Tabela 7 – Relação de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST) no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 e 9 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm.....	43
Tabela 8 – Composição granulométrica do solo, cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm.....	46
Tabela 9 – Densidade do solo (Ds), condutividade hidráulica em meio saturado (Ksat) e resistência mecânica à penetração das raízes na capacidade de campo (RP) no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm.....	47

Tabela 10 – Porosidade total, macroporosidade, mesoporosidade e capacidade de campo no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm.....	48
Tabela 11 – Carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (C-mic), respiração basal do solo (C-CO ₂) e quociente metabólico (qCO ₂) no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, na camadas de 0-20 cm.....	52
Tabela 12 – Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e índices de diversidade extraídos com base no perfil do DGGE para o gene 16S rRNA.....	56
Tabela 13 – Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e índices de diversidade extraídos com base no perfil do DGGE para o gene 18S rRNA.....	60
Tabela 14 – Correlações canônicas e pares canônicos entre os atributos biológicos e químicos do solo.....	61
Tabela 15 – Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e microbiota do solo.....	63

Atributos do solo e estrutura da comunidade microbiana em solo salino no semiárido de Pernambuco

RESUMO

Extensa área do Nordeste do Brasil é caracterizada como semiárida, com baixos índices e má distribuição da precipitação pluvial e elevada evapotranspiração, promovendo déficit hídrico, que pode favorecer a degradação dos solos por sais. Com tecnologias apropriadas, como a revegetação, seria possível manter o equilíbrio ambiental neste ecossistema tão susceptível à degradação. E o entendimento da estrutura da comunidade microbiana presente e suas associações benéficas ao desenvolvimento das plantas, contribuiriam para que planos de recuperação de áreas degradadas fossem elaborados com base na fitorremediação. Assim, o experimento foi montado em blocos casualizados, com oito tratamentos (seis espécies nativas, a *Atriplex nummularia* L., e o tratamento sem cultivo de planta), em quatro repetições. O crescimento das plantas foi acompanhado periodicamente. Amostras de solo foram coletadas, no início e final do experimento, para avaliar alterações nas propriedades do solo. Para a caracterização química foram feitas análises de pH, condutividade elétrica, cátions solúveis e trocáveis e carbono orgânico total. Para caracterização física foram determinadas a composição granulométrica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade, condutividade hidráulica e resistência mecânica à penetração de raízes. Para avaliar a qualidade biológica foi determinada a biomassa microbiana, a quantificação do C respirado pela microbiota do solo e calculado o quociente metabólico (qCO_2). Para determinar a estrutura e a diversidade das comunidades microbianas foram coletadas amostras de solo ao longo de um gradiente de salinidade, e analisadas por meio da análise em gel de eletroforese com gradiente desnaturante (DGGE). Os resultados indicaram um aumento da salinidade ao longo do tempo, sobretudo nas camadas subsuperficiais, com concentração de Na^+ e Cl^- , principalmente, atingindo valores de $RAS > 13\%$, podendo serem classificadas como sódicas. Apesar da classe textural franco-arenosa, o solo apresentou severos problemas físicos, com aumento da densidade do solo em profundidade, redução da porosidade total e condutividade hidráulica, não apresentando resistência à penetração de raízes na capacidade de campo. Entretanto, devido às condições climáticas locais, o solo dificilmente permaneça na condição de capacidade de campo, apresentando teores de umidade mais reduzidos o que consequentemente tenderá a aumentar a resistência à penetração das raízes das plantas. Do ponto de vista biológico, a única variável que se correlacionou significativamente com a salinidade foi a respiração basal do solo ($C-CO_2$), diminuindo à medida que a concentração de sais aumenta. O quociente metabólico do solo (qCO_2) apresentou valores elevados, indicando um fator de estresse, que pode ser devido ao baixo teor de matéria orgânica ou à maior diversidade de bactérias encontrada na área, que são menos eficientes na conversão do substrato, o que pode ser relacionado indiretamente com a salinidade. A estrutura da comunidade de bactérias e fungos não foi determinada pelo nível de salinidade do solo, com base nos perfis do DGGE. Mas, em termos gerais observou-se que, para a comunidade de bactérias, a diversidade e a riqueza de unidades taxonômicas operacionais (UTOs) não diminui com o aumento da salinidade. O contrário foi observado para a comunidade de fungos, indicando que são organismos sensíveis à salinidade do solo.

Palavras-chave: Degradação por sais. Compactação. Fitorremediação. Atividade microbiana. DGGE.

Soil attributes and microbial community structure in saline soils in the semi-arid region of Pernambuco

ABSTRACT

Extensive area of Northeast Brazil is characterized as semi-arid, with low indices and poor distribution of rainfall and high evapotranspiration, promoting water deficit, which may favor soils degradation by salts. With appropriate technologies, such as revegetation, it would be possible to maintain the environmental balance in this ecosystem so susceptible to degradation. The understanding of the structure of the present microbial community and its beneficial associations to the plants development would contribute to plans for the recovery of degraded areas to be elaborated based on phytoremediation. Thus, the experiment was assembled in randomized blocks, with eight treatments (six native species, *Atriplex nummularia* L., and treatment without plant cultivation), in four replications. Plant growth was monitored periodically. Soil samples were collected at the beginning and end of the experiment to evaluate changes in soil properties. For the chemical characterization, pH, electrical conductivity, soluble and exchangeable cations and total organic carbon were analyzed. For physical characterization, the particle size distribution, bulk density, particle density, porosity, hydraulic conductivity and mechanical resistance to root penetration were determined. To evaluate the biological quality, the microbial biomass, the quantification of C breathed by soil microbiota and the metabolic quotient (qCO_2) were determined. To determine the structure and diversity of the microbial communities, soil samples were collected along a salinity gradient and analyzed by means of the denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) analysis. The results indicated an increase in salinity over time, especially in the subsurface layers, with Na^+ and Cl^- concentration, mainly, reaching RAS values > 13%, which can be classified as sodic. Despite the sandy-loam textural class, the soil presented severe physical problems, with increased soil density in depth, reduction of total porosity and hydraulic conductivity, and no resistance to root penetration in the field capacity. Although, due to local climatic conditions, the soil hardly remains in the field capacity condition, presenting lower moisture contents which consequently will tend to increase the penetration resistance of the roots of the plants. From the biological point of view, the only variable that correlated significantly with salinity was soil basal respiration ($C-CO_2$), decreasing as the salt concentration increased. The soil metabolic quotient (qCO_2) presented high values, indicating a stress factor, which may be due to the low organic matter content or the greater diversity of bacteria found in the area, which are less efficient in the conversion of the substrate, which may indirectly related to salinity. The structure of the bacteria and fungi community was not determined by soil salinity level, based on DGGE profiles. But in general terms, it was observed that for the bacterial community the diversity and richness of operational taxonomic units (OTUs) do not diminish with the increase of the salinity. The opposite was observed for the fungi community, indicating that they are organisms sensitive to soil salinity.

Keywords: Degradation by salts. Compression. Phytoremediation. Microbial activity. DGGE

1. INTRODUÇÃO

Os solos e recursos hídricos de regiões áridas e semiáridas têm sido degradados principalmente por fatores relacionados à mudanças de uso e cobertura do solo, assim como o sobrepastoreio. O manejo inadequado do solo tem favorecido os processos de salinização, compactação e perda de matéria orgânica, dentre outros, o que tem contribuído para degradação dos seus atributos químicos, físicos e biológicos.

Nestas regiões, além do manejo inadequado do solo, as condições climáticas como a baixa precipitação combinada com uma alta evapotranspiração contribuem para o movimento ascendente dos sais na solução do solo, com consequente acúmulo dos mesmos, principalmente sais de Na^+ , que afetam negativamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, bem como interferem negativamente no desenvolvimento das espécies vegetais.

Solos afetados por sais geralmente apresentam baixos teores de matéria orgânica, principalmente devido a ausência ou redução da cobertura vegetal, culminando em baixo aporte de materiais orgânicos no solo, afetando a atividade microbiana, e consequentemente, alterando a natureza e a ciclagem dos nutrientes do solo.

O reestabelecimento de comunidades vegetais em solos salinos pode alterar, de forma benéfica, as propriedades do solo, devido às interações bioquímicas e físicas entre as plantas e o solo, promovendo a melhoria das propriedades hidráulicas, aumentando a disponibilidade de nutrientes e incrementando biomassa e matéria orgânica.

Pouco tem se estudado sobre as populações microbianas em solos salinos, que são considerados como um ambiente restrito para a maioria dos micro-organismos do solo. Portanto, faz-se necessário conhecer melhor a ecologia, estrutura, diversidade e funcionalidade das populações que ocorrem naturalmente nestes ambientes, os quais podem vir a ter um potencial genético para fins biotecnológicos, como na promoção do crescimento e tolerância das plantas. Para isto, o advento de técnicas baseadas em clonagem ou técnicas de fingerprint, como a eletroforese em gel de gradiente desnaturante (DGGE), podem contribuir substancialmente para a compreensão da dinâmica da comunidade microbiana sob condições de salinidade do solo.

Dessa forma a utilização de espécies vegetais na revegetação de solos salinos, bem como o conhecimento da estrutura e a diversidade da comunidade microbiana presente nesses solos, e suas relações com as propriedades químicas dos mesmos, pode promover uma melhoria da qualidade ambiental, com maior aporte de água aos recursos hídricos pelo incremento da infiltração de água no solo nos eventos de precipitação, e a recomposição da flora em ambiente susceptível à degradação, melhorando a capacidade produtiva dos solos, promovendo um maior equilíbrio social e ambiental.

1.1 Hipóteses

A revegetação do solo salino por espécies nativas da Caatinga promove uma atenuação da salinidade decorrente da melhoria dos atributos físicos do solo, bem como estimula a comunidade microbiana tolerante ao estresse salino.

1.2 Objetivo geral

Avaliar o efeito da revegetação de solo salino com espécies nativas da Caatinga sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

1.3 Objetivos específicos

- Caracterizar o solo física e quimicamente;
- Monitorar variações nas propriedades químicas do solo;
- Quantificar o C da biomassa microbiana e a respiração basal do solo;
- Avaliar a estrutura e a diversidade das comunidades microbianas do solo, ao longo de um gradiente de salinidade;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Semiárido brasileiro e a degradação dos solos

No Brasil, 12% do território é constituído por uma região semiárida, em que prevalece o bioma Caatinga. A Caatinga é o único bioma exclusivo brasileiro, com cerca de 1.000.000 km² de mata xerófitas, caracterizada por espécies caducifólias com alta capacidade regenerativa, por altas temperaturas, baixa precipitação, solos ligeiramente intemperizados e baixa produção de fitomassa (MAMEDE; ARAÚJO, 2008; MAIA et al., 2008; MENEZES et al., 2012).

A maior parte da área do bioma tem precipitação média anual inferior a 1.000 mm, com grande variabilidade temporal e espacial de distribuição das chuvas. As temperaturas médias anuais são elevadas (23 a 27 °C) e a umidade relativa é geralmente inferior a 50%. Como consequência, a evapotranspiração potencial é alta, geralmente acima de 1.500 mm ano⁻¹, resultando em balanços hídricos negativos ao longo de 7 a 11 meses a cada ano (MENEZES et al., 2012). Estas características favorecem a não lixiviação dos sais presentes nos solos, havendo um acúmulo destes no perfil do solo, o que é intensificado principalmente com a adoção de práticas inadequadas de manejo de irrigação e drenagem.

Nessas condições, devido à alta susceptibilidade dos solos à degradação pela salinização, é necessário que sejam utilizadas práticas eficientes de manejo, que desfavoreçam este processo. No entanto, práticas adequadas de manejo do solo não tem sido adotadas pela agricultura de subsistência realizada na região, ocorrendo, geralmente, sistemas de corte e queima, sem entrada de nutrientes e sem cobertura do solo, e os solos apresentam altas taxas de escoamento superficial durante a estação chuvosa (SOUZA et al., 2012).

O excesso de pastoreio também contribui para a degradação do solo devido à redução da cobertura vegetal com a prática do desmatamento, que aumenta os riscos de erosão, aumento da compactação do solo através do pisoteio, o que provoca redução da porosidade do solo e redução das taxas de infiltração de água (PEI et al., 2008; MENEZES et al., 2012).

Estes fatores tornam essas regiões extremamente frágeis, tanto do ponto de vista ambiental como sócio-econômico. Como consequência deste cenário, nas últimas décadas, grandes áreas da região semiárida brasileira foram degradadas e,

em alguns casos, afetadas por um estágio avançado de desertificação (SOUZA et al., 2012).

No Brasil, as áreas propensas à desertificação cobrem 980,711 km², distribuídas em oito estados do Nordeste do Brasil e um do Sudeste (COSTA et al., 2009), equivalendo a 98% do bioma, com cerca de 46% da área originalmente coberta pela Caatinga já desmatada (MMA, 2011).

2.2 Impacto da salinidade sobre o solo

Uma das principais limitações ambientais, com severo impacto na produtividade agrícola e na sustentabilidade de regiões áridas e semiáridas, é a degradação do solo induzida por altos níveis de sais, principalmente sódio no complexo de troca. Solos sódicos e salino-sódicos estão presentes em pelo menos 75 países, e sua ocorrência tem aumentado continuamente nos perímetros irrigados ao redor do mundo (QADIR et al., 2007). No Brasil, esses solos ocorrem comumente no semiárido da região Nordeste, onde naturalmente ocorre a Caatinga (RIBEIRO et al., 2003).

De modo geral, os solos são classificados como salinos, sódicos ou salino-sódicos quando a concentração de sais solúveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-) e, ou o predomínio de Na^+ em solução e no complexo de troca é suficientemente alta para interferir no desenvolvimento vegetal, além de promover alterações nas propriedades físicas dos solos (QADIR et al., 2007; HOLANDA et al., 2010).

As causas que culminam com a formação de solos salinos podem ser naturais (salinização primária) ou induzidas pelo homem (salinização secundária). A salinização primária é influenciada por vários fatores, como a composição mineralógica do solo, intemperismo químico de rochas ricas em sais e depósitos de sais fossilizados (FREIRE; RODRIGUES, 2009; LEITE et al., 2010).

A salinização secundária é estimulada por atividades antropogênicas, que envolvem inadequações no manejo do solo e da água (QADIR et al., 2007). Dentre as práticas de manejo que acarretam o aumento no teor de sais e sódio destacam-se os métodos de irrigação adotados e seu manejo, a qualidade da água utilizada na irrigação e o índice de salinidade dos fertilizantes (LEITE et al., 2010). Ambos os tipos de salinização dos solos estão associados a clima com baixas taxas de

precipitação e elevada evapotranspiração, o que gera um déficit hídrico que tende a concentrar sais no solo; e o relevo, onde áreas de baixas cotas topográficas caracterizam-se como locais de concentração dos sais presentes no solo.

O excesso de sais, sobretudo de sódio, promove alterações nos processos físicos e químicos do solo. Pode ocorrer elevação do pH, diminuindo a disponibilidade de alguns nutrientes, alteração na capacidade de troca catiônica, e aumento na porcentagem de sódio trocável. A diminuição no teor de carbono orgânico do solo e mudanças no equilíbrio entre a dispersão e a floculação de coloides pode influenciar na movimentação de partículas ao longo do perfil do solo. Consequentemente, ocorrem alterações na estruturação do solo, distribuição de poros e condutividade hidráulica, diminuindo a capacidade de armazenamento e movimentação de água, aumentando assim a resistência mecânica à penetração de raízes (RIBEIRO et al., 2003; CLARK et al., 2007; FREIRE; FREIRE, 2007).

Embora os efeitos negativos da salinidade e da sodicidade do solo tenham sido amplamente estudados no passado, principalmente seus efeitos nas propriedades físico-químicas do solo e no desenvolvimento das plantas, informações limitadas estão disponíveis sobre seus efeitos sobre a atividade microbiana do solo em termos de respiração do solo, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana.

Tripathi et al. (2006) e Yuan et al. (2007) relataram que a salinidade tem impactos negativos sobre o tamanho e atividade da biomassa microbiana do solo e sobre processos bioquímicos que são cruciais para a manutenção da qualidade do solo. Rietz e Haynes (2003) também demonstraram que a salinidade afeta processos biológicos no solo, refletindo sobre o carbono da biomassa microbiana e a atividade de algumas enzimas, o que resulta em um declínio na taxa de decomposição da matéria orgânica e na liberação de nutrientes (IWA; NAING OO; TOPARK-NGARM, 2012).

2.3 Efeito da salinidade sobre as plantas

A elevada concentração de sais solúveis altera o potencial osmótico da solução do solo, afetando não só as propriedades físico-químicas do solo, como também as comunidades microbianas e sua atividade, o que, por sua vez, pode ter uma influência negativa no crescimento e rendimento das plantas (RIETZ; HAYNES, 2003; SARDINHA et al., 2003).

Por outro lado, mudanças nas proporções de elementos químicos na solução e no complexo de troca do solo têm efeitos osmóticos e iônicos específicos que podem produzir desequilíbrios nutricionais nas plantas e toxicidade de íons, especialmente cloro e sódio (MUNNS, 2002; FLOWERS, 2004). Isto resulta na redução da taxa de crescimento e de acumulação de biomassa, por causa do custo metabólico de energia associada com a adaptação às condições de estresse salino. O aumento na pressão osmótica da solução do solo e a redução na taxa de infiltração da água resultam em limitação de absorção de água e nutrientes pelas plantas (MUNNS, 2002; RENGASAMY et al., 2003; TAIZ e ZEIGER, 2009).

Além das alterações nutricionais, o excesso de sais e de sódio pode promover alterações fisiológicas, como diminuição da taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e condutividade hidráulica das raízes, além de injúrias e abscisão foliar, levando à redução da taxa de crescimento (ROMERO-ARANDA et al., 1998; MUNNS, 2002).

2.4 Recuperação de solos salinos

Pesquisas têm demonstrado que solos salinos e sódicos podem ser reconduzidos ao estado produtivo, desde que aplicadas técnicas de recuperação. Em geral, estas técnicas envolvem o uso de corretivos, sendo o gesso, o ácido sulfúrico e o enxofre elementar, amplamente difundidos na literatura (VITAL et al., 2005; LEITE et al., 2007; QADIR et al., 2007; STAMFORD et al., 2007). No entanto, os custos com corretivos e sistemas de drenagem são elevados, além da necessidade de lâminas de água excedentes para lixiviação dos sais, o que pode inviabilizar a sua aplicação.

Em contrapartida, a fitorremediação é uma tecnologia promissora que utiliza plantas para reduzir a poluição da água e do solo (SUSARLA et al., 2002), podendo ser efetivamente usada para a reabilitação sustentável de solos contaminados. Nos últimos anos, tem recebido maior atenção como um método prático, relativamente de baixo custo e potencialmente limpo, para melhorar solos afetados por sais (GLICK, 2010; LI et al., 2015).

Algumas plantas tem a capacidade de hiperacumular sais, especialmente em sua parte aérea, sendo esses íons removidos do solo (QADIR et al., 1996; QADIR et al., 2007). Esta estratégia impede a entrada de sal (exclusão de sal na planta inteira

ou a nível celular) ou, ainda, minimiza a sua concentração no citoplasma (por compartimentalização dos sais nos vacúolos). Isto evita efeitos tóxicos sobre a fotossíntese e outros processos metabólicos fundamentais. Quando estes processos não existem ou são insuficientes, concentrações de Na^+ superiores a 100 mM inibem severamente muitas enzimas, incluindo as fotossintéticas (MUNNS, 2002; MUNNS et al., 2006).

Além de benefícios nas propriedades químicas e físicas do solo, a fitorremediação aumenta a estabilidade de agregados, atua no incremento da quantidade de macroporos que melhoram as propriedades hidráulicas do solo e o desenvolvimento do sistema radicular. Além disso, a remediação é mais uniforme e atinge maiores profundidades no solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes após a recuperação, e incrementa o sequestro de carbono pela revegetação de áreas degradadas. Ainda há benefícios econômicos, pela oferta de madeira e biomassa vegetal para alimentação animal, sendo uma solução viável para agricultores de baixa renda (QADIR et al., 2007).

Uma das espécies bastante difundidas no mundo e que vem sendo utilizada no Brasil é a *Atriplex nummularia* Lindl., considerada planta hiperacumuladora de sais (SOUZA et al., 2011), sendo os principais íons acumulados o cloreto e o sódio (FLOWERS e COLMER, 2008). Pode ser cultivada em regiões áridas, com precipitação média anual de 200 a 400 mm. Chega a alcançar, em campo, produção de matéria seca que varia de $0,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ sem irrigação em áreas salinizadas, a $12 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ quando irrigada, e pode chegar a produções de 15 a $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (BEN SALEM et al., 2010).

A *Atriplex*, no entanto, é uma espécie originária da Austrália, pouco conhecida e utilizada pelos agricultores do semiárido do Brasil, apesar de sua efetividade na recuperação dos solos degradados pela salinidade. Assim, seria interessante estudar espécies nativas da Caatinga, de uso difundido nas comunidades rurais e que tenham potencial de uso na revegetação de solos salinos.

Dentre as espécies nativas da Caatinga, as arbóreas têm a vantagem do sistema radicular profundo, atuando na melhoria da permeabilidade do solo, na lixiviação dos sais e no abaixamento do lençol freático (QADIR et al., 1996). Além disso, geralmente são espécies de uso múltiplo, algumas fixam o nitrogênio atmosférico e concentram matéria orgânica no solo. Contudo, poucos trabalhos foram realizados avaliando a tolerância à salinidade dessas espécies, principalmente

as arbóreas de ocorrência em ecossistema de Caatinga (TERTULIANO e SANTOS, 1998; HOLANDA et al., 2007; FREITAS et al., 2010; SOUSA et al., 2012). São necessários estudos em campo que verifiquem a potencialidade de uso dessas espécies na melhoria de solos degradados do semiárido.

2.5 Micro-organismos em solos salinos

Para a sobrevivência e desenvolvimento de espécies vegetais em ambiente de elevada salinidade, algumas interações biológicas têm sido estudadas no mundo, como associações com micro-organismos capazes de contribuir com as plantas e que podem ser decisivos na fitorremediação dos solos.

Do ponto de vista microbiológico, os solos salinos podem ser considerados como um ambiente extremo, limitante para a maioria dos organismos. A variação temporal e espacial na distribuição de água e a alta concentração de sais caracterizam estes solos como um habitat restrito, onde a maior parte dos micro-organismos presentes são halotolerantes (que toleram altas concentrações de sais), ou halófilos, que necessitam dos sais para manter a integridade da membrana, assim como a atividade e estabilidade das enzimas (DION e NAUTIYAL, 2008; CANFORA et al., 2015).

Nesses habitats, os micro-organismos podem compartilhar estratégias de adaptações para a manutenção de suas populações e, eventualmente, sobreviver às condições impostas. Geralmente, se encontram desde bactérias moderadamente halofílicas a bactérias extremamente halofílicas e comunidades de Archaea, que são essenciais para os processos biogeoquímicos nestes solos (MA e GONG, 2013).

Os principais mecanismos de tolerância das comunidades microbianas têm sido atribuídos a enzimas, as quais possuem características estruturais únicas que proporcionam a manutenção das comunidades em condições salinas elevadas, e estudá-las pode ser potencialmente útil para diversas aplicações, incluindo a remediação de solos afetados por sais (VENTOSA et al., 2008).

A medição das atividades das enzimas do solo e do C da biomassa microbiana têm se mostrado métodos adequados para avaliar as alterações na qualidade do solo, recuperação do solo a partir de perturbação ou estresse, e bons indicadores da função microbiana devido ao seu papel central na ciclagem de

nutrientes e a sua sensibilidade a mudanças nas práticas de manejo (CALDWELL, 2005; GARCÍA-RUIZ et al., 2009; BASTIDA et al., 2012).

2.6 Estrutura e diversidade das comunidades microbianas

Muitos estudos têm focado no isolamento e caracterização desses organismos e aplicações biotecnológicas estão sob investigação (VENTOSA et al., 1998; GHAZANFAR et al., 2010; KESHRI et al., 2013; CANFORA et al., 2014). No entanto, são necessários estudos mais extensos sobre a ecologia, estrutura, diversidade e funcionalidade dos organismos que ocorrem em solos salinos, principalmente em condições naturais. Estes solos têm um potencial biotecnológico em suas comunidades microbianas, que representam não só uma reserva de genes para potenciais aplicações biotecnológicas no melhoramento e conservação de ambientes salinos, mas podem servir como sistemas modelo para explorar as relações entre diversidade e atividade no nível do solo (CANFORA et al., 2015).

Técnicas baseadas no DNA têm se tornado uma ferramenta poderosa para estudar e identificar a diversidade e a composição de comunidades microbianas do solo (CANFORA et al., 2015). Alguns genes são frequentemente associados a organismos específicos. Sendo assim, a detecção desses genes funcionais em uma amostra ambiental implica na presença do organismo associado a este gene. As principais técnicas empregadas neste tipo de análise de comunidades microbianas são a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), análise de fragmentos de DNA por Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante (DGGE), clonagem molecular, sequenciamento e análise de DNA (MADIGAN et al., 2016).

Estas técnicas podem auxiliar na identificação de comunidades de micro-organismos presentes em ambientes conforme o grau de salinidade. No futuro, estes micro-organismos detectados poderão ser utilizados como agentes facilitadores no estabelecimento de plantas usadas na revegetação de áreas degradadas pelo acúmulo de sais, contribuindo para o sucesso da técnica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A seleção da área foi realizada por meio de visitas e coleta de amostras de solo a diversas áreas afetadas por sais no semiárido de Pernambuco. Foi selecionada uma área de pasto degradado, sem uso agrícola por cerca de 20 anos e com acúmulo de sais a níveis intermediários. A área localiza-se na Fazenda Santa Maria, município de Caruaru, nas coordenadas geográficas S 08°15'00.4" e WO 35°52'38.0" (Figura 1).

A área tem relevo suave ondulado, com ligeiro desnível e encontrava-se com cobertura de pasto degradado na instalação do experimento. Apesar do predomínio de areia na composição granulométrica do solo, exibe problemas de infiltração de água, com presença de camada de impedimento a pouca profundidade (aproximadamente 15 cm). A salinidade apresentou-se mais acentuada em subsuperfície, havendo maiores problemas quanto às propriedades físicas do solo, causando restrições à penetração de raízes e à movimentação de água e ar no perfil do solo.

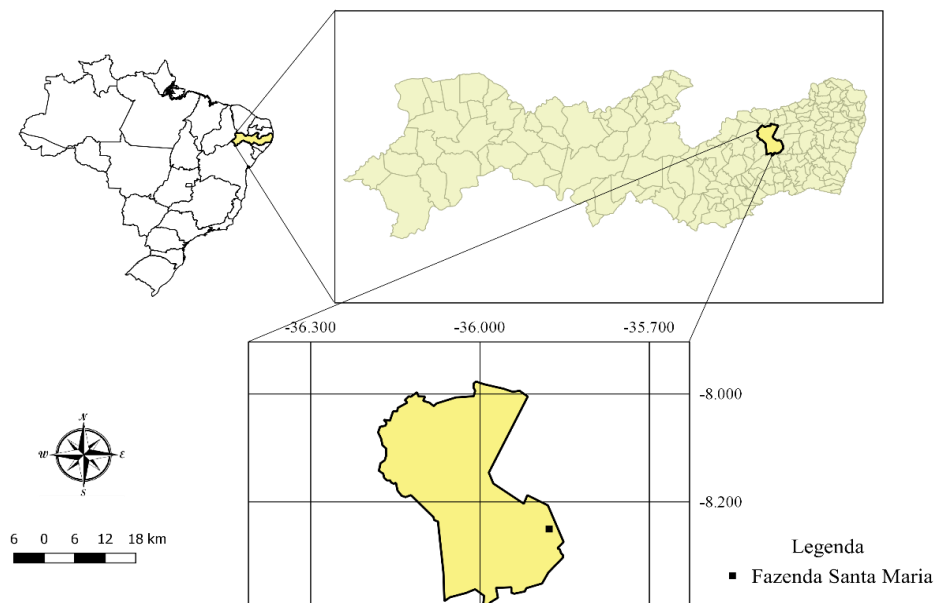


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo. Em destaque o Estado de Pernambuco e o município de Caruaru.

O regime pluviométrico no município de Caruaru tem variado bastante ao longo do tempo, com anos mais úmidos e outros mais secos, e com má distribuição das chuvas durante o ano, que são concentradas principalmente nos meses de junho e julho. Observou-se, ainda, nos últimos 6 anos, um evento de escassez de chuvas, com uma precipitação acumulada abaixo de 600 mm em todo o ano (Figura 2).

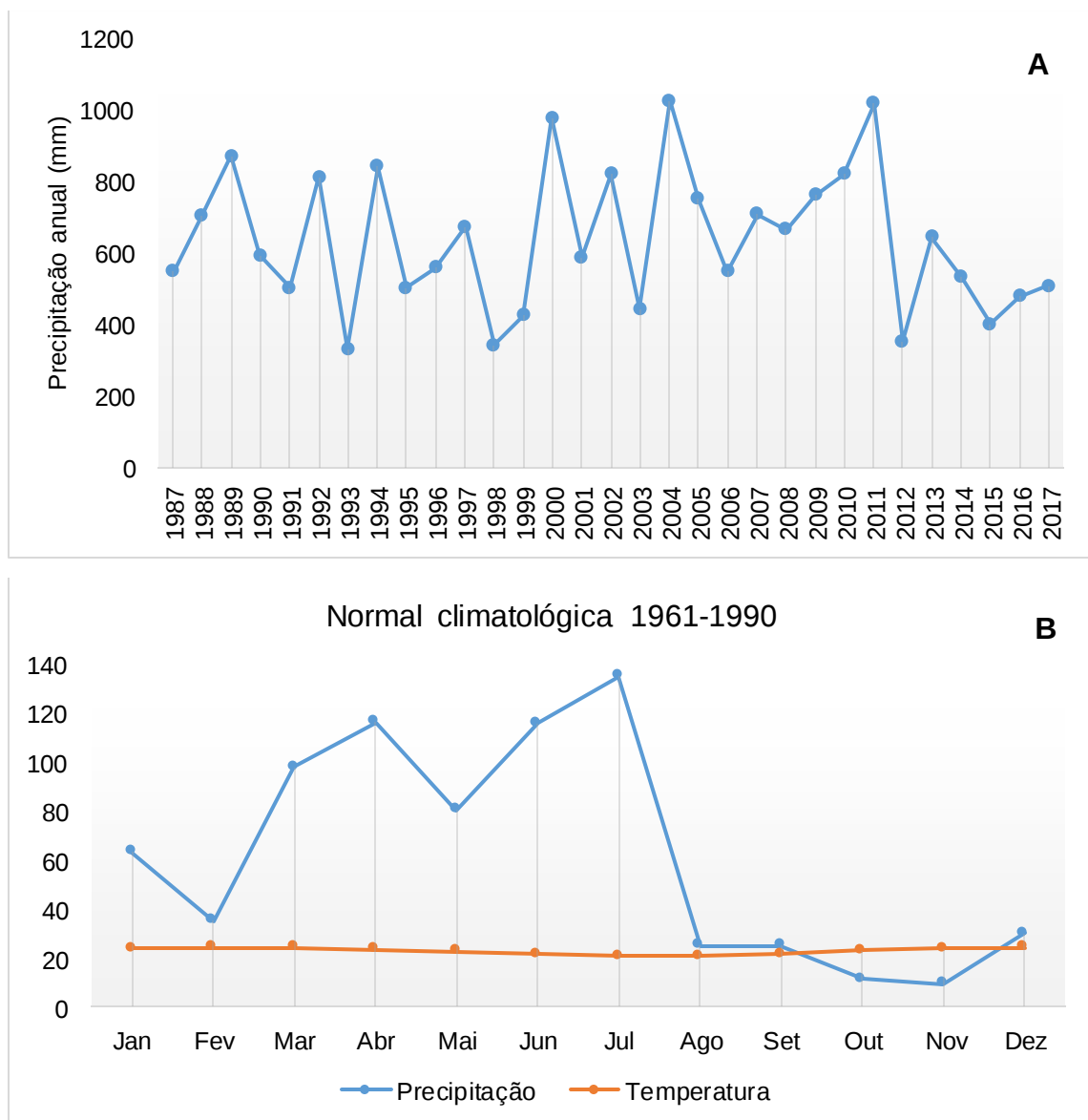


Figura 2. Precipitação acumulada (mm) dos últimos 30 anos (A) e sua distribuição ao longo do ano (B), no município de Caruaru – PE. Dados retirados do site da Apac e do INMET.

3.2 Montagem e condução do experimento

A área experimental foi cercada para proteção contra a entrada de animais e foi realizada a limpeza da vegetação herbácea presente, sem revolvimento do solo. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com oito tratamentos, sendo sete de cultivo de plantas (seis espécies nativas e a *Atriplex nummularia* L.) e o tratamento sem cultivo de planta (controle), em quatro repetições, totalizando 32 parcelas experimentais (Figura 3). O plantio foi realizado no espaçamento de 2 x 3 m, em parcelas de 10 x 14 m (140 m²), com 25 plantas por parcela, e área útil de 6 x 8 m (48 m²) com as nove plantas centrais (Figura 4).

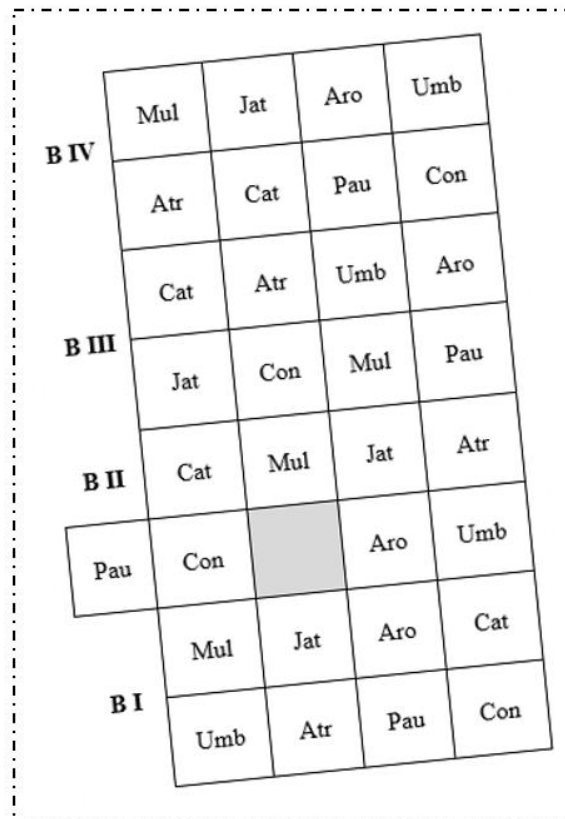


Figura 3. Esquema de disposição dos blocos e parcelas na área experimental.

As espécies nativas da Caatinga utilizadas foram escolhidas com base em trabalhos que vem sendo conduzidos e em resultados disponíveis na literatura (NEVES, et al., 2004; BESSA, 2012; SOUSA et al., 2012; SÁ et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2015), são elas: Aroeira-do-Sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), Jatobá (*Hymenaea*

courbaril L.), Mulungu (*Erythrina mulungu* Mart. ex Benth.), Pau-Ferro (*Caesalpinia leiostachya* (Benth.) Ducke) e Umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). As mudas das espécies nativas foram cedidas pela *Companhia Hidro-Elétrica do São Francisco* (CHESF), por meio da sementeira em Xingó. As mudas de *Atriplex nummularia* Lindl foram propagadas por estaquia e cedidas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), utilizadas como planta teste e padrão de comparação. Existindo, também, parcelas sem plantas, como tratamento controle (testemunha).

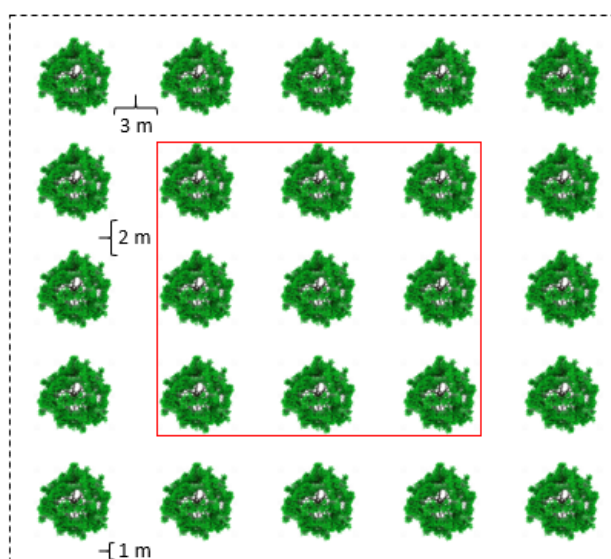


Figura 4. Esquema da disposição das plantas na parcela e área útil.

As mudas foram transplantadas a campo quando estavam entre 20 e 30 cm de altura (*Atriplex*, *Catingueira*, *Jatobá* e *Mulungu*) e entre 70 e 80 cm (*Aroeira*, *Pau Ferro* e *Umbuzeiro*), e receberam irrigação semanal na cova (10 cm de diâmetro) durante os dois primeiros meses, para seu estabelecimento, com água bombeada diretamente do Rio Ipojuca, em virtude da baixa precipitação pluviométrica ocorrida durante a condução do experimento (Tabela 1).

Tabela 1. Precipitação mensal e acumulada no município de Caruaru durante a condução do experimento

Precipitação (mm)										
2016						2017				
Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Total
14,8	19,7	29,6	2,0	-	4,0	3,1	53,2	16,1	28,0	170,5

3.3 Avaliação do Solo

Para avaliar alterações nas propriedades químicas dos solos cultivados, ao início do experimento (julho-agosto/2016) e aos nove meses (abril/2017) foram coletadas amostras compostas em cada parcela útil. A coleta foi realizada distando 30 cm das plantas, nas profundidades de 0-5, 5-25 e 25-50 cm, sendo estas amostras com estrutura deformada. Também foram coletadas amostras indeformadas, por meio de cilindros volumétricos, para realização de análises físicas. As amostras com estrutura deformada foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), utilizada para realização das análises químicas.

Para estimar a biomassa microbiana e a quantificação do C respirado pela microbiota do solo foram coletadas amostras de solo, próximo à zona radicular das plantas, na camada de 0-20 cm, as quais foram conservadas em caixas térmicas com gelo até o transporte ao laboratório, onde foram armazenadas sob refrigeração, para posterior análise.

A estrutura e a diversidade das comunidades microbianas foram avaliadas ao longo de um gradiente de salinidade. Foram selecionadas três manchas de sais dentro da área do experimento, com diferentes níveis de salinidade (Alta salinidade – 17 dS m⁻¹, Média salinidade – 8 dS m⁻¹, Baixa salinidade – 4 dS m⁻¹) e uma área preservada a poucos metros da área do experimento (Mata Nativa) que não apresentava degradação por sais (0,6 dS m⁻¹). Em cada nível de salinidade foram coletadas três amostras, na camada de 0-20 cm, formando um triângulo, com as extremidades distando 2,5 m uma da outra. As amostras foram conservadas com gelo até o transporte ao laboratório, onde foram armazenadas a -20 °C.

3.3.1 Análises químicas do solo

Para a caracterização química do solo foram realizadas as análises dos elementos solúveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-}), após o preparo da pasta de saturação (USSL, 1954) e mensurados a condutividade elétrica e o pH. Ainda foram realizadas as análises de pH em água, na proporção solo:água de 1:2,5 (EMBRAPA, 2009); cátions trocáveis extraídos por acetato de amônio 1 mol L^{-1} , capacidade de troca de cátions (CTC), pelo método do acetato de sódio/acetato de amônio (USSL, 1954). Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica e Na^+ e K^+ por fotometria de emissão de chama, Cl^- por volumetria, CO_3^{2-} e HCO_3^- por titulometria e SO_4^{2-} por colorimetria. O Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado por via úmida (EMBRAPA, 2009). A relação de adsorção de sódio (RAS) e a porcentagem de sódio trocável (PST) foram calculadas com o resultado das análises de elementos solúveis e trocáveis, respectivamente, conforme USSL (1954).

3.3.2 Análises físicas do solo

Foram determinadas a composição granulométrica e a argila dispersa em água, pelo método da pipeta, adaptado por Ruiz (2005), e calculados os índices de dispersão e floculação do solo. A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, a porosidade pelo método da saturação dos poros e a condutividade hidráulica em meio saturado pelo método do permeâmetro de coluna vertical e carga constante (EMBRAPA, 2011). As amostras ainda foram submetidas a tensões de -10, -60 e -100 cm de coluna de água, em mesa de tensão, para obtenção da umidade nos macroporos, mesoporos e na capacidade de campo.

Após o equilíbrio das tensões aplicadas a amostra foi pesada e realizado o ensaio de resistência a penetração, por um penetrômetro eletrônico de bancada. Adotou-se uma haste de ponta cônica com um ângulo de penetração de 30° com 3,96 mm de diâmetro. A velocidade de penetração foi de 10 mm s^{-1} medindo a resistência da superfície até a profundidade de 4,5 cm e os valores iniciais e finais foram descartados por conta do efeito de bordadura, considerando apenas os dados

dos 3 cm centrais da amostra. Com as leituras realizadas neste intervalo, foi calculada a média da resistência do solo à penetração.

3.3.3 Análises microbiológicas

A biomassa microbiana foi determinada pelo método da irradiação-extração (MENDONÇA; MATOS, 2005), que se baseia na promoção do rompimento celular pela utilização de energia eletromagnética, liberando os compostos intracelulares para posterior extração e quantificação do C. A diferença entre as quantidades de C das amostras irradiada e não irradiada resulta no C da biomassa microbiana. A extração foi feita com sulfato de potássio 0,5 mol L⁻¹ e a quantificação foi realizada por titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,03 mol L⁻¹, de uma alíquota do extrato oxidada com excesso de dicromato de potássio 0,066 mol L⁻¹ em meio ácido.

A quantificação do C respirado pela microbiota do solo foi realizada pelo método de respirometria, evolução de C-CO₂ ou C mineralizável, que se fundamenta na captura de CO₂ emitido de uma amostra de solo, quando incubado em um ambiente fechado por determinado período de tempo. O gás liberado reage com uma solução de NaOH e foi quantificado por titulação com HCl, após precipitação do carbonato com solução de BaCl₂, usando fenolftaleína como indicador (MENDONÇA; MATOS, 2005). A partir destes dois indicadores foi calculado o Quociente metabólico (qCO₂).

$$qCO_2 = \frac{C - CO_2}{C_{micro}}$$

Onde, qCO₂ – Quociente metabólico do solo em µg g⁻¹ dia⁻¹; C-CO₂ – Respiração basal do solo em µg g⁻¹ dia⁻¹; C-mic – Carbono da biomassa microbiana em µg g⁻¹

3.3.4 Extração do DNA do solo

Para a extração do DNA do solo foi utilizado o PureLink™ Microbiome DNA Purification Kit (Invitrogen, Carlsbad, CA). Foi adicionado 0,5 g de solo em microtubos contendo granada finamente moída e as células foram lisadas por agitação. Após a lise celular, o DNA total do solo foi extraído de acordo com as

instruções do fabricante. Para observar a integridade do DNA e quantificá-lo, uma alíquota de 4 µL foi submetida à eletroforese em gel de agarose 1% em tampão TAE 1x (Tris, Ácido acético, EDTA) adicionado ao corante *Sybr® Green* (Life Technologies, Carlsbad, Estados Unidos). O gel foi submetido a um campo eletroforético de 100 volts por 30 minutos. A aquisição da imagem do gel foi feita por captura de imagem em transluminador (Vilber Lourmat, Torcy, França) e analisada pelo programa *Image Quant TL* (GE Healthcare, Uppsala, Suécia).

3.3.5 Análise em Gel de Eletroforese com Gradiente Desnaturante (PCR-DGGE)

As comunidades de bactérias foram analisadas por meio do gene 16S rRNA utilizando os iniciadores 341f⁺GC e 518r. As concentrações e condições das reações foram feitas conforme descrito por Heuer et al. (1997). Para as comunidades de fungos, a região ITS1 do gene 18S rRNA foi amplificada utilizando os iniciadores EF4, ITS4, ITS1-F-GC e ITS2, e as concentrações e condições das reações foram feitas conforme Matos (2015) (Tabela 1).

Tabela 2. Iniciadores e condições das reações utilizados para amplificar os genes de interesse

Iniciadores PCR-DGGE	Condições das reações
Bactérias (16S rRNA)	
U968 ⁺ CG R1378 (HEUER et al., 1997)	94 °C por 4 min, 1 ciclo
	94 °C por 1 min, 56 °C por 1 min, 72 °C por 2 min, 35 ciclos
	72 °C por 10 min de extensão final
Fungos (ITS)	
EF4 (SMIT et al., 1999) ITS4 (WHITE et al., 1990)	94 °C por 5 min, 1 ciclo
	94 °C por 5 min, 55 °C por 30 s, 72 °C por 1 min e 30 s, 34 ciclos
	72 °C por 5 min de extensão final
ITS1-F-GC (GARDES; BRUNS, 1993) ITS2 (ANDERSON et al., 2003)	94 °C por 5 min, 1 ciclo
	94 °C por 30 s, 55 °C por 30 s, 72 °C por 30 s, 34 ciclos
	72 °C por 5 min de extensão final

Todos os produtos de PCR foram verificados em gel de agarose 1%. As análises por DGGE foram realizadas no sistema de eletroforese vertical DCode (BioRad). Para a análise, foram preparados géis de poliacrilamida 6%, com gradiente desnaturante de 30 a 60% para o gene 16S rRNA, de 30 a 55% para ITS (onde 100% de desnaturação consiste na concentração de 7 mol L⁻¹ de ureia e 40% de formamida). Os géis foram submetidos à eletroforese por 3 horas a 100 volts com temperatura de 65 °C. Após eletroforese, os géis foram corados com SYBR-gold (Invitrogen, Breda, The Netherlands) em TAE 0,5 x no escuro por 30 minutos e fotografados sob luz ultravioleta.

3.4 Análises estatísticas e interpretação dos resultados

Pelo pouco tempo de cultivo e pequeno crescimento das plantas em função da escassez de água, não houve interferência destas nas propriedades químicas e físicas do solo. Assim, os resultados obtidos foram submetidos à análise descritiva, sendo apresentados na forma de valores médios, máximos e mínimos nas camadas.

A similaridade entre as estruturas de comunidades de bactérias, fungos e archaeas foram determinadas com base na presença ou ausência de amplicons detectados após DGGE. Os géis foram analisados utilizando-se o programa *Diversity Database* para determinação da riqueza de amplicons. A partir das matrizes geradas, foram realizadas análises de nMDS ('non-Metric Multidimensional Scaling') com o programa 'Primer 6' (Phymouth Marine, Primer, Reino Unido), sendo adotado como estimativa de similaridade o modelo 'Jaccard'. O índice de similaridade foi obtido pela análise de similaridade (ANOSIM). Esta análise teve como objetivo testar se há diferença significativa entre os diferentes níveis de salinidade (CLARKE, 1993).

A diversidade das comunidades de bactérias (16S rRNA) e fungos (18S rRNA) foi avaliada pelo índice de diversidade de Shannon (Shannon & Weaver, 1963) e índice de dominância de Simpson (Simpson, 1949). Para isso foram utilizados o número de bandas presentes nas faixas do gel e os perfis de intensidade de bandas, onde a intensidade foi considerada como a altura dos picos no perfil. Os índices de Shannon (H') e Simpson (D) foram calculados de acordo com as seguintes equações:

$$H' = \sum_{i=1}^{i=n} p_i \ln p_i$$

$$D = \sum_{i=1}^{i=n} p_i^2$$

onde n é o número de bandas no perfil, $p_i = n_i/N$; n_i é a altura do pico e N é a soma de todas as alturas dos picos no perfil.

Também foram feitas análises de correlações canônica, adotando-se dois grupos: O grupo um (1) variáveis relacionadas com a microbiota do solo (C-mic, C-CO₂, qCO₂) e o grupo (2) variáveis relacionadas com a salinidade do solo (pH em água, pH_{es}, CE_{es}, cátions solúveis e trocáveis (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), ânions solúveis (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻) e COT).

Foi realizada análise multivariada empregando técnicas de análise por componentes principais para o entendimento de como os atributos interagem. Foram considerados os atributos C-mic, C-CO₂, qCO₂, pH em água, pH, CE, cátions solúveis e trocáveis (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), ânions solúveis (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻) e COT, na camada de 0-20 cm, cujos valores originais foram normalizados para média igual 0 e variância igual a 1, a fim de compor as variáveis utilizadas na análise fatorial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos

Com base nos resultados, foi possível observar o aumento no pH, condutividade elétrica (CE) e na concentração de sais, sobretudo Na^+ e Cl^- , em profundidade, com maiores teores destes elementos na camada de 25 a 50 cm de profundidade (Tabelas 3, 4 e 5). Também houve aumento destas variáveis entre a primeira e a segunda amostragem do solo, o que pode ser explicado pela escassez de chuvas durante o período do experimento. Em regiões semiáridas, o teor de sais no solo varia sazonalmente com base no equilíbrio entre a acumulação de sais durante a estação seca e sua lixiviação durante a estação chuvosa (LIU et al., 2010). No entanto, em anos de maior escassez hídrica não ocorre a lixiviação e os teores de sais são elevados com o tempo, promovendo extensão das áreas degradadas.

Pela normal climatológica dos últimos 30 anos na área experimental, a precipitação nos meses de janeiro a abril teriam volumes consideráveis precipitados (311,7 mm). Contudo, no ano em que o experimento foi conduzido, isso não foi verificado, com uma precipitação de apenas 100,4 mm o que pode ter interferido no aumento da salinidade do solo na área. Os teores de sais acumulados nos solos variam no espaço e no tempo, atingindo valores mais elevados após longos períodos de estiagem, como o que houve nos meses do experimento. A CE variou de 13,25 a 0,22 dS m^{-1} no tempo 0 a 34,64 a 0,30 dS m^{-1} no tempo 9 (Tabela 3), com alguns valores superando o limite de salinidade definido para a maioria das plantas, que é de 4 dS m^{-1} (USSSL Staff, 1954).

Apesar desta variabilidade nos valores máximos e mínimos de CE, os valores médios foram relativamente baixos, na faixa de 0,76 a 11,39 dS m^{-1} . Estes resultados foram inferiores aos encontrados por Silva et al. (2016), Freire et al. (2014), Souza et al. (2011), Miranda et al. (2011), em solos do sertão de Pernambuco. É uma das características de solos afetados por sais, a variabilidade espacial abrange diferenças em profundidade e horizontalmente. Isso faz com que, numa mesma população de plantas, algumas apresentem sintomas mais expressivos de toxidez e de excesso de sais no solo.

Tabela 3. Valores de pH em água (pH_{H2O}), pH da pasta saturada (pH_{es}) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 e 9 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm

Trat	T	Prof.	pH _{H2O}					pH _{es}					CE _{es} (dS m ⁻¹)				
			$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV
Con	0	0 - 5	6,13	6,77	5,43	0,55	8,96	6,40	6,96	5,65	0,64	10,03	1,07	1,83	0,70	0,51	48,15
		5 - 25	6,01	6,55	5,30	0,53	8,89	6,00	6,97	5,25	0,74	12,37	0,89	2,11	0,31	0,82	92,54
		25 - 50	6,19	6,91	5,54	0,56	9,08	6,18	6,77	5,22	0,67	10,81	2,49	4,44	0,72	1,61	64,42
	9	0 - 5	6,35	6,81	5,99	0,42	6,60	6,77	7,26	6,40	0,36	5,32	0,76	1,64	0,43	0,59	77,70
		5 - 25	5,81	6,40	5,40	0,46	7,84	6,44	7,03	6,06	0,42	6,52	1,57	2,38	1,08	0,56	36,05
		25 - 50	6,34	6,80	5,85	0,49	7,80	7,25	7,45	7,08	0,15	2,12	6,43	11,99	0,78	4,64	72,24
Atr	0	0 - 5	6,22	6,58	5,66	0,41	6,65	6,54	6,96	5,89	0,46	7,01	1,02	1,22	0,61	0,29	28,27
		5 - 25	5,89	6,12	5,22	0,45	7,56	6,47	7,22	5,66	0,86	13,33	1,41	1,82	1,22	0,28	20,02
		25 - 50	6,27	7,66	5,51	0,95	15,15	5,84	6,34	5,38	0,48	8,25	7,58	10,04	4,88	2,59	34,12
	9	0 - 5	6,10	6,68	5,56	0,57	9,41	7,20	7,48	7,01	0,22	3,01	3,14	6,61	1,40	2,37	75,57
		5 - 25	5,85	6,56	5,40	0,53	9,14	6,75	7,42	5,90	0,66	9,85	7,37	13,96	2,37	5,91	80,14
		25 - 50	5,90	6,53	5,28	0,56	9,52	7,02	7,63	6,74	0,42	6,00	10,27	15,79	4,49	5,34	52,04
Aro	0	0 - 5	6,15	6,45	5,96	0,21	3,45	6,09	6,78	5,64	0,49	8,11	1,10	2,43	0,35	0,93	84,61
		5 - 25	6,09	6,29	5,72	0,27	4,37	6,24	7,02	5,75	0,61	9,75	1,58	4,07	0,33	1,69	107,15
		25 - 50	5,92	6,14	5,58	0,24	4,04	5,82	6,58	5,06	0,66	11,42	6,09	9,41	1,32	3,68	60,50
	9	0 - 5	6,05	6,24	5,76	0,21	3,40	6,71	7,48	5,78	0,72	10,80	2,82	8,50	0,67	3,80	134,77
		5 - 25	5,19	5,41	5,06	0,15	2,93	6,67	7,30	6,06	0,67	10,00	6,59	12,57	2,41	4,76	72,29
		25 - 50	5,52	5,69	5,31	0,19	3,52	7,21	7,40	7,08	0,14	1,91	11,16	15,05	7,52	3,09	27,74
Cat	0	0 - 5	6,30	6,57	5,75	0,38	6,10	6,80	7,53	5,54	0,88	12,88	1,40	2,92	0,67	1,06	75,77
		5 - 25	6,22	6,62	5,93	0,29	4,70	6,60	6,97	5,81	0,54	8,14	2,09	6,90	0,34	3,20	153,02
		25 - 50	6,25	6,43	5,90	0,24	3,79	6,38	6,96	5,44	0,66	10,27	3,61	6,97	0,49	2,71	75,01
	9	0 - 5	6,34	6,77	5,51	0,56	8,90	7,52	8,24	6,42	0,78	10,40	3,51	11,09	0,30	5,12	146,11
		5 - 25	5,76	6,04	5,44	0,25	4,35	7,23	7,35	6,97	0,18	2,43	6,60	16,50	1,19	7,23	109,45
		25 - 50	5,87	6,14	5,48	0,29	4,88	7,31	7,56	7,04	0,23	3,20	9,44	17,21	1,21	6,98	73,91

Tabela 3. (cont.)

Jat	0	0 - 5	6,09	6,46	5,85	0,26	4,31	6,35	7,08	5,83	0,56	8,88	0,85	1,41	0,45	0,41	48,04
		5 - 25	6,11	6,58	5,80	0,33	5,41	6,25	7,08	5,78	0,58	9,25	1,13	3,03	0,22	1,28	113,05
		25 - 50	6,14	6,54	5,71	0,37	6,00	5,82	7,00	4,78	0,93	16,05	2,41	4,44	0,76	1,77	73,62
	9	0 - 5	6,18	6,78	5,63	0,48	7,80	7,23	7,86	6,72	0,52	7,20	1,23	1,82	0,47	0,67	54,93
		5 - 25	5,66	5,99	5,41	0,28	5,01	7,06	7,21	6,81	0,22	3,06	8,08	9,78	6,92	1,50	18,57
		25 - 50	6,31	6,58	6,14	0,19	3,03	7,44	7,68	7,25	0,20	2,62	11,39	14,92	3,26	5,45	47,88
Mul	0	0 - 5	6,29	6,83	5,85	0,43	6,85	6,61	7,37	5,93	0,71	10,67	1,00	1,39	0,43	0,43	42,70
		5 - 25	6,26	6,78	5,79	0,41	6,50	6,53	7,24	5,10	0,97	14,80	0,95	1,65	0,43	0,52	54,44
		25 - 50	6,18	7,06	5,38	0,70	11,39	5,97	6,97	5,15	0,77	12,92	6,09	8,27	4,07	1,72	28,27
	9	0 - 5	6,13	6,31	5,91	0,20	3,19	6,99	7,17	6,66	0,23	3,27	0,89	1,39	0,44	0,43	47,88
		5 - 25	5,71	6,43	5,17	0,54	9,41	6,74	7,44	6,13	0,55	8,12	5,08	11,83	1,02	4,78	93,99
		25 - 50	6,17	6,68	5,34	0,59	9,51	7,14	7,53	6,42	0,50	6,97	9,27	13,14	4,28	3,69	39,76
Pau	0	0 - 5	6,66	7,37	5,78	0,69	10,42	6,48	7,35	5,62	0,85	13,20	4,09	12,82	1,01	5,82	142,52
		5 - 25	6,22	7,01	5,86	0,54	8,70	6,17	7,07	5,60	0,63	10,23	3,28	10,45	0,68	4,78	145,73
		25 - 50	6,07	6,78	5,54	0,54	8,90	6,19	6,96	5,33	0,69	11,15	6,26	13,25	0,68	5,22	83,35
	9	0 - 5	5,98	6,09	5,78	0,14	2,31	7,17	7,69	6,73	0,40	5,58	9,28	34,64	0,57	16,91	182,13
		5 - 25	5,78	6,13	5,43	0,49	8,56	6,60	7,14	6,12	0,52	7,90	5,28	12,57	1,70	4,93	93,52
		25 - 50	6,20	7,68	5,39	1,01	16,32	7,31	7,60	7,09	0,22	3,01	9,34	13,28	1,84	5,11	54,74
Umb	0	0 - 5	5,94	6,40	5,43	0,40	6,71	6,04	6,94	5,19	0,72	11,95	0,89	1,39	0,43	0,42	47,05
		5 - 25	6,11	6,37	5,92	0,20	3,35	6,28	6,51	6,08	0,23	3,70	1,01	2,35	0,44	0,91	90,30
		25 - 50	6,40	6,98	6,05	0,42	6,63	6,26	6,75	5,79	0,40	6,43	4,33	8,94	1,35	3,68	84,95
	9	0 - 5	5,93	6,37	5,41	0,42	7,05	7,09	7,30	6,95	0,15	2,14	1,47	3,37	0,75	1,27	86,31
		5 - 25	5,77	6,40	5,22	0,55	9,62	6,78	7,24	6,35	0,37	5,43	5,47	11,16	0,47	4,39	80,32
		25 - 50	6,27	7,21	5,36	0,93	14,77	7,40	7,56	7,31	0,11	1,48	9,47	12,85	1,53	5,34	56,41

$\bar{x}$ - Média; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; S - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de variação; Con - Controle; Atr - Atriplex; Aro - Aroeira; Cat - Catingueira; Jat - Jatobá; Mul - Mulungu; Pau - Pau Ferro; Umb - Umbuzeiro.

Da mesma forma, o pH variou de alcalino a ligeiramente ácido, alcançando valores máximos de pH em água e da pasta saturada, respectivamente, de 7,68 e 8,24 e valores mínimos de 5,06 e 4,78. Alguns autores mostraram que o pH do solo está correlacionado positivamente com o conteúdo de Na^+ no solo (WU et al., 2009; YAO et al., 2013), e que o pH do solo diminui com o processo de dessalinização (LI et al., 2015). Isto se justifica porque o acúmulo de sais ocorre por deficiência em drenagem, que também diminui a entrada de íons ácidos e lixiviação de bases do solo, mecanismos que promovem a acidificação natural.

De maneira geral, os teores de Na^+ e Cl^- predominaram na solução do solo em detrimento dos outros elementos, com teores máximos de 100,90 e 394,12 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, no tempo 0 e 9 de sódio, respectivamente, e 158,85 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ de cloro. Seguido por Mg^{2+} (33,74 e 156,02 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Ca^{2+} (13,22 e 48,30 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e, por último, K^+ (12,74 e 18,93 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$). Comumente, os teores de Mg^{2+} são inferiores aos de Ca^{2+} , entretanto, em solos afetados por sais, esta inversão é comum e também pode contribuir para a dispersão dos coloides do solo, pelo Mg^{2+} ter um raio iônico hidratado maior que o Ca^{2+} , tendo um efeito mais dispersivo que este. Ambos os elementos aumentam em profundidade, como citado anteriormente, com exceção do K^+ (Tabelas 4 e 5).

Enquanto que na solução há o predomínio do íon Na^+ , no complexo de troca o Ca^{2+} está presente em maiores concentrações (3,82 e 4,54 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), seguido por Mg^{2+} (3,04 e 3,72 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), K^+ (1,03 e 1,58 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) e, por último, o Na^+ (0,92 e 0,87 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) (Tabela 6). A seletividade de troca de cátions no complexo de troca possibilita a adsorção de cátions bivalentes em detrimento aos monovalentes, e cátions de menor raio iônico hidratado (Ca^{2+}) têm preferência em relação aos maiores (Mg^{2+}).

Por outro lado, os teores dos cátions trocáveis diminuem em profundidade, com exceção do Na^+ . Isto pode estar associado à movimentação de coloides no perfil do solo, concentrando-se em subsuperfície e formando horizontes mais adensados, o que será confirmado na avaliação das propriedades físicas do solo (FREIRE et al., 2003).

Tabela 4. Teores de cátions solúveis no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 e 9 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm

Trat	T	P	Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)					K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)					Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)					Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)				
			$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV
Con	0	0 - 5	2,94	9,53	0,44	4,40	149,51	1,97	2,69	0,80	0,82	41,48	2,33	3,19	1,53	0,80	34,54	2,66	3,90	1,76	0,98	37,01
		5 - 25	4,21	11,44	0,82	4,88	115,85	1,19	2,67	0,49	1,02	85,60	1,70	3,35	0,29	1,31	77,06	2,19	5,93	0,40	2,54	115,96
		25 - 50	13,27	22,92	1,86	9,14	68,90	0,39	0,74	0,17	0,25	64,37	3,03	6,46	0,51	2,63	86,93	5,70	14,12	0,40	5,91	103,76
	9	0 - 5	1,62	4,63	0,38	2,02	124,50	1,79	2,33	1,23	0,45	25,25	2,59	4,58	1,84	1,33	51,51	1,79	2,80	1,23	0,69	38,72
		5 - 25	3,87	6,43	1,56	2,18	56,49	1,49	2,57	0,45	1,03	69,28	3,58	6,34	2,40	1,85	51,81	4,08	5,76	2,86	1,21	29,73
		25 - 50	48,45	105,51	2,66	42,80	88,35	0,52	0,89	0,19	0,32	61,17	6,76	16,07	1,10	6,48	95,83	15,04	36,86	1,32	15,25	101,40
Atr	0	0 - 5	3,01	5,95	1,60	1,98	65,76	1,74	2,98	0,89	1,01	57,89	1,79	2,76	1,14	0,70	38,89	2,81	4,16	1,07	1,36	48,54
		5 - 25	13,32	27,94	3,65	10,56	79,27	1,96	6,37	0,33	2,94	150,04	2,23	3,83	0,96	1,32	59,00	3,97	8,55	1,74	3,21	80,81
		25 - 50	39,08	67,36	18,19	20,79	53,21	0,97	1,38	0,50	0,42	43,27	7,24	13,22	3,02	4,86	67,18	15,13	27,15	3,39	11,44	75,60
	9	0 - 5	9,50	24,80	2,39	10,30	108,45	3,01	7,07	1,21	2,78	92,47	7,93	13,92	4,30	4,21	53,07	10,30	22,55	3,93	8,39	81,40
		5 - 25	49,51	102,23	7,15	46,23	93,37	1,74	2,34	1,23	0,47	26,94	12,12	22,25	4,18	9,27	76,45	24,69	43,94	6,42	19,78	80,12
		25 - 50	86,74	128,52	39,94	40,20	46,35	0,88	1,27	0,59	0,29	32,41	13,32	29,32	5,71	10,84	81,35	25,71	52,25	6,25	20,24	78,71
Aro	0	0 - 5	2,29	5,07	0,58	2,06	90,22	1,87	4,08	0,84	1,49	79,51	2,10	3,66	0,64	1,62	77,21	3,02	5,68	0,95	2,39	78,96
		5 - 25	5,48	11,52	1,09	4,54	82,77	0,96	2,30	0,44	0,90	93,32	2,25	6,25	0,65	2,67	118,68	3,81	10,45	1,22	4,44	116,35
		25 - 50	35,92	58,13	6,21	23,66	65,87	0,88	1,59	0,33	0,53	59,59	5,56	8,97	1,77	3,29	59,16	15,80	33,74	2,71	13,43	85,03
	9	0 - 5	11,78	41,17	0,62	19,62	166,54	2,81	4,49	1,33	1,36	48,23	4,97	11,01	2,71	4,04	81,17	10,84	34,89	1,05	16,12	148,70
		5 - 25	39,82	98,94	5,09	44,28	111,21	1,22	1,58	0,88	0,29	23,41	10,67	15,51	5,37	4,43	41,54	18,04	35,88	6,67	13,26	73,49
		25 - 50	74,70	113,73	29,91	36,44	48,79	1,19	1,98	0,65	0,64	53,59	14,17	20,15	8,93	5,97	42,10	29,17	43,45	14,15	11,98	41,06
Cat	0	0 - 5	5,00	16,25	0,45	7,54	151,05	2,69	3,86	1,53	1,03	38,23	2,34	3,69	0,72	1,32	56,36	2,72	5,25	0,85	1,90	69,77
		5 - 25	11,78	43,55	0,75	21,18	179,77	0,96	1,27	0,72	0,24	24,72	2,03	5,58	0,03	2,44	120,22	4,47	14,41	0,59	6,64	148,39
		25 - 50	20,07	45,24	2,95	18,00	89,71	0,81	1,25	0,59	0,31	37,70	3,14	4,72	0,61	1,77	56,29	6,63	10,51	0,76	4,16	62,69
	9	0 - 5	15,79	61,14	0,20	30,24	191,50	5,86	18,93	1,38	8,72	148,92	5,06	8,99	1,33	3,56	70,31	11,91	36,54	0,21	16,65	139,76
		5 - 25	44,49	125,24	0,87	58,41	131,30	2,47	3,36	1,48	0,91	36,73	9,62	25,70	3,12	10,75	111,79	19,30	52,99	2,72	23,54	122,01
		25 - 50	68,97	140,03	2,07	65,95	95,62	1,35	2,15	0,85	0,59	43,79	18,72	48,30	4,50	20,07	107,19	29,56	58,59	3,37	22,60	76,45

Tabela 4. (cont.)

Jat	0	0 - 5	1,64	3,27	0,58	1,31	79,71	1,57	2,81	1,03	0,84	53,59	1,77	2,58	0,77	0,91	51,15	1,93	2,54	1,17	0,60	30,84
		5 - 25	5,67	18,19	0,65	8,42	148,55	0,83	2,04	0,28	0,82	98,58	1,25	2,48	0,38	0,90	72,09	1,90	4,75	0,44	1,93	101,75
		25 - 50	23,74	43,97	4,28	17,34	73,04	0,74	1,38	0,28	0,53	71,52	4,35	7,72	2,63	2,35	54,01	7,63	13,50	3,27	4,28	56,03
	9	0 - 5	2,20	4,86	1,12	1,78	81,03	1,97	2,34	1,37	0,42	21,36	4,25	6,47	1,01	2,30	54,16	4,13	7,57	0,91	2,76	66,84
		5 - 25	44,68	87,43	2,94	34,99	78,31	1,45	1,75	1,08	0,31	21,13	7,25	9,96	4,20	2,46	33,90	17,67	26,99	4,69	9,64	54,54
		25 - 50	66,62	141,67	2,54	71,49	107,30	1,49	3,31	0,28	1,29	86,40	12,11	17,63	6,86	4,52	37,29	29,77	39,17	6,50	15,56	52,26
Mul	0	0 - 5	1,09	2,27	0,38	0,82	75,65	2,03	3,02	0,88	1,05	51,63	2,58	5,28	0,60	1,97	76,14	4,31	12,08	0,75	5,23	121,38
		5 - 25	4,41	10,64	2,17	4,15	94,09	1,15	1,49	0,59	0,40	34,93	1,45	2,56	1,00	0,74	51,19	2,05	3,46	1,43	0,94	46,01
		25 - 50	33,60	53,93	19,91	15,48	46,07	0,74	0,93	0,55	0,17	22,99	6,49	8,40	3,87	2,26	34,85	9,91	22,40	1,26	9,02	91,03
	9	0 - 5	1,43	3,11	0,59	1,15	80,78	1,46	2,40	0,62	0,86	59,09	2,39	3,08	1,40	0,83	34,59	2,79	4,44	1,10	1,47	52,63
		5 - 25	30,35	87,76	0,42	39,84	131,28	1,81	2,62	0,69	0,81	44,73	7,63	12,14	4,46	3,24	42,44	14,09	32,09	5,27	12,34	87,55
		25 - 50	64,07	108,80	8,76	41,32	64,49	1,12	1,61	0,74	0,37	33,55	9,66	13,17	4,03	3,99	41,29	23,78	32,75	11,85	9,80	41,20
Pau	0	0 - 5	22,79	86,67	0,66	42,59	186,89	3,96	6,32	1,96	1,79	45,26	3,63	7,72	1,80	2,74	75,48	11,54	32,38	1,78	14,07	121,97
		5 - 25	22,00	75,76	1,75	35,88	163,12	2,70	5,50	0,77	2,14	79,27	1,97	4,67	0,64	1,82	92,60	6,56	22,55	0,48	10,67	162,51
		25 - 50	41,35	100,90	3,72	42,11	101,85	1,40	2,26	0,58	0,74	53,19	4,77	8,11	0,73	3,04	63,77	12,48	32,21	0,67	14,67	117,60
	9	0 - 5	99,78	394,12	0,56	196,23	196,65	1,78	4,45	0,26	1,84	103,39	9,28	27,22	1,67	12,02	129,48	41,18	156,02	1,48	76,56	185,90
		5 - 25	35,92	118,66	2,84	55,42	154,31	2,59	5,57	1,43	2,00	76,99	5,55	9,23	3,47	2,66	47,89	21,56	52,01	5,43	20,85	96,72
		25 - 50	78,81	130,17	15,12	48,56	61,62	1,06	1,71	0,60	0,48	45,20	7,78	13,40	1,65	5,64	72,43	22,38	34,89	1,81	14,52	64,89
Umb	0	0 - 5	1,81	2,91	0,68	0,92	50,68	2,40	4,62	1,34	1,50	62,60	1,49	2,16	0,99	0,49	33,25	1,95	3,01	0,98	0,83	42,90
		5 - 25	6,23	11,95	2,02	4,83	77,53	2,01	4,59	0,39	1,81	90,00	1,28	2,74	0,40	1,11	87,18	1,98	4,24	0,54	1,71	86,32
		25 - 50	28,43	61,49	10,26	23,79	83,70	3,90	12,74	0,36	5,91	151,58	4,34	8,77	0,66	4,07	93,92	10,13	18,82	1,58	9,37	92,52
	9	0 - 5	2,62	5,33	1,48	1,83	69,76	2,78	3,80	0,96	1,25	45,06	3,55	8,70	1,54	3,44	96,82	6,84	20,41	1,37	9,07	132,55
		5 - 25	33,00	98,94	2,38	45,07	136,58	1,42	2,53	0,70	0,81	57,04	6,06	10,36	0,40	4,25	70,16	18,27	41,47	1,48	16,74	91,65
		25 - 50	75,72	103,87	5,53	46,92	61,97	1,01	1,90	0,21	0,70	69,33	8,57	13,78	1,22	5,28	61,61	23,84	38,35	1,05	16,01	67,18

$\bar{x}$ - Média; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; S - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de variação; Con - Controle; Atr - Atriplex; Aro - Aroeira; Cat - Catingueira; Jat - Jatobá; Mul - Mulungu; Pau - Pau Ferro; Umb - Umbuzeiro.

Tabela 5. Teores de Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm

Trat	P	Cl^- (mmolc L ⁻¹)					SO_4^{2-} (mmolc L ⁻¹)					HCO_3^- (mmolc L ⁻¹)				
		$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV
Con	0 - 5	10,94	16,25	7,50	3,73	34,13	1,26	2,13	0,72	0,67	53,00	6,25	12,50	1,56	4,60	73,60
	5 - 25	11,88	15,00	7,50	3,15	26,49	0,83	1,05	0,60	0,21	25,40	4,30	7,81	1,56	2,67	62,10
	25 - 50	29,06	52,50	7,50	22,99	79,10	0,83	0,95	0,69	0,12	14,78	5,86	7,81	3,13	1,97	33,55
Atr	0 - 5	11,56	13,75	7,50	2,95	25,54	1,39	2,39	0,68	0,76	54,48	4,69	7,81	1,56	2,85	60,86
	5 - 25	20,63	35,00	12,50	10,08	48,86	1,03	1,70	0,67	0,46	44,78	6,25	6,25	6,25	0,00	0,00
	25 - 50	69,06	136,25	11,25	54,01	78,20	2,01	2,86	1,18	0,76	37,83	3,65	6,25	1,56	2,39	65,47
Aro	0 - 5	12,19	17,50	10,00	3,59	29,46	1,35	2,80	0,74	0,97	71,60	6,64	12,50	1,56	4,49	67,58
	5 - 25	20,31	42,50	7,50	15,95	78,55	0,98	1,11	0,82	0,14	13,86	6,64	9,38	3,13	2,67	40,18
	25 - 50	71,25	113,75	16,25	44,43	62,36	1,70	2,37	1,15	0,50	29,58	4,30	9,38	1,56	3,46	80,63
Cat	0 - 5	16,56	28,75	8,75	9,26	55,93	1,23	1,64	0,77	0,39	31,70	5,08	9,38	3,13	2,96	58,25
	5 - 25	23,13	65,00	8,75	27,92	120,75	1,47	2,58	0,81	0,79	53,89	2,73	4,69	0,00	1,97	71,90
	25 - 50	42,50	68,75	7,50	28,08	66,07	2,03	5,05	0,68	2,04	100,67	3,52	6,25	1,56	1,97	55,92
Jat	0 - 5	10,94	17,50	7,50	4,72	43,14	1,06	1,52	0,81	0,31	29,58	3,91	6,25	3,13	1,56	40,00
	5 - 25	14,06	26,25	8,75	8,32	59,13	1,08	1,47	0,84	0,28	26,10	3,52	6,25	0,00	2,67	75,90
	25 - 50	43,75	78,75	13,75	27,39	62,60	1,39	1,89	0,74	0,57	40,92	2,34	3,13	0,00	1,56	66,67
Mul	0 - 5	10,94	13,75	6,25	3,29	30,06	1,05	1,48	0,63	0,35	33,63	4,69	7,81	1,56	2,85	60,86
	5 - 25	14,06	22,50	10,00	5,72	40,65	0,91	1,21	0,68	0,22	24,44	3,52	6,25	1,56	1,97	55,92
	25 - 50	57,50	68,75	35,00	15,44	26,86	2,61	6,27	0,82	2,54	97,28	1,56	3,13	0,00	1,80	115,47
Pau	0 - 5	39,38	128,75	5,00	59,69	151,60	3,52	9,91	1,02	4,28	121,68	4,30	6,25	3,13	1,50	34,82
	5 - 25	37,19	122,50	7,50	56,88	152,97	2,39	4,99	1,21	1,78	74,48	3,52	6,25	0,00	2,67	75,90
	25 - 50	70,94	158,75	10,00	62,81	88,54	3,86	6,37	1,40	2,61	67,45	3,13	6,25	0,00	2,55	81,65
Umb	0 - 5	16,56	21,25	13,75	3,59	21,68	1,01	1,23	0,85	0,18	18,33	2,73	4,69	0,00	1,97	71,90
	5 - 25	12,81	23,75	5,00	8,13	63,41	1,01	1,31	0,82	0,21	20,81	3,52	4,69	3,13	0,78	22,22
	25 - 50	50,63	96,25	18,75	37,95	74,96	3,01	5,25	0,98	2,07	68,52	5,73	9,38	1,56	3,93	68,63

$\bar{x}$ - Média; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; S - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de variação; Con - Controle; Atr - Atriplex; Aro - Aroeira; Cat - Catingueira; Jat - Jatobá; Mul - Mulungu; Pau - Pau Ferro; Umb - Umbuzeiro.

O predomínio do Ca^{2+} em relação ao Na^+ no complexo de troca é um fator positivo, uma vez que pode vir a atenuar os efeitos dispersivos do Na^+ no solo, evitando problemas na estruturação física dos coloides. Contudo, os teores de Na^+ ainda são elevados, num nível considerado prejudicial, como pode ser observado pela elevada relação de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST), que alcançaram valores médios de 12,73 e 20,59%, e de 5,88 e 24,52%, nos tempos 0 e 9, respectivamente, na camada mais profunda (Tabela 7).

O conhecimento dos valores de RAS nos solos é uma questão crucial para as atividades agrônômicas, por expressar o risco de sodização do solo, em particular desequilíbrios nutricionais para as plantas, caso os elementos excedam certos limiares de tolerância, bem como perda de estrutura nos solos. Com base nas classificações do US Salinity Laboratory Staff (1954), as camadas subsuperficiais poderiam ser definidos como sódicas (com $\text{RAS} > 13$).

A PST não alcançou valores tão altos quanto a RAS, no entanto, por se tratar de um solo pouco intemperizado, possivelmente com presença de argilominerais do tipo 2:1, isto já pode promover reduções na condutividade hidráulica, fator limitante para o uso agrícola. Freire et al. (2003) testaram valores de PST para diferentes solos e encontraram valores limites bem inferiores aos adotados para a definição da sodicidade de solos no Brasil, alguns deles próximos aos encontrados nesta pesquisa.

E a dinâmica dos elementos, com variações espacial e temporal, é bem característica de solos salinos, o que contribui com os altos valores dos coeficientes de variação das variáveis estudadas. As plantas que conseguem se adaptar às alterações na concentração de íons no solo são capazes de sobreviver com desenvolvimento adequado. Entretanto, a maioria das espécies cultivadas é atingida negativamente, em especial nos períodos mais secos, quando há maior acúmulo de sais nos solos.

Diversos autores apontam este mesmo comportamento de acúmulo de sais, especialmente de Na^+ e Cl^- durante as épocas secas, altos valores de RAS, e sua diluição nas épocas chuvosas, bem como salientam que a análise e o entendimento dessa dinâmica tornam-se importantes, visto que os mesmos se relacionam e determinam critérios e limites de caracterização dos solos afetados por sais e/ou sódio, influenciando na eficiência do manejo agrícola (ÁLVAREZ-ROGEL et al., 2007; SANTOS et al., 2013; BUSCAROLI; ZANNONI, 2017).

Tabela 6. Teores de cátions trocáveis no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 e 9 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm

Trat	T	P	Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)					K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)					Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)					Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)				
			$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV
Con	0	0 - 5	0,28	0,60	0,02	0,24	85,94	0,52	0,69	0,36	0,17	32,11	2,42	2,80	1,98	0,38	15,77	1,27	1,41	0,91	0,24	18,74
		5 - 25	0,25	0,40	0,04	0,15	60,07	0,28	0,40	0,16	0,10	34,57	1,22	1,66	0,98	0,31	25,89	0,76	0,89	0,60	0,13	17,60
		25 - 50	0,29	0,42	0,13	0,14	49,06	0,16	0,35	0,08	0,13	81,53	0,95	1,38	0,44	0,44	46,11	0,75	1,07	0,46	0,26	33,96
	9	0 - 5	0,22	0,37	0,13	0,10	46,70	0,51	0,79	0,22	0,23	45,60	2,20	2,63	1,69	0,48	21,99	1,20	1,44	0,89	0,24	19,74
		5 - 25	0,13	0,17	0,09	0,03	24,15	0,33	0,48	0,11	0,16	48,30	1,27	1,48	0,99	0,21	16,93	0,95	1,15	0,77	0,18	18,53
		25 - 50	0,37	0,87	0,13	0,35	95,74	0,25	0,39	0,15	0,11	42,41	1,14	1,37	0,95	0,18	15,57	1,25	1,84	0,75	0,48	38,45
Atr	0	0 - 5	0,32	0,62	0,07	0,23	73,34	0,57	0,72	0,29	0,19	33,58	1,97	2,20	1,45	0,35	17,66	1,58	2,36	0,95	0,73	46,20
		5 - 25	0,34	0,60	0,09	0,21	61,41	0,26	0,33	0,21	0,06	22,59	1,05	1,33	0,81	0,24	23,08	1,06	1,37	0,72	0,27	25,28
		25 - 50	0,35	0,43	0,25	0,08	21,51	0,21	0,30	0,10	0,08	38,61	0,98	1,56	0,50	0,44	44,60	0,94	1,10	0,64	0,21	22,01
	9	0 - 5	0,27	0,44	0,17	0,12	45,18	0,86	1,16	0,59	0,24	28,29	3,32	4,54	2,41	0,94	28,36	2,33	3,35	1,78	0,73	31,22
		5 - 25	0,32	0,48	0,17	0,13	40,64	0,38	0,77	0,22	0,26	69,75	2,02	3,78	1,02	1,21	59,79	2,11	2,85	1,25	0,75	35,45
		25 - 50	0,35	0,48	0,25	0,10	29,79	0,25	0,33	0,17	0,07	28,58	1,05	1,26	0,75	0,23	22,08	1,44	1,54	1,35	0,09	6,28
Aro	0	0 - 5	0,26	0,50	0,00	0,21	81,39	0,47	0,74	0,23	0,26	54,79	1,81	3,21	0,79	1,13	62,10	1,31	2,50	0,44	1,01	77,26
		5 - 25	0,24	0,36	0,12	0,10	42,85	0,24	0,32	0,17	0,07	27,79	0,89	1,33	0,62	0,33	37,53	0,78	1,01	0,51	0,25	32,70
		25 - 50	0,31	0,38	0,23	0,06	20,17	0,18	0,25	0,12	0,06	33,38	0,70	0,86	0,57	0,12	17,45	0,88	1,05	0,74	0,13	14,59
	9	0 - 5	0,29	0,64	0,09	0,24	83,52	0,61	0,88	0,37	0,22	36,32	2,15	2,77	1,71	0,46	21,43	1,51	2,49	0,87	0,77	50,87
		5 - 25	0,18	0,21	0,13	0,04	20,67	0,36	0,57	0,26	0,14	39,58	1,12	1,34	0,98	0,16	13,99	1,27	1,69	0,68	0,44	34,40
		25 - 50	0,24	0,29	0,21	0,04	15,62	0,23	0,26	0,17	0,04	17,93	1,04	1,11	0,95	0,06	6,17	1,18	1,31	1,04	0,12	10,45
Cat	0	0 - 5	0,36	0,92	0,04	0,38	105,92	0,64	0,72	0,50	0,10	15,29	2,48	3,82	1,46	1,00	40,19	1,54	3,04	0,80	1,04	67,96
		5 - 25	0,36	0,78	0,11	0,30	83,45	0,37	0,43	0,34	0,04	11,77	1,64	1,99	0,85	0,54	32,62	1,11	2,16	0,66	0,71	64,31
		25 - 50	0,33	0,61	0,20	0,19	56,34	0,22	0,28	0,15	0,06	25,16	1,02	1,34	0,69	0,30	29,83	0,91	1,41	0,55	0,37	40,37
	9	0 - 5	0,22	0,56	0,05	0,23	104,94	0,93	1,58	0,50	0,46	49,85	2,68	3,82	1,85	0,88	32,79	2,11	3,72	0,94	1,23	58,34
		5 - 25	0,17	0,33	0,05	0,12	72,18	0,44	0,57	0,28	0,13	30,57	1,24	1,56	1,10	0,22	17,41	1,05	1,55	0,65	0,41	39,01
		25 - 50	0,26	0,48	0,05	0,18	68,97	0,35	0,55	0,17	0,16	44,43	1,15	1,52	0,69	0,34	29,92	1,25	1,60	0,98	0,25	20,31

Tabela 6. (cont.)

Jat	0	0 - 5	0,28	0,55	0,02	0,23	80,90	0,55	0,72	0,39	0,18	33,21	2,27	2,90	1,27	0,78	34,32	1,41	2,40	0,65	0,75	53,19
		5 - 25	0,27	0,56	0,02	0,23	86,19	0,28	0,55	0,17	0,18	65,60	1,14	1,78	0,69	0,46	39,98	0,92	1,46	0,52	0,39	42,94
		25 - 50	0,30	0,50	0,09	0,19	63,79	0,19	0,33	0,09	0,10	53,53	0,87	1,32	0,54	0,33	38,42	0,85	1,01	0,64	0,18	21,70
	9	0 - 5	0,16	0,33	0,00	0,13	85,50	0,50	0,72	0,00	0,34	68,21	1,74	2,65	0,00	1,20	68,79	1,14	2,07	0,00	0,85	75,01
		5 - 25	0,19	0,37	0,09	0,12	63,70	0,32	0,50	0,24	0,12	39,00	1,07	1,54	0,85	0,32	30,28	1,01	1,35	0,71	0,28	27,34
		25 - 50	0,41	0,64	0,17	0,27	66,74	0,29	0,39	0,17	0,10	35,02	1,22	1,75	0,95	0,37	30,04	1,64	2,09	1,13	0,39	23,83
	Mul	0 - 5	0,19	0,29	0,02	0,13	66,74	0,60	0,77	0,34	0,19	31,17	2,59	3,76	1,33	1,03	39,98	1,50	2,24	0,76	0,62	41,28
		5 - 25	0,21	0,34	0,07	0,11	53,62	0,35	0,50	0,12	0,17	47,82	1,14	1,66	0,52	0,51	44,78	0,99	1,49	0,60	0,37	38,00
		25 - 50	0,38	0,50	0,28	0,10	24,78	0,21	0,23	0,19	0,02	7,71	0,94	1,18	0,70	0,20	21,39	0,97	1,09	0,83	0,12	12,04
Pau	0	0 - 5	0,18	0,25	0,13	0,06	32,39	0,66	0,92	0,57	0,17	26,11	1,85	2,03	1,58	0,19	10,39	1,31	1,53	1,02	0,23	17,62
		5 - 25	0,15	0,29	0,09	0,09	61,34	0,39	0,44	0,30	0,06	15,88	0,99	1,21	0,72	0,22	22,10	1,01	1,53	0,67	0,36	36,16
		25 - 50	0,23	0,48	0,00	0,22	97,42	0,24	0,37	0,00	0,17	67,87	0,73	1,15	0,00	0,54	74,63	1,02	1,99	0,00	0,84	82,43
	9	0 - 5	0,30	0,86	0,02	0,39	130,69	0,70	1,03	0,44	0,26	37,56	2,04	2,54	1,61	0,39	18,89	1,70	2,95	0,82	0,91	53,45
		5 - 25	0,29	0,77	0,05	0,34	114,22	0,48	0,94	0,24	0,32	66,63	0,94	1,21	0,57	0,27	28,62	0,91	1,81	0,53	0,60	65,68
		25 - 50	0,36	0,66	0,17	0,23	62,93	0,28	0,41	0,19	0,10	34,54	0,72	0,77	0,64	0,06	8,02	0,87	1,42	0,44	0,43	49,41
	Umb	0 - 5	0,32	0,76	0,13	0,29	92,78	0,58	0,77	0,44	0,15	26,33	2,19	3,08	1,58	0,71	32,21	1,59	2,39	0,99	0,58	36,45
		5 - 25	0,22	0,68	0,00	0,31	144,84	0,29	0,48	0,00	0,20	70,72	0,79	1,35	0,00	0,57	71,77	0,85	1,59	0,00	0,65	76,97
		25 - 50	0,42	0,76	0,13	0,26	60,27	0,32	0,44	0,24	0,08	26,53	0,97	1,19	0,80	0,16	16,86	1,56	2,03	0,73	0,57	36,48
Umb	0	0 - 5	0,18	0,37	0,00	0,20	107,99	0,55	0,91	0,30	0,29	52,86	1,92	3,18	1,31	0,85	44,62	1,27	1,92	0,67	0,66	52,24
		5 - 25	0,19	0,35	0,02	0,15	78,88	0,28	0,36	0,21	0,06	21,78	1,00	1,46	0,77	0,31	30,59	0,81	1,03	0,54	0,25	30,89
		25 - 50	0,40	0,61	0,21	0,17	42,58	0,24	0,33	0,13	0,10	41,28	0,91	1,43	0,61	0,36	40,01	1,09	1,64	0,53	0,46	41,72
	9	0 - 5	0,18	0,25	0,05	0,09	47,88	0,67	0,90	0,41	0,20	30,18	2,22	2,94	1,55	0,58	26,00	1,39	1,96	0,84	0,47	33,84
		5 - 25	0,37	0,76	0,13	0,29	78,33	0,31	0,35	0,26	0,04	12,15	1,30	1,64	0,96	0,28	21,37	1,32	2,52	0,75	0,81	61,07
		25 - 50	0,47	0,83	0,21	0,30	62,91	0,50	1,10	0,24	0,40	79,48	1,18	1,44	0,76	0,30	25,46	1,58	2,41	0,82	0,68	43,04

$\bar{x}$ - Média; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; S - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de variação; Con - Controle; Atr - Atriplex; Aro - Aroeira; Cat - Catingueira; Jat - Jatobá; Mul - Mulungu; Pau - Pau Ferro; Umb - Umbuzeiro.

Tabela 7. Relação de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST) no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 e 9 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm

Trat	T	Prof.	RAS					PST				
			$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV
Con	0	0 - 5	1,65	5,06	0,33	2,28	138,49	2,81	10,37	0,03	5,04	179,34
		5 - 25	2,65	5,31	1,38	1,80	67,69	3,41	12,25	0,08	5,90	173,06
		25 - 50	6,31	8,61	2,75	2,50	39,69	4,36	14,82	0,50	6,98	159,98
	9	0 - 5	0,96	2,41	0,30	0,98	102,24	1,79	6,28	0,24	3,00	167,51
		5 - 25	2,03	3,80	0,87	1,27	62,31	0,94	2,83	0,25	1,26	133,18
		25 - 50	13,35	20,51	2,42	7,99	59,86	24,52	96,61	0,32	48,06	195,99
Atr	0	0 - 5	2,00	3,65	1,15	1,12	55,97	2,36	8,37	0,10	4,01	169,66
		5 - 25	9,19	22,32	2,01	9,00	97,88	4,55	12,81	0,19	7,16	157,31
		25 - 50	12,17	15,96	9,25	3,06	25,19	5,26	14,03	0,83	7,60	144,56
	9	0 - 5	2,80	5,81	1,08	2,09	74,85	1,76	5,99	0,31	2,82	160,75
		5 - 25	10,18	17,77	2,78	6,86	67,41	3,85	10,24	0,62	5,54	144,05
		25 - 50	20,02	23,61	16,33	2,98	14,90	5,77	15,85	0,61	8,73	151,32
Aro	0	0 - 5	1,31	2,35	0,62	0,75	56,88	1,55	5,26	0,00	2,49	160,34
		5 - 25	3,28	5,52	1,12	1,90	57,88	2,80	9,79	0,31	4,66	166,55
		25 - 50	10,58	15,93	4,15	4,86	45,88	4,07	14,14	0,55	6,71	164,80
	9	0 - 5	3,01	8,59	0,42	3,77	125,14	1,94	6,80	0,15	3,24	166,54
		5 - 25	8,93	19,52	1,82	8,45	94,57	1,74	5,70	0,30	2,64	152,17
		25 - 50	15,74	21,22	8,76	6,09	38,68	3,17	11,05	0,43	5,25	165,35
Cat	0	0 - 5	2,56	7,69	0,51	3,43	134,08	0,32	0,53	0,05	0,24	75,21
		5 - 25	4,47	13,78	0,65	6,23	139,51	3,65	13,39	0,17	6,50	178,13
		25 - 50	8,49	17,09	3,57	6,01	70,84	4,68	16,99	0,33	8,21	175,37
	9	0 - 5	3,45	12,81	0,12	6,24	180,97	0,17	0,24	0,11	0,07	38,14
		5 - 25	9,11	19,97	0,44	9,79	107,53	1,56	5,61	0,10	2,70	173,26
		25 - 50	12,78	25,44	1,04	11,43	89,49	3,67	13,40	0,14	6,49	176,77

Tabela 7. (cont.)

Jat	0	0 - 5	1,19	2,06	0,37	0,83	69,99	1,87	6,49	0,02	3,10	165,72
		5 - 25	3,56	9,57	0,72	4,12	115,85	3,86	14,33	0,03	6,99	181,22
		25 - 50	9,26	14,51	2,44	5,75	62,06	5,88	21,96	0,15	10,72	182,21
	9	0 - 5	1,11	1,84	0,56	0,60	53,93	1,45	3,83	0,18	2,07	142,31
		5 - 25	11,62	20,82	1,39	8,31	71,45	2,54	9,33	0,15	4,53	178,73
		25 - 50	13,21	28,27	0,98	13,95	105,58	7,64	28,35	0,28	13,82	181,05
Mul	0	0 - 5	0,66	0,99	0,24	0,32	47,87	1,51	5,18	0,02	2,46	163,17
		5 - 25	3,73	9,66	1,48	3,96	106,16	0,41	0,68	0,15	0,23	56,55
		25 - 50	11,69	13,75	9,06	2,34	20,04	0,89	1,21	0,73	0,22	24,37
	9	0 - 5	0,85	1,72	0,47	0,58	68,27	1,29	4,39	0,21	2,07	159,82
		5 - 25	7,53	18,66	0,18	8,19	108,77	0,30	0,58	0,17	0,19	63,07
		25 - 50	14,77	23,57	3,11	8,63	58,47	0,74	1,16	0,21	0,49	65,60
Pau	0	0 - 5	5,44	19,36	0,49	9,29	170,77	0,61	1,81	0,03	0,83	136,24
		5 - 25	8,30	20,54	1,44	8,43	101,55	0,72	1,94	0,08	0,85	118,56
		25 - 50	12,73	22,47	4,45	7,41	58,18	0,83	1,55	0,39	0,56	66,53
	9	0 - 5	10,99	41,17	0,35	20,13	183,20	0,62	1,60	0,14	0,66	107,77
		5 - 25	7,78	22,48	1,05	10,00	128,44	0,68	1,71	0,13	0,89	130,62
		25 - 50	20,59	35,02	11,49	10,25	49,80	0,96	1,76	0,32	0,61	63,25
Umb	0	0 - 5	1,33	1,94	0,68	0,51	38,58	0,30	0,61	0,00	0,32	107,23
		5 - 25	6,60	17,19	1,44	7,18	108,83	0,42	0,78	0,05	0,35	83,39
		25 - 50	10,93	16,55	8,59	3,78	34,53	0,86	1,48	0,45	0,47	53,79
	9	0 - 5	1,25	1,40	1,01	0,18	14,12	0,30	0,41	0,07	0,16	51,60
		5 - 25	7,84	19,43	1,69	8,19	104,54	0,77	1,68	0,26	0,64	83,28
		25 - 50	17,61	23,53	5,18	8,56	48,59	1,02	1,76	0,42	0,69	67,21

$\bar{x}$ - Média; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; S - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de variação; Con - Controle; Atr - Atriplex; Aro - Aroeira; Cat - Catingueira; Jat - Jatobá; Mul - Mulungu; Pau - Pau Ferro; Umb - Umbuzeiro.

Além dos efeitos diretos no desenvolvimento vegetal, os sais interferem no estabelecimento das plantas por causarem problemas físicos, promovendo a formação de camadas de adensamento, que alteram a permeabilidade do solo ao ar e à água, bem como a penetração de raízes das plantas.

4.2 Atributos físicos

Apesar da classe textural franco-arenosa, com cerca de 70% de areia (sendo, aproximadamente, 50% grossa e 20% fina), 20% de silte e 10% de argila (Tabela 8), o solo apresentou severos problemas de infiltração e de compactação. Como pode ser comprovado com base nos atributos físicos estudados.

Pode-se observar o aumento da densidade do solo em profundidade, que indica uma diminuição no volume de poros do mesmo, sugerindo a ocorrência do adensamento do solo (Tabela 9). O sódio em excesso atua como dispersante de coloides no solo, que são translocados no perfil, obstruindo poros e formando camadas adensadas. Observou-se que, de fato, houve diminuição da porosidade total do solo em profundidade (Tabela 10), corroborando o fato dito anteriormente.

A ocorrência do adensamento influencia diretamente o movimento de água no perfil do solo, de modo que afeta a distribuição e tamanho de poros ao longo do mesmo. E pode-se observar claramente esta influência no solo deste estudo, que, apesar de ter cerca de 70% de areia, com uma porosidade total máxima de 47,39%, apresenta um valor máximo de apenas 6,74% de macroporos e 16,75% de mesoporos, ou seja, cerca de 75% dos poros deste solo, são classificados como microporos (Tabela 10). Isto é comum ocorrer em solos pouco desenvolvidos em ambiente sob clima semiárido no Nordeste do Brasil (MIRANDA et al., 2011), promovendo limitações à infiltração da água no solo e trocas gasosas com a atmosfera.

O que também foi constatado por Wójciga et al. (2009) e Reszkowska et al. (2011), que afirmaram que, em geral, o adensamento do solo diminui a contribuição de macroporos e da porosidade total, e aumenta a de microporos, afetando a continuidade dos poros e a anisotropia dos fluxos.

Tabela 8. Composição granulométrica do solo, cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm

		Areia Grossa (g kg ⁻¹)					Areia Fina (g kg ⁻¹)					Silte (g kg ⁻¹)					Argila (g kg ⁻¹)				
		$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV
Con	0 - 5	462,22	550,35	367,50	101,89	22,04	249,92	303,55	199,40	48,24	19,30	181,62	246,87	114,91	64,56	35,55	83,47	89,13	79,67	4,45	5,34
	5 - 25	500,44	550,50	380,84	80,75	16,14	227,21	266,45	177,93	37,63	16,56	166,76	178,46	151,13	11,44	6,86	82,01	108,24	47,97	25,86	31,53
	25 - 50	547,23	878,27	362,34	227,08	41,50	186,51	262,61	39,28	103,44	55,46	133,76	197,57	26,65	78,09	58,38	80,91	137,62	34,47	45,17	55,83
Atr	0 - 5	491,55	622,62	264,02	158,74	32,29	194,12	270,80	107,40	73,99	38,12	171,43	276,41	111,86	73,17	42,68	102,97	161,32	68,20	40,94	39,76
	5 - 25	483,13	662,54	389,02	122,31	25,32	209,62	264,75	85,48	83,91	40,03	185,13	250,20	135,88	47,60	25,71	88,65	120,88	55,94	30,41	34,31
	25 - 50	458,09	674,47	357,54	146,69	32,02	233,88	280,27	121,47	75,67	32,35	164,29	255,74	109,53	68,47	41,68	121,17	237,98	70,21	78,44	64,73
Aro	0 - 5	480,47	562,17	353,59	96,26	20,04	230,61	238,37	224,45	6,68	2,90	162,88	234,28	113,59	53,09	32,60	85,41	126,37	42,70	36,54	42,78
	5 - 25	526,21	615,28	451,05	71,60	13,61	217,32	271,35	148,22	54,70	25,17	124,84	170,42	91,27	35,31	28,29	86,66	114,74	43,48	33,21	38,32
	25 - 50	483,02	579,44	387,87	78,37	16,22	233,86	288,12	130,42	70,61	30,19	155,84	213,78	119,16	40,76	26,15	88,15	116,55	71,98	19,96	22,65
Cat	0 - 5	479,79	572,57	330,32	104,75	21,83	213,93	254,21	183,30	29,85	13,95	186,11	264,36	156,86	52,22	28,06	82,27	112,17	66,43	21,39	26,01
	5 - 25	481,89	583,56	350,19	97,78	20,29	220,92	273,14	167,44	50,91	23,04	169,34	282,09	112,10	77,27	45,63	98,85	140,13	64,19	38,33	38,77
	25 - 50	440,67	523,07	382,95	59,02	13,39	271,43	335,09	221,82	47,21	17,39	197,91	247,71	143,36	54,22	27,40	72,20	88,80	54,59	17,21	23,84
Jat	0 - 5	495,27	558,20	424,31	69,39	14,01	214,53	247,98	169,33	35,61	16,60	167,07	193,56	127,96	31,81	19,04	86,10	159,59	55,33	49,71	57,74
	5 - 25	474,73	544,63	430,30	55,14	11,61	244,35	266,72	199,01	31,69	12,97	176,59	224,43	142,81	35,99	20,38	61,88	75,90	40,36	15,15	24,49
	25 - 50	453,63	492,23	428,82	27,69	6,11	246,65	283,30	206,05	31,77	12,88	245,81	323,98	186,51	57,44	23,37	63,35	79,51	27,09	24,41	38,53
Mul	0 - 5	492,07	535,75	441,80	38,79	7,88	235,14	288,45	207,92	37,39	15,90	168,77	201,59	146,27	23,79	14,10	67,34	88,10	39,43	20,94	31,10
	5 - 25	499,65	538,97	444,65	39,60	7,92	238,50	277,79	209,25	30,55	12,81	152,78	205,61	77,34	55,36	36,23	100,03	198,58	57,46	66,15	66,13
	25 - 50	442,06	511,15	381,32	59,56	13,47	251,72	303,30	208,92	39,74	15,79	160,54	275,25	47,54	108,01	67,28	138,76	214,48	72,73	72,01	51,89
Pau	0 - 5	507,33	585,07	455,38	59,97	11,82	238,13	279,82	190,49	37,37	15,69	152,08	182,15	133,53	21,48	14,12	75,21	87,95	46,09	19,67	26,15
	5 - 25	515,12	596,09	417,77	88,46	17,17	250,18	285,98	195,97	40,89	16,34	162,10	187,35	126,04	25,82	15,93	82,63	102,01	64,15	18,28	22,12
	25 - 50	508,50	590,19	433,59	64,20	12,63	223,18	264,07	150,82	50,03	22,42	154,49	226,06	86,57	57,24	37,05	128,14	188,12	83,44	43,97	34,32
Umb	0 - 5	526,71	572,53	462,59	46,32	8,79	208,45	260,34	154,83	52,47	25,17	176,53	246,39	124,56	51,06	28,93	87,25	167,09	48,39	54,75	62,76
	5 - 25	530,06	563,18	494,22	32,53	6,14	216,62	255,41	133,05	56,50	26,08	159,01	193,78	123,64	34,06	21,42	90,14	136,06	62,74	32,96	36,56
	25 - 50	484,32	583,42	415,41	71,87	14,84	232,26	270,65	170,74	47,16	20,30	180,90	221,69	133,27	44,09	24,37	88,77	113,02	53,53	29,20	32,90

$\bar{x}$ - Média; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; S - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de variação; Con - Controle; Atr - Atriplex; Aro - Aroeira; Cat - Catingueira; Jat - Jatobá; Mul - Mulungu; Pau - Pau Ferro; Umb - Umbuzeiro.

Tabela 9. Densidade do solo (Ds), condutividade hidráulica em meio saturado (Ksat) e resistência mecânica à penetração das raízes na capacidade de campo (RP) no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm

		Ds (g cm ⁻³)					Ksat (mm h ⁻¹)					RP (MPa)				
		$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV
Con	0 - 5	1,54	1,64	1,49	0,07	4,50	44,24	97,56	10,36	41,46	93,72	1,09	1,86	0,56	0,55	50,15
	5 - 25	1,58	1,66	1,46	0,08	5,17	16,25	31,04	7,97	10,72	66,02	0,25	0,47	0,00	0,21	85,16
	25 - 50	1,73	1,80	1,66	0,07	3,86	6,42	17,10	1,60	7,25	113,03	0,59	0,71	0,36	0,16	27,51
Atr	0 - 5	1,60	1,64	1,55	0,05	3,05	25,76	68,55	7,87	28,64	111,17	1,13	2,14	0,54	0,71	62,77
	5 - 25	1,72	1,73	1,70	0,01	0,79	19,31	56,38	2,05	25,44	131,73	0,60	1,39	0,00	0,66	110,00
	25 - 50	1,74	1,80	1,69	0,05	2,65	3,27	6,03	0,00	2,73	83,47	0,37	0,67	0,14	0,23	62,05
Aro	0 - 5	1,62	1,77	1,52	0,11	6,71	19,87	52,47	2,06	23,05	115,99	1,16	1,42	0,63	0,37	31,76
	5 - 25	1,69	1,72	1,67	0,03	1,48	9,91	20,32	1,56	7,97	80,43	0,62	1,33	0,08	0,52	84,18
	25 - 50	1,76	1,80	1,73	0,03	1,43	1,72	3,17	0,14	1,59	92,42	0,42	0,87	0,09	0,34	81,74
Cat	0 - 5	1,60	1,71	1,52	0,09	5,76	27,85	50,72	0,00	24,15	86,72	1,13	2,36	0,38	0,86	75,73
	5 - 25	1,63	1,68	1,57	0,05	3,14	28,87	77,62	0,94	36,33	125,85	1,30	3,89	0,34	1,73	132,55
	25 - 50	1,71	1,74	1,66	0,04	2,17	11,08	24,80	2,08	10,02	90,42	0,66	0,93	0,37	0,24	36,07
Jat	0 - 5	1,55	1,67	1,36	0,13	8,56	38,92	75,54	8,86	34,91	89,70	0,65	1,05	0,27	0,42	64,76
	5 - 25	1,75	1,86	1,67	0,08	4,53	13,09	35,91	4,62	15,22	116,29	1,29	2,69	0,69	0,94	73,20
	25 - 50	1,73	1,78	1,69	0,04	2,11	0,44	1,42	0,00	0,67	153,42	0,48	0,65	0,06	0,28	58,88
Mul	0 - 5	1,54	1,65	1,34	0,14	9,02	15,32	28,37	6,96	9,19	60,00	0,71	1,35	0,14	0,50	70,18
	5 - 25	1,68	1,76	1,57	0,08	4,74	10,01	30,38	1,41	13,82	138,09	1,40	4,79	0,15	2,26	161,37
	25 - 50	1,68	1,79	1,60	0,09	5,63	6,23	13,40	1,01	6,42	102,98	1,05	2,52	0,00	1,31	125,23
Pau	0 - 5	1,62	1,78	1,53	0,11	6,97	27,49	85,34	2,67	38,83	141,25	1,03	1,53	0,62	0,46	44,19
	5 - 25	1,71	1,81	1,61	0,11	6,55	16,42	30,04	2,87	11,37	69,25	0,75	0,98	0,48	0,22	29,58
	25 - 50	1,76	1,80	1,67	0,07	4,11	5,71	14,65	0,98	7,74	135,47	0,97	1,40	0,48	0,46	47,48
Umb	0 - 5	1,62	1,72	1,54	0,08	5,12	37,26	67,56	4,32	30,90	82,92	0,84	1,31	0,63	0,32	38,29
	5 - 25	1,66	1,74	1,58	0,08	4,60	16,42	30,04	2,87	11,37	69,25	0,72	1,23	0,10	0,47	64,80
	25 - 50	1,68	1,75	1,57	0,08	4,54	6,08	18,65	0,00	8,52	140,27	0,32	0,73	0,06	0,31	98,70

$\bar{x}$ - Média; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; S - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de variação; Con - Controle; Atr - Atriplex; Aro - Aroeira; Cat - Catingueira; Jat - Jatobá; Mul - Mulungu; Pau - Pau Ferro; Umb - Umbuzeiro.

Tabela 10. Porosidade total (P), macroporosidade (Macro), mesoporosidade (Meso) e capacidade de campo (CC) no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, nas camadas de 0-5, 5-25 e 25-50 cm

		P (%)					Macro (%)					Meso (%)					CC (%)				
		$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV
Con	0 - 5	40,30	44,28	37,58	3,15	7,81	3,29	4,53	2,42	0,89	26,96	12,18	13,41	11,01	0,99	8,12	15,64	17,48	14,12	1,39	8,86
	5 - 25	37,04	40,26	30,64	4,34	11,72	3,83	5,22	2,64	1,11	29,03	14,42	16,75	11,53	2,16	14,95	17,82	19,96	14,52	2,34	13,12
	25 - 50	31,52	34,66	28,47	2,73	8,67	3,48	4,04	2,86	0,55	15,66	9,59	10,32	8,52	0,87	9,06	12,71	15,02	11,42	1,69	13,29
Atr	0 - 5	39,74	43,28	35,24	3,34	8,40	3,56	4,64	2,82	0,81	22,65	10,81	14,36	6,58	3,21	29,67	13,69	17,89	7,98	4,14	30,25
	5 - 25	33,70	37,13	29,87	3,03	8,99	3,33	4,03	2,47	0,65	19,44	11,52	13,55	8,87	2,25	19,51	14,68	16,45	12,15	2,04	13,88
	25 - 50	30,88	33,26	29,22	1,84	5,97	3,62	4,20	2,97	0,60	16,44	10,14	13,75	7,50	3,02	29,76	12,86	16,79	10,01	3,23	25,10
Aro	0 - 5	38,98	44,07	35,32	4,30	11,03	3,46	4,12	3,20	0,45	12,90	11,29	12,46	9,72	1,35	11,95	13,82	16,38	12,75	1,71	12,38
	5 - 25	35,86	38,89	33,39	2,66	7,41	3,52	4,22	3,14	0,49	13,80	14,51	15,38	13,15	1,06	7,29	18,19	20,10	16,80	1,43	7,88
	25 - 50	31,63	34,07	30,58	1,65	5,23	3,84	4,36	3,21	0,49	12,86	10,86	12,66	9,56	1,38	12,67	13,87	16,17	12,39	1,69	12,18
Cat	0 - 5	38,41	39,81	36,14	1,98	5,15	3,03	3,47	2,18	0,74	24,39	12,44	13,69	10,54	1,67	13,40	15,91	16,81	15,13	0,84	5,31
	5 - 25	35,60	38,68	32,71	3,13	8,79	2,75	3,81	1,18	1,14	41,47	12,80	14,72	10,01	2,02	15,77	15,58	17,39	12,44	2,17	13,91
	25 - 50	32,66	39,20	23,00	6,90	21,13	3,35	4,41	1,30	1,41	41,90	10,67	14,69	5,17	3,98	37,29	13,14	18,58	4,97	5,78	43,94
Jat	0 - 5	40,56	44,37	36,37	3,38	8,33	3,76	5,13	2,80	1,04	27,76	12,51	14,00	10,96	1,31	10,51	15,94	17,93	14,62	1,41	8,88
	5 - 25	32,79	39,36	26,18	5,87	17,90	2,96	3,61	2,24	0,62	20,94	9,56	12,52	5,24	3,08	32,18	12,30	15,81	7,56	3,44	27,99
	25 - 50	31,84	33,80	29,04	2,06	6,47	3,74	4,50	3,09	0,62	16,72	10,57	11,96	8,89	1,30	12,25	13,34	15,48	11,02	1,86	13,94
Mul	0 - 5	40,83	47,39	36,10	4,73	11,58	2,66	3,93	1,84	0,89	33,55	12,96	16,37	9,22	2,93	22,62	16,58	20,11	12,81	2,99	18,04
	5 - 25	32,67	37,87	24,08	6,08	18,60	4,30	6,74	3,12	1,65	38,35	12,73	16,23	10,00	2,86	22,45	15,94	20,14	13,32	3,11	19,49
	25 - 50	32,67	35,36	28,55	3,62	11,09	3,45	4,04	2,73	0,67	19,31	10,39	11,46	8,77	1,43	13,73	13,18	14,43	11,36	1,61	12,25
Pau	0 - 5	38,36	39,84	35,93	1,70	4,43	2,96	3,91	1,96	0,97	32,66	10,93	12,95	6,62	2,91	26,59	14,59	17,19	9,65	3,38	23,18
	5 - 25	33,14	38,28	28,18	5,07	15,29	3,10	3,61	2,74	0,43	14,04	11,35	13,58	8,37	2,35	20,74	14,33	17,31	10,95	2,76	19,25
	25 - 50	27,03	32,50	23,52	4,80	17,74	2,10	3,71	0,00	1,90	90,74	6,38	11,19	2,06	4,58	71,80	9,25	14,36	5,08	4,71	50,99
Umb	0 - 5	39,67	45,73	36,00	4,25	10,71	3,75	4,91	2,31	1,13	30,06	11,54	12,78	9,18	1,62	14,07	15,52	17,49	12,28	2,25	14,51
	5 - 25	34,57	37,25	32,82	2,01	5,80	3,81	4,07	3,57	0,22	5,80	13,44	14,87	11,35	1,69	12,60	16,54	18,65	14,57	1,73	10,48
	25 - 50	32,81	38,18	30,19	3,66	11,16	3,65	4,98	2,63	0,99	27,10	11,18	15,01	7,02	3,38	30,22	13,72	17,31	9,38	3,41	24,85

$\bar{x}$ - Média; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; S - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de variação; Con - Controle; Atr - Atriplex; Aro - Aroeira; Cat - Catingueira; Jat - Jatobá; Mul - Mulungu; Pau - Pau Ferro; Umb - Umbuzeiro.

Este fato, afetou diretamente a condutividade hidráulica do solo (K_{sat}), que variou de um máximo de $97,56 \text{ mm h}^{-1}$ a um mínimo de $0,0 \text{ mm h}^{-1}$ (Tabela 9), diminuindo em profundidade, seguindo o mesmo comportamento da densidade e da porosidade do solo. Além do que, a elevada concentração de sódio no meio ambiente e altos valores de PST também conduzem à diminuição na K_{sat} , uma vez que causa dispersão e translocação de argila, promovendo alteração na estrutura do solo (ELDARDIRY et al., 2013)

Quanto à resistência à penetração (RP), o solo, de maneira geral, não apresentou problemas, exceto em alguns pontos em que a RP ultrapassou os 2,0 MPa, valor frequentemente adotado como limitante para o alongamento de raízes (LIPIEC et al., 2012), chegando a um valor máximo de 4,70 MPa (Tabela 9). Vale salientar que esta determinação é realizada com a amostra de solo com umidade na capacidade de campo (cerca de 15%). No entanto, observações de campo indicaram um elevado adensamento, com problemas no estabelecimento das plantas pela dificuldade na penetração de raízes, o que não foi confirmado pela medida da RP. Esta diferença pode ser atribuída à presença de água na amostra de solo usada para a análise. Pois, quando há umidade no sistema, a coesão da camada adensada em campo também é minimizada, diminuindo a dificuldade de movimentação do solo.

Contudo, na maior parte do ano, o semiárido se encontra num regime de seca e, portanto, o solo dificilmente se encontrará numa condição de umidade referente à capacidade de campo, e apresentará uma resistência à penetração das raízes muito maior. A matriz de solo com tamanho de poros mais finos resultará em resistência mecânica excessiva encontrada por raízes, especialmente em solo seco e com aeração insuficiente em solo úmido (WHALLEY et al., 2000, BENGOUGH et al., 2011).

A baixa precipitação pluvial durante o período experimental pode ter contribuído para a dificuldade de estabelecimentos das plantas, tanto pelo efeito direto da necessidade hídrica, como pela potencialização do adensamento do solo. As mudas das espécies plantadas na área tiveram desenvolvimento reduzido durante o período de nove meses decorridos até o final do experimento. Isso impossibilitou a avaliação da influência das plantas nas propriedades do solo em estudo. A manutenção da vegetação por períodos mais longos poderia promover

alterações significativas nas propriedades do solo, o que deve ser testado em pesquisas posteriores.

4.3 Atributos biológicos

Na avaliação dos atributos biológicos, o teor de C orgânico total (COT) não excedeu $1,24 \text{ dag kg}^{-1}$ em toda a área (Tabela 11), consequência da degradação induzida pela salinidade que afeta o desenvolvimento vegetal, diminuindo o aporte de biomassa ao solo, isso pode não fornecer um substrato adequado para a atividade microbiana nesses solos.

De maneira geral, os menores valores de C-CO₂ foram encontrados onde a CE foi maior, resultados que condizem com os encontrados por Iwai et al. (2012), Yan; Marschner (2012). O que pode ser o resultado do estresse induzido pela salinidade, que faz com que a atividade respiratória microbiana do solo seja reduzida (RASUL et al., 2006; YUAN et al., 2007).

Quanto ao C-mic e ao qCO₂, para o solo deste estudo, não foi observada correlação com a salinidade, variando independentemente do nível de salinidade, atingindo valores que variaram de 22,15 a 343,33 $\mu\text{g g}^{-1}$ e 12,47 a 157,75, respectivamente. Diferentemente do que outros autores encontraram. Iwai et al. (2012) estudando os efeitos da salinidade, com um gradiente de 1,80 a 28,60 dS m⁻¹, sobre indicadores biológicos em solos da Tailândia, sugeriram que a salinidade influenciou as propriedades do solo e a atividade microbiana, verificando diminuição no COT, C-mic e C-CO₂ durante a estação seca e com o aumento da salinidade, enquanto o qCO₂ teve uma correlação positiva, aumentando a medida que a salinidade também aumenta. De forma semelhante, Yuan et al. (2007) observou o mesmo comportamento com um gradiente de 0,32 a 23,05 dS m⁻¹, em solo de ambiente árido na China.

O quociente metabólico (qCO₂) foi utilizado para avaliar os efeitos do estresse na comunidade microbiana. Altos valores indicam que a salinidade tornou-se um fator de stress, com grande quantidade do substrato sendo perdida na forma de CO₂ para manutenção celular (RASUL et al., 2006; RIETZ; HAYNES, 2003).

Muitos investigadores relataram que qCO₂ foi mais elevada nos solos salinos, o que pode indicar baixa qualidade do substrato ou outros fatores como a dominância de comunidades bacterianas que são menos eficientes na conversão do

substrato do que os fungos, por exemplo (KAZUNORI; OBA, 1994, SMITH, 1993, YUAN et al. 2007).

É possível que os baixos valores de COT encontrados possam ter interferido nessa falta de resposta da microbiota ao estresse salino. Ou que a população microbiana tenha se adaptado ao ambiente pela salinidade mediana, em comparação a outros solos afetados por sais na região, onde a CE atinge valores muito mais altos (SOUZA et al., 2011; SILVA et al., 2016). Neste sentido, Silva et al. (2016) identificaram isolados bacterianos associados a plantas de *Atriplex nummularia* em duas áreas com valores de CE mais elevados do que os observados neste estudo, além de serem micro-organismos promotores de crescimento vegetal. A busca de conhecimento de associações com micro-organismos que possam contribuir para o estabelecimento de plantas em ambientes sob estresse salino deve ser estimulada quando se objetiva a revegetação e recuperação da qualidade desses solos e de todo o ambiente.

Tabela 11. Carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (C-mic), respiração basal do solo (C-CO₂) e quociente metabólico (qCO₂) no solo cultivado com Atriplex e espécies nativas da Caatinga, aos 0 meses do transplântio, na camadas de 0-20 cm

Trat.	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV	$\bar{x}$	Máx	Mín	S	CV
COT (dag kg ⁻¹)					C-mic (µg g ⁻¹)					
Con	0,70	1,04	0,48	0,25	35,30	121,36	180,88	55,38	59,18	48,77
Atr	0,80	0,94	0,68	0,12	14,74	134,29	232,58	44,30	92,92	69,20
Aro	0,67	0,97	0,26	0,30	44,38	193,82	343,33	71,99	123,41	63,67
Cat	0,89	1,24	0,45	0,38	43,04	116,14	143,98	77,53	28,68	24,70
Jat	0,77	1,15	0,50	0,28	36,51	128,75	188,28	22,15	73,10	56,78
Mul	0,81	0,90	0,58	0,15	18,74	117,67	232,58	77,53	76,65	65,14
Pau	0,71	1,10	0,37	0,34	47,33	116,61	199,35	62,18	58,38	50,07
Umb	0,66	0,87	0,54	0,16	23,45	132,90	243,65	22,15	92,22	69,39
C-CO ₂ (µg g ⁻¹ dia ⁻¹)					qCO ₂					
Con	44,44	61,10	28,84	16,15	36,35	31,53	38,05	23,98	7,09	22,49
Atr	54,20	104,83	29,77	34,43	63,52	73,22	157,75	15,36	70,23	95,91
Aro	41,17	53,66	30,39	9,95	24,16	30,65	51,27	12,47	20,95	68,33
Cat	34,28	52,72	14,25	19,44	56,72	28,54	37,74	12,60	11,63	40,75
Jat	43,50	60,17	15,51	19,39	44,57	41,64	70,01	31,00	18,94	45,48
Mul	43,96	79,71	26,67	24,29	55,25	38,75	45,93	34,27	5,57	14,38
Pau	45,20	80,64	15,20	27,17	60,10	41,24	80,90	23,65	27,03	65,56
Umb	35,24	53,66	22,80	13,06	37,06	46,35	102,91	13,24	40,63	87,66

$\bar{x}$ - Média; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; S - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de variação; Con - Controle; Atr - Atriplex; Aro - Aroeira; Cat - Catingueira; Jat - Jatobá; Mul - Mulungu; Pau - Pau Ferro; Umb - Umbuzeiro.

4.1 Análise do DGGE

Com a aplicação da técnica do DGGE, foi possível detectar a presença de bactérias e conhecer o perfil da estrutura da comunidade ao longo de um gradiente de salinidade.

Embora o perfil de resultados das repetições não tenham sido idênticos, há presença de bandas características entre as áreas avaliadas (Figura 5). No entanto, deve-se salientar-se que se tratam de repetições realizadas em três pontos separados em diferentes parcelas de cada tratamento, consideradas como repetição de campo. A variação observada era esperada, tendo em vista a elevada

variabilidade dos resultados dos atributos descritos anteriormente no tempo e no espaço nesta área, sendo uma característica de solos com acúmulo de sais. Assim, até as diferenças nas propriedades químicas e físicas interferiram nos resultados das variáveis biológicas, já que os micro-organismos recebem a influência das condições ambientais.

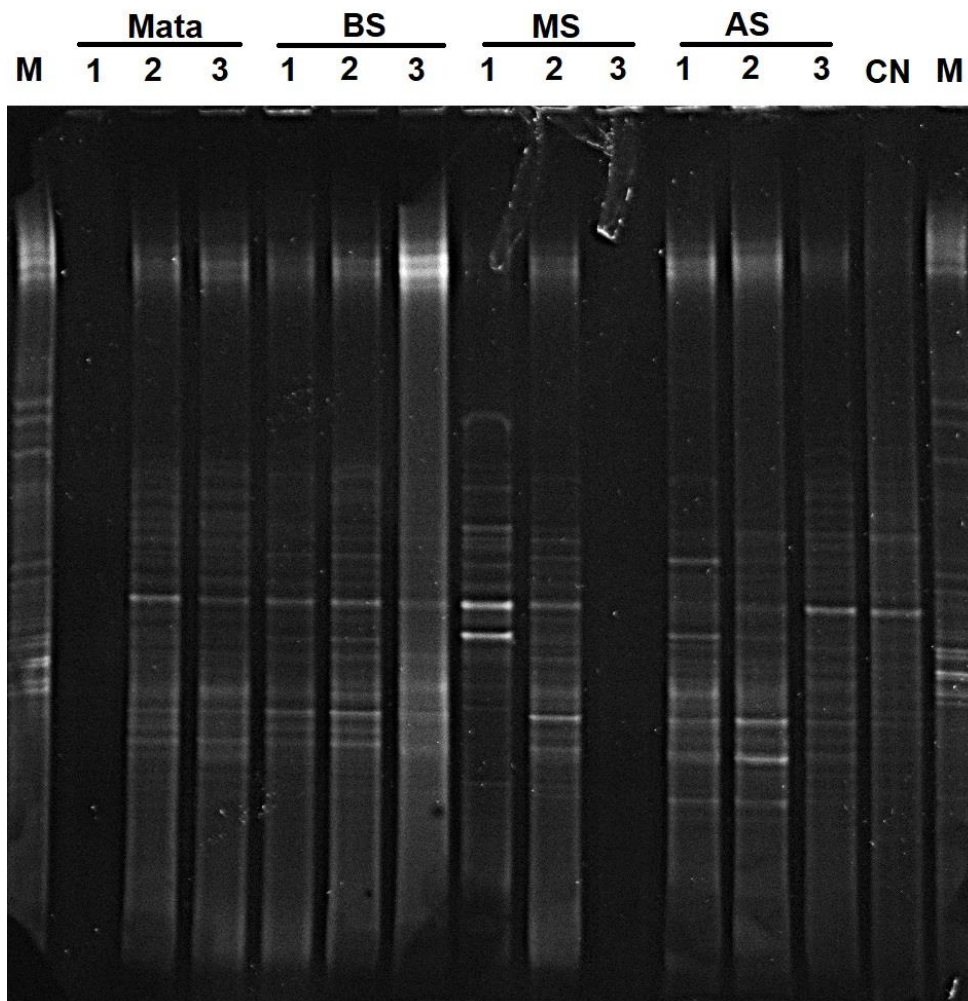


Figura 5. Eletroforese com gel de poliacrilamida com gradiente desnaturante, gerado por separação de fragmentos do gene 16S amplificados de amostras de DNA do solo (M – Mata, BS – Baixa salinidade, MS – Média salinidade, AS – Alta salinidade).

A abordagem do DGGE permite avaliar as composições de espécies de bactérias amplificáveis, revelando questões importantes na dinâmica da comunidade, como a estabilidade e a resposta a mudanças sazonais.

Com base no perfil da DGGE, pode-se obter a análise de agrupamento hierárquico, em função da presença e ausência de bandas, visualizada na forma de dendograma (Figura 6).

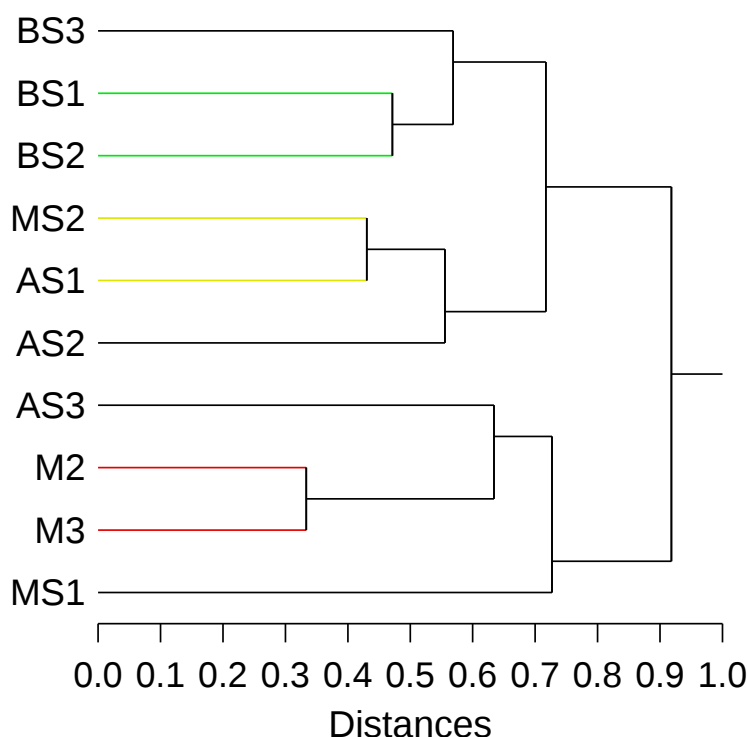


Figura 6. Agrupamento hierárquico com base na separação por DGGE de fragmentos do gene 16S de amostras de solo num gradiente crescente de salinidade (M – Mata, BS – Baixa salinidade, MS – Média salinidade, AS – Alta salinidade; em três amostras 1, 2 e 3).

A um nível de significância de 70%, o dendrograma indica quatro grupos distintos. O primeiro grupo uniu as amostras da área de baixa salinidade (BS), o segundo agrupou as amostras da área de alta salinidade (AS) com as de média salinidade (MS), o terceiro grupo uniu as amostras da área de mata (M) com uma de alta salinidade, e o quarto grupo isolou uma repetição da área de média salinidade.

Uma ANOSIM foi aplicada com o objetivo de discriminar as áreas, testando as diferenças entre os valores de similaridade entre amostras de uma mesma área e as diferenças entre os valores de similaridade entre as áreas avaliadas. Os resultados apontaram que as quatro áreas não são diferentes entre si, com um R global de 0,203 ($R < 0,25$ indicam grupos pouco separados (CLARKE; GORLEY, 2001)), indicando que a salinidade não foi determinante para diferenciação da estrutura da comunidade bacteriana.

Apesar de não haver diferença estatística entre as áreas, a área de Mata apresentou uma maior riqueza de unidades taxonômicas operacionais (UTOs), representada pelo número de bandas no gel do DGGE, seguida pela área de alta

salinidade (Figura 7). Do mesmo modo, o índice de dominância de Simpson (D), quanto mais próximo de 0 (zero) indica uma menor dominância da comunidade estudada, ou seja, uma maior diversidade de espécies.

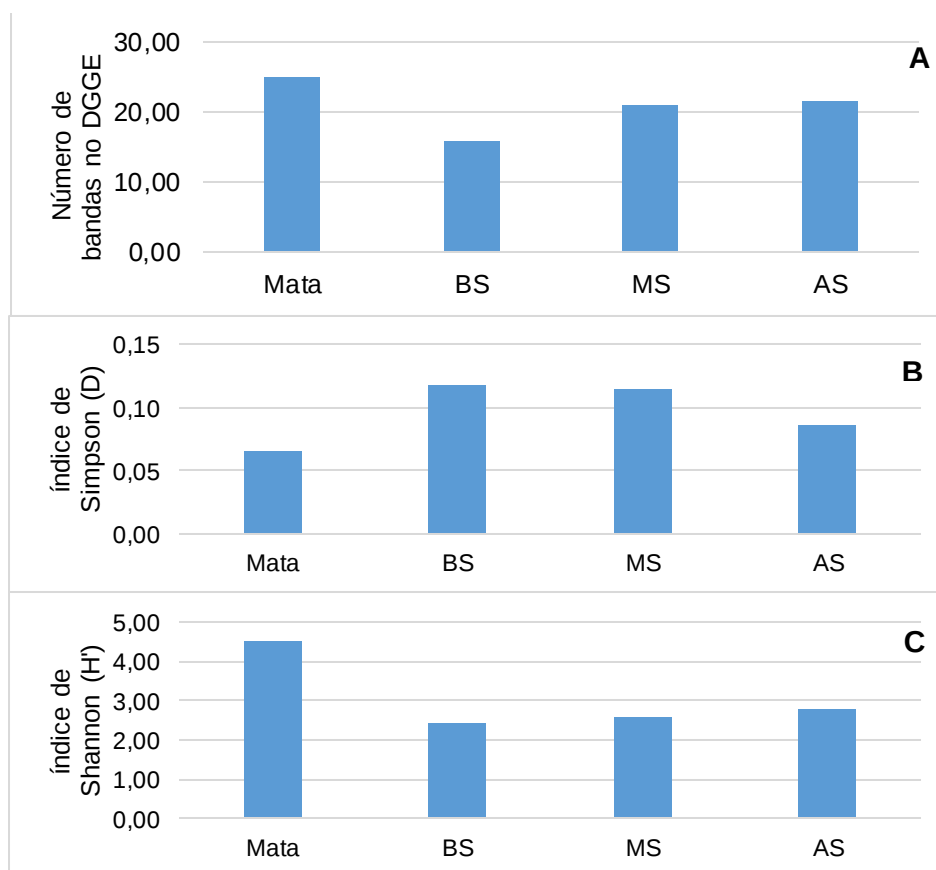


Figura 7. Índices de diversidade para o gene 16S rRNA de bactéria. (A) Números de bandas no gel de DGGE, (B) índice de dominância de Simpson e (C) índice de diversidade de Shannon do 16S rRNA DGGE (BS – Baixa salinidade, MS – média salinidade, AS – Alta salinidade).

O índice de diversidade de Shannon foi maior na área de Mata, indicando, mais uma vez, uma maior diversidade nesta área, seguido pelo da área de alta salinidade. Isto sugere que, dentre as áreas degradadas, a que apresentou maior nível de acúmulo de sais também desenvolveu uma maior diversidade de espécies. Fato este observado em alguns estudos que indicaram que a diversidade molecular das bactérias não diminui ao longo do gradiente de aumento da salinidade e pode manter um alto nível em ambientes extremamente salinos (WU et al., 2006, WANG et al., 2011). Provavelmente, diferentes comunidades microbianas passem a habitar o solo salino, por serem adaptadas a este ambiente, da mesma maneira que ocorre com as espécies vegetais.

Tabela 12. Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e índices de diversidade extraídos com base no perfil do DGGE para o gene 16S rRNA

Variáveis	Eixo Fatorial	
	1	2
Cargas fatoriais ⁽¹⁾		
R	-0,866121	-0,451983
D	0,796678	0,510344
H'	-0,962904	-0,071556
CE	0,563393	-0,783835
RAS	0,379666	-0,901444
pH	-0,513951	0,609707
pH H ₂ O	-0,934656	-0,246359
Autovalor	3,911330	2,329294
Variância Total (%)	55,87614	33,27563
Variância Acumulada (%)	55,87614	89,15177

(1) Cargas fatoriais $\geq 0,70$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

Pela análise de fatorial por componentes principais foi possível verificar que o pH do solo se correlacionou com os índices extraídos com base no gel do DGGE. A medida que o pH aumentou, a riqueza (R) e a diversidade (H') aumentaram, e a dominância (D) diminuiu (Tabela 12). Isto indica a possível existência de maior diversidade de bactérias em solos de pH mais elevado. Para a situação do solo em estudo, o valor mais elevado de pH chegou a 7,68, mas houve uma maior proporção de amostras com pH entre 5,5 e 6,5, faixa ideal para a maioria das plantas e micro-organismos e onde os nutrientes encontram-se em maior disponibilidade. É possível que, em outras áreas de solos salinos, com valores mais altos de pH, a correlação não seja direta.

Quanto à comunidade de fungos, também foi observado o perfil da estrutura desta comunidade com a amplificação do gene 18S rRNA (Figura 8).

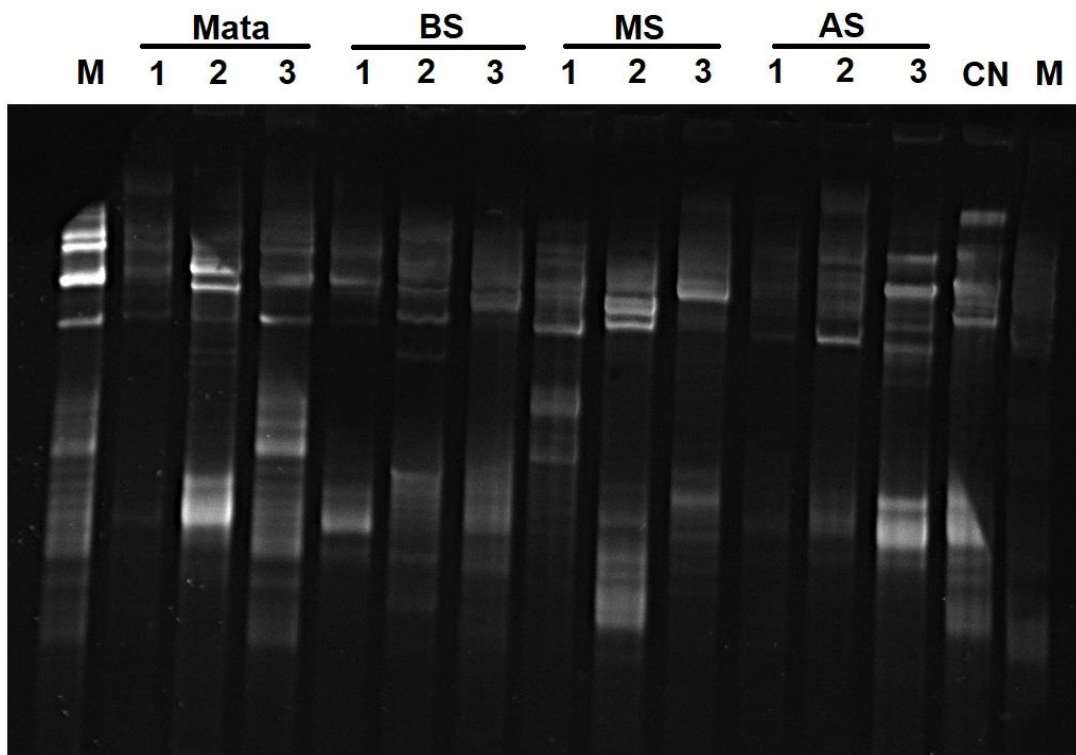


Figura 8. Eletroforese com gel de poliacrilamida com gradiente desnaturante, gerado por separação de fragmentos do gene 18S amplificados de amostras de DNA do solo (M – Mata nativa, BS – Baixa salinidade, MS – Média salinidade, AS – Alta salinidade).

Na análise de agrupamento com base no perfil do DGGE, semelhante ao que ocorreu para o gene 16S rRNA de bactéria, foi verificado que o nível de salinidade não foi determinante sobre a estrutura da comunidade (Figura 9).

É possível que a elevada variabilidade das áreas tenha impossibilitado a detecção de diferenças entre elas. A análise ANOSIM aplicada teve um R global de 0,059, indicando que as áreas não são diferentes entre si.

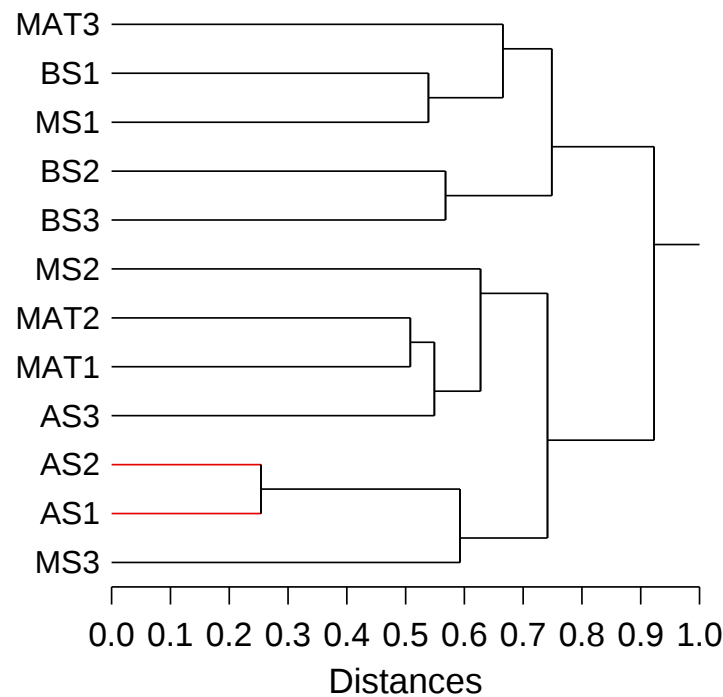


Figura 9. Agrupamento hierárquico com base na separação por DGGE de fragmentos do gene 18S de amostras de solo num gradiente crescente de salinidade (MAT – Mata, BS – Baixa salinidade, MS – Média salinidade, AS – Alta salinidade; em três amostras 1, 2 e 3).

Com base nos índices de Simpson (D) e Shannon (H'), e no número de bandas presentes no gel do DGGE, não foi possível detectar diferenças entre as comunidades de fungos associadas às áreas de Mata e de salinidade crescente (Figura 10). Pode-se atribuir a falta de diferenciação entre as áreas amostradas à alta variabilidade entre as amostras, mascarando a expressão dos resultados. Também, à salinidade em níveis não muito altos, como ocorrem em outras áreas de solos afetados por sais no semiárido brasileiro (SOUZA et al., 2011, SILVA et al., 2016).

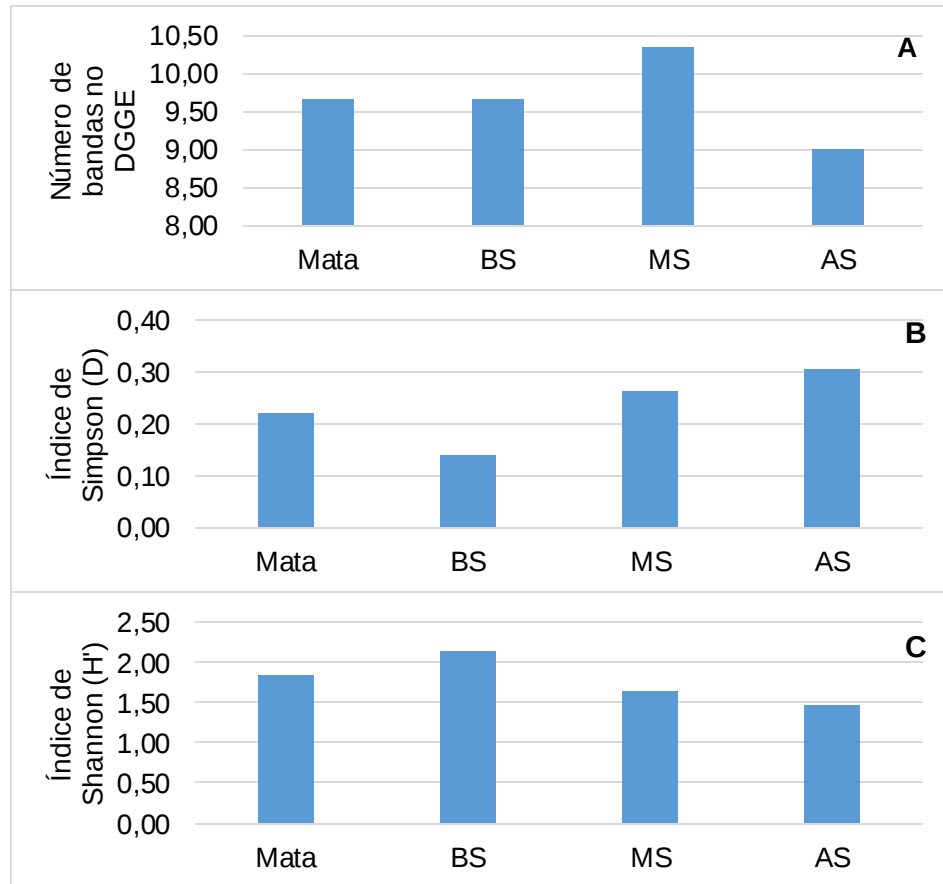


Figura 10. Índices de diversidade para o gene 18S de fungo. (A) Números de bandas no gel de DGGE, (B) índice de dominância de Simpson e (C) índice de diversidade de Shannon do 18S rDNA DGGE (BS – Baixa salinidade, MS – média salinidade, AS – Alta salinidade).

Pela análise fatorial por componentes principais, houve correlação positiva entre a CE e a RAS com o índice de dominância (D), e correlação negativa com o índice de diversidade (H') (Tabela 13). Isto pode ser um indicativo de que o aumento da salinidade pode reduzir a diversidade de fungos, embora não tenha sido o suficiente para diferenciar as áreas entre si, como foi dito acima. Com o tempo e a evolução da degradação, possivelmente esta diferenciação será alcançada, quando os valores de CE e RAS forem mais elevados, interferindo negativamente na população de fungos presentes no solo.

Tabela 13. Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e índices de diversidade extraídos com base no perfil do DGGE para o gene 18S rRNA

Variáveis	Eixo fatorial	
	1	2
Cargas fatoriais ⁽¹⁾		
R	0,669953	0,508316
D	-0,824274	0,564998
H'	0,832212	-0,550023
CE	-0,942987	-0,103205
RAS	-0,992995	-0,011704
pH	0,641430	0,733914
pH H ₂ O	0,003868	0,827997
Autovalor	4,107552	2,115130
Variância Total (%)	58,67932	30,21614
Variância Acumulada (%)	58,67932	88,89546

(1) Cargas fatoriais $\geq 0,70$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

4.2 Interação entre os atributos químicos e biológicos

Na tentativa de encontrar associações entre os atributos químicos e biológicos do solo, foram testadas correlações canônicas e foram encontrados resultados significativos para o primeiro par das correlações canônicas (5% de probabilidade) pelo teste de qui-quadrado (0,89). O conjunto (I) explica o conjunto (II), no primeiro par canônico (Tabela 14).

Dentre as variáveis relacionadas com a salinidade, o atributo que melhor explicou a influência na microbiota foi o Na⁺ solúvel ($R = -6,42$), Mg²⁺ solúvel ($R = 2,61$), Cl⁻ solúvel ($R = 2,55$), Ca²⁺ solúvel ($R = -2,32$) e CEes ($R = 1,96$), Na⁺ trocável ($R = 1,22$) e RAS ($R = 1,08$). À medida que os valores de Na⁺ e Ca²⁺ aumentaram, a C-CO₂ também aumentou, já em relação aos teores de Mg²⁺ solúvel, Cl⁻ solúvel, Na⁺ trocável, CEes e RAS, os atributos são inversamente proporcionais. Indicando que o aumento da salinidade, pode fazer com que a atividade respiratória microbiana do solo seja reduzida, como relatado na literatura (RASUL et al., 2006; YUAN et al., 2007). No que concerne aos valores de pH, PST e COT, foi verificado

pouco ou nenhum efeito destas variáveis ($R < 0,5$), bem como de HCO_3^- e SO_4^{2-} solúveis.

Tabela 14. Correlações canônicas e pares canônicos entre os atributos biológicos e químicos do solo

Pares canônicos				
Conjuntos	Variáveis	1	2	3
Correlações canônicas				
CI	C – mic ⁽¹⁾	0,13	-1,12	1,23
	C - CO ₂ ⁽²⁾	-1,05	0,18	-1,09
	qCO ₂ ⁽³⁾	0,07	-0,15	1,88
CII	Na ⁺ solúvel	-6,42	2,06	-0,18
	K ⁺ solúvel	0,83	0,20	1,30
	Na ⁺ trocável	1,22	0,66	0,64
	K ⁺ trocável	-0,55	0,16	-0,65
	Ca ²⁺ solúvel	-2,32	-0,64	-1,08
	Mg ²⁺ solúvel	2,61	0,90	0,21
	Ca ²⁺ trocável	0,50	-0,37	-0,40
	Mg ²⁺ trocável	-0,23	-0,69	0,93
	RAS ⁽⁴⁾	1,08	-0,58	-0,43
	PST ⁽⁵⁾	0,06	0,01	-0,36
	pH _{H2O}	0,06	0,67	0,13
	pHes ⁽⁶⁾	-0,37	-0,17	-0,13
	CEes ⁽⁷⁾	1,96	-0,10	-0,56
	COT ⁽⁸⁾	0,37	0,07	0,38
	Cl ⁻ solúvel	2,55	0,09	2,18
	HCO ₃ ⁻ solúvel	-0,09	-0,65	0,28
	SO ₄ ²⁻ solúvel	-0,41	-1,79	-2,13
R - Canônico		0,94*	0,79 ^{ns}	0,71 ^{ns}
Qui-quadrado		76,19	32,80	13,43
GL ⁽⁹⁾		51	32	15

⁽¹⁾ C da biomassa microbiana; ⁽²⁾ Respiração basal do solo; ⁽³⁾ Quociente metabólico; ⁽⁴⁾ Relação de adsorção de sódio; ⁽⁵⁾ Porcentagem de sódio trocável; ⁽⁶⁾ pH do extrato de saturação; ⁽⁷⁾ Condutividade elétrica do extrato de saturação; ⁽⁸⁾ Carbono orgânico total; ⁽⁹⁾ Graus de

liberdade; * significativo a 1%; ns: não significativo. Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

Por outro lado, a análise fatorial por componentes principais não permitiu identificar nenhuma relação entre as variáveis de salinidade e a microbiota do solo. Com o eixo fatorial F1 foi possível estimar a influência das variáveis (Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} solúveis, RAS, CE, Cl^- e SO_4^{2-}) (Tabela 15). Os resultados indicaram que o teor de sais pode variar, principalmente, em função da CEes e que estes elementos se relacionaram fortemente entre si (R maior que 0,70).

Pelo segundo eixo fatorial F2, houve indicação de que as variáveis pH, K^+ e Ca^{2+} trocáveis se relacionaram principalmente entre elas e pouco com as demais variáveis. Com o eixo fatorial F3 explicou-se a influência da C-CO₂ no qCO₂ e que eles se relacionaram de forma diretamente proporcional. O eixo fatorial F4 indicou que a PST e o COT interagiram entre si de forma diretamente proporcional, e o eixo fatorial F5 possibilitou indicar que a C-mic não interagiu com nenhuma variável analisada. E a variância acumulada dos cinco fatores obtidos (F1 a F5) conseguiu explicar cerca de 80% da variabilidade total dos dados (Tabela 15).

Pelo alto número de valores necessários para explicar a variabilidade dos dados, não foi possível relacionar as variáveis químicas e biológicas do solo. Mais uma vez, foi confirmada a heterogeneidade do solo em estudo, com diferença nas propriedades químicas, físicas e biológicas temporal e espacialmente. Nessas condições de elevada evapotranspiração e reduzida precipitação, distribuída de maneira irregular, os impactos do uso do solo sem o manejo adequado têm sido de grande dimensão.

No entanto, a necessidade cada vez maior de produção de alimentos e energia, tem exercido pressão constante para o uso intensivo de áreas propensas à degradação, como a deste estudo. Mas, para que a qualidade dos solos não seja profundamente atingida negativamente, são necessárias técnicas de proteção do solo, com vegetação adaptada ao ambiente local. Estudos subsequentes devem ser desenvolvidos para que os objetivos de melhoria da qualidade ambiental sejam alcançados em áreas do semiárido do Brasil, contribuindo também para a captação de C da atmosfera.

Tabela 15. Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e microbiota do solo

Variáveis	Eixo fatorial ⁽¹⁾					
	1	2	3	4	5	6
	Cargas fatoriais					
C-mic ⁽²⁾	-0,21	-0,01	0,24	0,14	0,89	0,06
C-CO ₂ ⁽³⁾	-0,31	0,05	-0,74	-0,11	0,27	0,25
qCO ₂ ⁽⁴⁾	-0,03	0,03	-0,86	-0,08	-0,43	0,02
Na ⁺ solúvel	0,97	0,01	-0,03	0,05	-0,10	0,11
K ⁺ solúvel	0,31	0,22	-0,32	-0,01	-0,08	0,79
Na ⁺ trocável	0,68	0,27	0,31	0,38	0,01	-0,33
K ⁺ trocável	0,08	0,73	0,17	0,04	0,00	0,54
Ca ²⁺ solúvel	0,75	0,01	-0,05	0,26	0,26	-0,10
Mg ²⁺ solúvel	0,96	0,00	0,07	0,04	0,09	-0,02
Ca ²⁺ trocável	0,09	0,84	0,08	0,27	0,10	-0,18
Mg ²⁺ trocável	0,68	0,37	0,14	0,42	0,23	-0,24
RAS ⁽⁵⁾	0,74	-0,06	-0,28	0,16	-0,19	0,30
PST ⁽⁶⁾	0,24	0,08	0,12	0,74	0,12	-0,34
pH _{H2O}	-0,07	0,75	-0,14	-0,40	-0,11	0,16
pHes ⁽⁷⁾	-0,05	0,90	-0,12	0,03	0,17	0,08
CEes ⁽⁸⁾	0,98	0,01	0,13	0,08	0,00	0,04
COT ⁽⁹⁾	-0,01	-0,03	0,02	0,89	-0,01	0,24
Cl ⁻ solúvel	0,98	-0,02	0,10	-0,08	-0,04	0,00
HCO ₃ ⁻ solúvel	0,30	0,28	-0,15	-0,05	0,70	-0,19
SO ₄ ²⁻ solúvel	0,86	0,00	0,24	-0,12	-0,07	0,26
Autovalor	7,39	3,07	2,92	1,47	1,31	1,06
Variância Total (%)	36,93	15,33	14,58	7,34	6,56	5,32
Variância Acumulada (%)	36,93	52,26	66,84	74,18	80,74	86,06

⁽¹⁾ Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax (cargas fatoriais $\geq 0,70$ foram consideradas significantes para fins de interpretação); ⁽²⁾ C da biomassa microbiana; ⁽³⁾ Respiração basal do solo; ⁽⁴⁾ Quociente metabólico; ⁽⁵⁾ Relação de adsorção de sódio; ⁽⁶⁾ Porcentagem de sódio trocável; ⁽⁷⁾ pH do extrato de saturação; ⁽⁸⁾ Condutividade elétrica do extrato de saturação; ⁽⁹⁾ Carbono orgânico total.

5. CONCLUSÕES

Há uma elevada variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas do solo na área sob acúmulo de sais.

A salinidade do solo em estudo aumenta com o tempo decorrido e é maior em profundidade.

A atividade respiratória microbiana é reduzida pelo aumento da salinidade, evidenciando que a microbiota foi sensível ao stress salino.

Em solos com baixos teores de sais o aumento da salinidade não é determinante na diferenciação da estrutura da comunidade de bactérias e fungos.

A diversidade da comunidade bacteriana não diminui com o gradiente crescente de salinidade.

A diversidade da comunidade de fungos é reduzida com o aumento da salinidade, indicando sensibilidade ao stress salino.

A comunidade de bactérias tem maior diversidade que a de fungos, sugerindo uma maior adaptabilidade das bactérias a este tipo de ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ-ROGEL, J.; CARRASCO, L.; MARÍN, C. M.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. J. Soils of a dune coastal salt marsh system in relation to groundwater level, micro-topography and vegetation under a semiarid Mediterranean climate in SE Spain. **Catena**, Cremlingen, v. 69, n. 2, p. 111-121, 2007.
- ANDERSON, I. C.; CAMPBELL, C. D.; PROSSER, J. I. Diversity of fungi in organic soils under a moorland-Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) gradient. **Environmental Microbiology**, Oxford, v. 5, p. 1121-1132, 2003.
- APAC. **Monitoramento Pluviométrico**. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em 21 de julho de 2017.
- BASTIDA, F.; JINDO, K.; MORENO, J. L.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Effects of organic amendments on soil carbon fractions, enzyme activity and humus enzyme complexes under semi-arid conditions. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 53, p. 94–102, 2012.
- BEN SALEM, H.; NORMAN, H. B. C.; NEFZAOU, A.; MAYBERRY, D. E.; PEARCE, K. L.; REVELL, D. K. Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in sheep and goat feeding. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 91, p. 13-28, 2010.
- BENGOUGH, A. G.; MCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; VALENTINE, T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 59-68, 2011.
- BESSA, M. C. **Estabelecimento de plantas nativas da Caatinga em um gradiente de salinidade do solo, sob condições controladas**. 2012. 90 P. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- BUSCAROLI, A.; ZANNONI, D. Soluble ions dynamics in Mediterranean coastal pinewood forest soils interested by saline groundwater. **Catena**, Cremlingen, v. 157, p. 112-129, 2017.
- CALDWELL, B. A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: a review. **Pedobiologia**, v. 49, p. 637–644, 2005.
- CANFORA, L.; BACCI, G.; PINZARI, F.; LO PAPA, G.; DAZZI, C.; BENEDETTI, A. Salinity and bacterial diversity: to what extent does the concentration of salt affect the bacterial community in a saline soil? **PLOS One**, San Francisco, v. 9, n. 9, 2014.
- CANFORA, L.; LO PAPA, G.; ANTISARI, L. V.; BAZAN, G.; DAZZI, C.; BENEDETTI, A. Spatial microbial community structure and biodiversity analysis in “extreme”

- hypersaline soils of a semiarid Mediterranean area. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 93, p. 120–129, 2015.
- CLARK, G. J.; DODGSHUN, N.; SALE, P. W. G.; TANG, C. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 39, n. 11, p. 2806–2817, 2007.
- CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Austral Ecology**, Carlton, v. 18, p. 117-143, 1993.
- CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. Primer 6.0: user manual/tutorial. Plymouth, 2001.
- COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Analysis of degradation of 'Caatinga' in the desertification nucleus of Seridó – Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 13, p. 961-974, 2009.
- DION, P.; NAUTIYAL, C. S. **Microbiology of Extreme Soils**: Soil Biology, ed 13. Berlin: Springer, 2008. P. 87-115
- ELDARDIRY, E. I.; ABD EL-HADY, M.; ZAGHLOUL, A. M. Relationship between soil physical and chemical properties and hydrophysical soil properties under reuse of agricultural drainage water. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Deira, v. 13, n. 1, p. 01-06, 2013.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.191-234
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 396, p. 307-319, 2004.
- FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, London, v. 179, p. 945-963, 2008.
- FREIRE, A. L. O.; RODRIGUES, T. J. D. A Salinidade do solo e seus reflexos no crescimento, nodulação de teores de N, K e Na em *Leucena* (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Vit.). **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 163-173, 2009.
- FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: **Fertilidade do Solo**. Novais, R. F. et al. (Ed.). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 929-954.
- FREIRE, M. B. G. S.; MIRANDA, M. F. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SILVA, L. E.; PESSOA, L. G. M.; ALMEIDA, B. G. Agrupamento de solos quanto à salinidade no Perímetro Irrigado de Custódia em função do tempo. **Revista Brasileira de**

- Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. supl. 0, p. 86-91, 2014.
- FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 45-52, 2003.
- FREITAS, R. M. O.; NOGUEIRA, N. W.; OLIVEIRA, F. N.; COSTA, E. M.; RIBEIRO, M. C. C. Efeito da irrigação com água salina na emergência e crescimento inicial de plântulas de jucatã. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, p. 54-58, 2010.
- GARCÍA-RUIZ, R.; OCHOA, V.; VIÑEGLA, B.; HINOJOSA, M. B.; PEÑA-SANTIAGO, R.; LIÉBANAS, G.; LINARES, J. C.; CARREIRA, J. A. Soil enzymes, nematode community and selected physico-chemical properties as soil quality indicators in organic and conventional olive oil farming: influence of seasonality and site features. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 41, p. 305–314, 2009.
- GARDES, M.; BRUNS, T. D. Its primers with enhanced specificity for basidiomycetes: application to the identification of mycorrhiza and rusts. **Molecular Ecology**, Malden, v. 2, p. 113-118, 1993.
- GHAZANFAR, S.; AZIM, A.; GHAZANFAR, M. A.; ANJUM, M. I.; BEGUM, I. Metagenomics and its application in soil microbial community studies: biotechnological prospects. **Journal of Animal and Plant Sciences**, Islamabad, v. 2, p. 611–622, 2010.
- GLICK, B. R. Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. **Biotechnology Advances**, Oxford, v. 28, n. 3, p. 367-374, 2010.
- HEUER, H.; KRSEK, M.; BAKER, P.; SMALLA, K.; WELLINGTON, E. M. Analysis of actinomycete communities by specific amplification of genes encoding 16S rRNA and gel electrophoretic separation in denaturing gradients. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 63, p. 3233–3241, 1997.
- HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, São Cristóvão, v. 7, p. 39-50, 2007.
- HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; NETO, M. F.; HOLANDA, A. C. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 43-61
- INMET. **Normais climatológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em 21 de julho de 2017.

- IWAI, C. B.; NAING OO, A.; TOPARK-NGARM, B. Soil property and microbial activity in natural salt affected soils in an alternating wet–dry tropical climate. **Geoderma**, Amsterdam, v. 189–190, p. 144-152, 2012.
- KAZUNORI, S.; OBA, Y. Effect of fungal to bacterial biomass ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 17, p. 39-44, 1994.
- KESHRI, J.; MISHRA, A.; JHA, B. Microbial population index and community structure in saline-alkaline soil using gene targeted metagenomics. **Microbiological Research**, Jena, v. 168, p. 165–173, 2013.
- LEITE, E. M.; DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F.; RAIJ, H. G.; CAMPOS, V. B. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 110-116, 2010.
- LEITE, E. M.; CAVALCANTE, L. F. C.; DINIZ, A. A.; SANTOS, R. V.; ALVES, G. S. L.; CAVALCANTE, I. H. L. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. **Irriga**, Botucatu, v. 12, p. 168-176, 2007.
- LI, Y.; CHEN, C.; WEN, K.; LI, G.; CAO, P.; ZHANG, Y.; TACKETT, T. M. Abandoned reverse osmosis membrane effects on phytoremediation of saline soils with trees. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 84, p. 660-667, 2015.
- LIPIEC, J.; HORN, R.; PIETRUSIEWICZ, J.; SICZEK, A. Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 121, p. 74-81, 2012.
- LIU, X.; CHEN, L.; LI, X.; SUI, P. Study on the adaptive farming system in saline soils - A case study in saline area of strand plain in Hebei Province. **Chinese Journal of Eco-Agriculture**, v. 18, p. 911-913, 2010.
- MA, B.; GONG, J. A meta-analysis of the publicly available bacterial and archaeal sequence diversity in saline soils. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 29, n. 12, p. 2325-2334, 2013.
- MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; BENDER, K. S.; BUCKLEY, D. H.; STAHL, D. A. **Microbiologia de Brock**. Edição 14. Porto Alegre: Artmed, 2016. p. 579-586
- MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Nitrogen fractions in a Luvisol under agroforestry and conventional systems in the semi-arid zone of Ceará, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 381-392, 2008.
- MAMEDE, M. A.; ARAÚJO, F.S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, London, v. 72, n. 2, p. 458-470, 2008.

- MATOS, E. R. **Variações das estruturas das comunidades de bactérias e fungos em Espodossolos sob diferentes regimes de drenagem**. 2015. 155 p. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. p. 61-66
- MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GIONGO, V.; PEREZ-MARIN, A. M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, n.3, suppl., p. 643-653, 2012.
- MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 484-490, 2011.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente), 2011. Subsídios para a elaboração do plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Caatinga. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
<http://www.mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/diagnostico_do_desmatamento_na_caatinga_203_2_203_1.pdf>.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 239–250, 2002.
- MUNNS, R.; JAMES, R. A.; LÄUCHLI, A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, p. 1025–1043, 2006.
- NASCIMENTO, H. H. C.; SANTOS, C. A.; FREIRE, C. S.; SILVA, M. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Ajustamento osmótico em mudas de Jatobá submetidas à salinidade em meio hidropônico. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 641-653, 2015.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; RODRIGUES, C. R. Crescimento e nutrição mineral de mudas de Umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) submetidas a níveis de salinidade em solução nutritiva. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 997-1006, 2004.
- PEI, S.; FU, H.; WAN, C. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 124, p. 33-39, 2008.
- QADIR, M.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D.; SAHRAWAT, K. L. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. **Advances in Agronomy**, v. 96, p. 197-247, 2007.
- QADIR, M.; QURESHI, R. H.; AHMAD, N. Reclamation of a saline sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, p. 207-217, 1996.

- RASUL, G.; APPUHN, A.; MULLER, T.; JOERGENSEN, R. G. Salinity-induced changes in the microbial use of sugarcane filter cake added to soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 31, p. 1-10, 2006.
- RENGASAMY, P.; CHITTLEBOROUGH, D.; HELYAR, K. Root-zone constraints and plant-based solutions for dryland salinity. **Plant and Soil**, The Hague, v. 257, p. 249–260, 2003.
- RESZKOWSKA, A.; KRÜMMELBEIN, J.; GAN, L.; PETH, S.; HORN, R. Influence of grazing on soil water and gas fluxes of two inner Mongolian steppe ecosystems. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, p. 180-189, 2011.
- RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos do Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. (Eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.165-208. 2003.
- RIETZ, D. N.; HAYNES, R. J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 35, n. 6, p. 845–854, 2003.
- ROMERO-ARANDA, R.; MOYA, J. L.; TADEO, F. R.; LAGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: Beneficial and detrimental effects of cations. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 21, p. 1243-1253, 1998.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 297-300, 2005.
- SÁ, F. V. S.; ARAÚJO, J. L.; NOVAES, M. C.; SILVA, A. P.; PEREIRA, F. H. F.; LOPES, K. P. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do nordeste brasileiro tratado com corretivos. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 388-396, 2013.
- SANTOS, M. A.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G.; LINS, C. M. T.; SILVA, E. M. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com *Atriplex nummularia* e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 397-404, 2013.
- SARDINHA, M.; MULLER, T.; SCHMEISKY, H.; JOERGENSEN, R. G. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 23, p. 237-244, 2003.
- SHANNON, C.E., WEAVER, W., 1963. The Mathematical Theory of Communication. The University of Illinois Press, Urbana, Illinois.

- SILVA, F. G.; SANTOS, I. B.; SOUSA, A. J.; FARIAS, A. R. B.; DINIZ, W. P. S.; SOBRAL, J. K.; FREIRE, M. B. G. S. Bioprospecting and plant growth-promoting bacteria tolerant to salinity associated with *Atriplex nummularia* L. in saline soils. **African Journal of Microbiology Research**, v. 10, n. 31, p. 1203-1214, 2016.
- SILVA, Y. J. A. B.; SILVA, Y. J. A. B.; FREIRE, M. B. G. S.; LOPES, E. A. P. L.; SANTOS, M. A. *Atriplex nummularia* Lindl. as alternative for improving salt-affected soils conditions in semiarid environments: a field experiment. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 76, n. 3, p. 343-348, 2016.
- SIMPSON, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163, 688.
- SMIT, E.; LEEFLANG, P.; GLANDORF, B.; Van ELSAS, J. D.; WERNARS, K. Analysis of fungal diversity in the wheat rhizosphere by sequencing cloned pcr-amplified genes encoding 18S rRNA and temperature gradient gel electrophoresis. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 65, n. 6, p. 2614-2621, 1999.
- SMITH, J. L. Cycling of nitrogen through microbial activity. *Advances in Soil Science*, v. 18, Springer-Verlag, New York, 1993. p. 91-120.
- SOUSA, F. Q.; ARAÚJO, J. L.; SILVA, A. P.; PEREIRA, F. H. F.; SANTOS, R. V.; LIMA, G. S. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 173-181, 2012.
- SOUSA, F. Q.; ARAÚJO, J. L.; SILVA, A. P.; PEREIRA, F. H. F.; SANTOS, R. V.; LIMA, G. S. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 173-181, 2012.
- SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; FREIRE, F. J.; MELO, H. F. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 477-483, 2011.
- SOUZA, F. P.; FERREIRA, T. O.; MENDONÇA, E. S.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 148, p. 11-21, 2012.
- STAMFORD, N. P.; RIBEIRO, M. R.; CUNHA, K. P. V. Effectiveness of sulfur with *Acidithiobacillus* and gypsum in chemical attributes of a Brazilian sodic soil. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 23, p. 1433-1439, 2007.
- SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; McCUTCHEON, S. C. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 18, n. 5, p. 647-658, 2002.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.
- TERTULIANO, S. S. X.; SANTOS, R. V. Crescimento de espécies arbóreas em solo salino-sódico tratado com ácido sulfúrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 239-242, 1998.
- TRIPATHI, S.; KUMARI, S.; CHAKRABORTY, A.; GUPTA, A.; CHAKRABARTI, K.; BANDYAPADHYAY, B. K. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 42, p. 273-277, 2006.
- UNITED STATES SALINITY LABORATORY. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington DC: US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60).
- VENTOSA, A.; MELLADO, E.; SANCHEZ-PORRO, C.; MARQUEZ, M. C. In: DION, P.; NAUTIYAL, C. S. **Microbiology of Extreme Soils: Soil Biology**, ed. 13. Berlin: Springer. 2008.
- VENTOSA, A.; NIETO, J. J.; OREN, A. Biology of moderately halophilic aerobic bacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, v. 62, p. 504-544, 1998.
- VITAL, A. F. M.; SANTOS, R. V.; CAVALCANTE, L. F. C.; SOUTO, J. S. Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 30-36, 2005.
- WANG, J.; YANG, D.; ZHANG, Y.; SHEN, J.; VAN DER GAST, C.; HAHN, M. W.; WU, Q. Do patterns of bacterial diversity along salinity gradients differ from those observed for macroorganisms? **PLoS ONE**, Washington, v. 6, p. e27597, 2011.
- WHALLEY, W. R.; LIPIEC, J.; STEPNIIEWSKI, W.; TARDIEU, F. **Control and measurement of the physical environment in root growth experiments**. In: SMIT, A. L.; BENGOUGH, A. G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S. C. *Root Methods A Handbook*, Springer-Verlag, Berlin, 2000, p. 76-112.
- WHITE, T. J.; BRUNS, T.; LEE, S.; TAYLOR, J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: INNIS, M. A.; GELFAND, D. H.; SNINSKY, J. J.; WHITE, T. J. (Ed.). **PCR protocols: a guide to methods and applications**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 315-322.
- WÓJCIGA, A.; BOLTE, K.; HORN, R.; STEPNIIEWSKI, W.; BAJUK, E. Surface shear resistance of soils on the micro- to mesoscale. **International Agrophysics**, Lublin, v. 23, p. 391-398, 2009.
- WU, Q. L.; ZWART, G.; SCHAUER, M.; KAMST-VAN AGTERVELD, M. P.; HAHN, M. W. Bacterioplankton community composition along a salinity gradient of

- sixteen high-mountain lakes located on the Tibetan Plateau, China. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 72, p. 5478-5485, 2006.
- WU, Y.; LIU, R.; ZHAO, Y.; LI, P.; LIU, C. Spatial and seasonal variation of salt ions under the influence of halophytes, in a coastal flat in eastern China. **Environmental Geology**, v. 57, p. 1501-1508, 2009.
- YAN, N.; MARSCHNER, P. Response of microbial activity and biomass to increasing salinity depends on the final salinity, not the original salinity. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 53, p. 50-55, 2012.
- YAO, R.; YANG, J.; GAO, P.; ZHANG, J.; JIN, W. Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 128, p. 137-148, 2013.
- YUAN, B. C.; XU, X. G.; LI, Z. Z.; GAO, T. P.; GAO, M.; FAN, X. W.; DENG, J. M. Microbial biomass and activity in alkalized magnesian soils under arid conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 39, p. 3004-3013, 2007.