



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ANDREZA DE FREITAS NUNES OLIVEIRA

**SELEÇÃO DE ISOLADOS DE BACTÉRIAS DE SOLOS DE CAATINGA COM
POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL**

FORTALEZA

2020

ANDREZA DE FREITAS NUNES OLIVEIRA

SELEÇÃO DE ISOLADOS DE BACTÉRIAS DE SOLOS DE CAATINGA COM
POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL

Monografia apresentada ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Vânia Maria Maciel
Melo.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O45s Oliveira, Andreza de Freitas Nunes.
Seleção de isolados de bactérias de solos de caatinga com potencial para promoção de crescimento vegetal / Andreza de Freitas Nunes Oliveira. – 2020.
61 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Ciências Biológicas, Fortaleza, 2020.
Orientação: Profa. Dra. Vânia Maria Maciel Melo.
1. Bioinoculantes. 2. Desertificação. 3. Exclusão de pastagem. 4. Recuperação. 5. Áreas degradadas. I.
Título.

CDD 570

ANDREZA DE FREITAS NUNES OLIVEIRA

SELEÇÃO DE ISOLADOS DE BACTÉRIAS DE SOLOS DE CAATINGA COM
POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL

Monografia apresentada ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Vânia Maria Maciel
Melo.

Aprovada em: 21 / 10 / 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dra. Vânia Maria Maciel Melo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araújo Pereira
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Dra. Maria Cristiane Rabelo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico a todos aqueles que lutam por um meio ambiente justo e sustentável. E, especialmente, aos pequenos agricultores familiares de Irauçuba que possam se beneficiar diretamente deste trabalho e promover sustento às suas famílias.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a cada pessoa que me ajudou intelectualmente, emocionalmente ou financeiramente a suportar esses anos, nem sempre fáceis, de graduação.

Primeiramente, agradeço a minha orientadora *Vânia Melo* por ser um exemplo de mulher forte, mãe cuidadosa e cientista incrível, com uma grande história em prol da ciência. Obrigada por inspirar tantas pessoas com seu conhecimento e amor pela ciência.

Além disso, quero agradecer à minha família, e também pedir desculpas por todos os momentos de estresse, ansiedade e raiva de minha parte que presenciaram. Quero agradecer em especial à minha mãe, *Heloisa*, por ter segurado minha mão em todos esses momentos e me apoiado quando eu sequer conseguia sair de casa. Ao meu irmão, *Rian*, eu agradeço por ser a pessoa que mais me proporcionou alívios cômicos em toda a minha vida e por sempre saber a hora exata de me consolar. Queria agradecer minha irmã, *Maryzinha*, por me motivar e acreditar em mim, mesmo quando eu não acredito, além de mimar mais do que eu reconheço merecer. Quero agradecer ao meu pai, *Lairton*, pelo apoio financeiro em boa parte da minha graduação, sem essa ajuda com certeza teria sido muito mais complicado continuar nessa trajetória e, agradeço ainda, pelo apoio nessas últimas etapas, me impulsionando a seguir fazendo o que amo.

Agradeço também a minha prima, *Tamires*, por ser uma das pessoas mais alto astral e que me disse tantas palavras de acalento nesse meio tempo. Admiro muito sua força e como você tem fé no que acredita. Agradeço ainda à minha avó *Maria José* e espero que o tempo conforte seu coração em relação a perda que tivemos durante este período em que escrevo, estarei sempre com você, vó, te ajudando como puder. Meu tio, *Jeová*, você jamais será esquecido e espero que esteja em lugar melhor que nós.

Agradeço a quem me acompanhou antes mesmo da graduação, mas que permanece ainda hoje: *Thaisinha*, *Vitória*, *Letícia*, *Gih*, me desculpem por sempre furar os rolês; *Lulúcia*, que está tão longe que me dá uma dor no peito e à *Jessiquinha* por ser uma das pessoas mais incríveis que já conheci; *Thamires*, *Juh*, *Laryssa* e o clube do café da manhã que nunca tomou café junto.

Quero agradecer aos meus amigos da Engenharia de Alimentos, que foram muito importantes nos primeiros anos de UFC e que continuaram em minha história desde então, em especial: *Thalita*; *Vanessa*; *Samara*; *Tekim*; *Carlos* e *Sadua*.

Agradeço ao meu squad, gases, tragédia, e todos os outros nomes em caixa alta que esse grupo já recebeu, por terem me oferecido tanto suporte. Eu não teria conseguido passar por isso sem vocês e eu amo cada uma do jeitinho que é. Agradeço a *Bea* por ser a forma humana da palavra aconchego; agradeço a *Cath* por sempre ter palavras calmas e serenas e o sorriso mais frouxo do mundo; agradeço a *Sofia* por todos os momentos divididos desde companhia de laboratório no Evolab até hoje; agradeço a *Ariane* por ser minha atual companheira de lab, por todas as palavras trocadas e vezes que tentamos nos ajudar; agradeço a *Rocha* por ser tão protetora e sempre estar disposta a nos ajudar; agradeço a *Vanessa I* por todas as risadas que já me proporcionou e por ser a pessoa mais iminda e doce ao mesmo tempo; agradeço a *Dríade* por ser a melhor companheira de seminários e por ter permanecido pomba da paz até hoje.

Além disso, agradeço a todos os meus amigos da Biologia, que não o squad, mas que são pessoas igualmente incríveis e que cruzaram meu caminho nessa graduação: *Jennifer*, que de tanto arengar se tornou uma das pessoas mais especiais desse curso pra mim; *Cláudio*, eu sinceramente não sei como te aguento; *Jeff*, por ser a pessoa que mais faz questão de dizer o quanto acredita em mim; *Pauly*, a recém sulista porém pra sempre nordestina (eu espero); *Paulo* e a companhia incrível do LADMI; *Pipo* e seu trabalho que admiro tanto. Obrigada também ao PET Biologia por ter me proporcionado tantos alívios cômicos e refúgio da pressão do dia-a-dia. Obrigada também a quem eu não coloquei aqui, mas que eu tenho muito carinho e sinto muito por ter esquecido, mas memória não é de uma de minhas qualidades.

Quero agradecer a gestão dríade pela experiência de ter participado da história do Diretório Acadêmico e que, embora tenha me proporcionado muitas dores de cabeça e estresses, também me deu a oportunidade de trabalhar com pessoas incríveis e de resolver “buchos”.

Quero agradecer a *Niédila* e a equipe de monitores do LADMI em 2016 por ter sido minha primeira “casa” na Biologia antes mesmo de eu entrar pra Biologia. Niédila você é uma mulher inspiradora e te admiro demais.

Quero agradecer a minha experiência no Evolab, embora rápida, mas que contribuiu muito para meu crescimento. Tenho imensas saudades de marcar vespas pelo Pici às 22hrs da noite (e isso não contém ironia) e de ouvir o seu Diniz gritar ao fundo: olha as meninas da escada!

Quero agradecer ao professor *Vicente* por ter sido uma das pessoas mais gentis que já conheci e, embora tenha trabalhado por pouco tempo com ele, me mostrou que a gentileza e a serenidade também são eficientes na formação e orientação de pessoas.

Queria agradecer ao *Lembiotech* e a todas as pessoas que o constituem. Em especial à *Mirella* e ao *team caatinga*. *Lara old*, obrigada por ter aturado todos os meus dramas e budejos; *Lara New*, obrigada por me acompanhar e estar em sintonia nos surtos e correrias de publicações; *Andrea*, obrigada por todas as caronas e os estresses poupados em virtude destas e também por toda a ajuda na análise molecular deste trabalho; *Mimi*, obrigada por ser uma pessoa tão solícita, empática e disposta a ajudar.

Agradeço ao seu *Valdenor* pelo bom humor e conversas trocadas; agradeço ao R.U pelo suco de maracujá e feijão carioca, mas tenho ressalvas quanto a peixada cearense; agradeço ao CNPq pela concessão da minha bolsa, tão importante pra minha continuada e por continuar resistindo frente a tanto sucateamento da educação e ciência; agradeço ao Departamento de Biologia e à minha Universidade, pelo conhecimento, auxílios, bolsas concedidas, por realizar tantos sonhos de tantas pessoas, por democratizar o ensino, pelo ensino de excelência e até pelas raivas passadas. Agradeço ao ex-reitor *Custódio*, eleito de forma democrática e com respeito à consulta da comunidade acadêmica, pelo zelo em manter a autonomia da universidade pública.

Por fim, suponho que devo agradecimentos a mim por ter suportado tanta coisa durante esses anos e seguido em frente. Eu espero que futuramente você tenha orgulho de tudo o que fez até aqui.

“Temos a obrigação de lutar pela vida na Terra – não apenas por nós mesmos, mas por todos aqueles, humanos e de outras espécies, que vieram antes de nós e a quem devemos favores, e por todos aqueles que, se formos inteligentes, virão depois de nós.”

Carl Sagan.

RESUMO

A desertificação é definida como a degradação de terras áridas, semiáridas e subúmidas secas por fatores climáticos e/ou atividades antrópicas. No Brasil, 60% da região semiárida é considerada suscetível à desertificação e, no Ceará, o município de Irauçuba se encontra em estado avançado de desertificação. Os microrganismos podem auxiliar na restauração de áreas degradadas pois atuam em diversos processos do solo. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar as variáveis edáficas e as atividades metabólicas de isolados bacterianos de solos em três diferentes estados de conservação no município de Irauçuba: a) solos de mata de caatinga secundária; b) solos de área de pousio, isoladas desde o ano 2000; c) solos de áreas de sobrepastejo. A coleta das amostras foi realizada em 2018, na fazenda Aroeira. Os solos passaram por análises químicas e biológicas. Foram isoladas 125 estirpes de bactérias e estes isolados foram testadas quanto a Promoção de Crescimento Vegetal: produção de sideróforos, utilizando meio ágar-CAS; solubilização de fosfato, utilizando meio GL adicionado de K_2HPO_4 e $CaCl_2$; os isolados positivos para um os ambos os ensaios foram testados para fixação de nitrogênio, utilizando o meio semissólido LGI-P livre de nitrogênio; e halotolerância, utilizando meio TGE com diferentes concentrações salinas. O solo de área nativa se destacou por apresentar o maior número de solubilizadoras de fosfato na área nativa, em contraste com o solo de deserto, com menor porcentagem. Cerca de 50% dos isolados produziram sideróforos independentemente da área. Em relação à qualidade da produção e solubilização desses compostos, a área de pousio obteve os melhores resultados. Pelo menos 60% dos isolados, independentemente da área, fixaram nitrogênio e todos os isolados foram considerados halotolerantes. Os maiores problemas dos solos estão relacionados aos preditores de salinidade e aos teores de alumínio tóxico. Os solos de pousio se distanciaram significativamente da situação de deserto, ora se aproximando da situação da área natural, ora apresentando um perfil intermediário, o que indica efeito positivo do pousio nos solos. Dezesesseis isolados foram selecionados para sequenciamento e análise filogenética pelos excelentes resultados para promotores de crescimento vegetal, os isolados pertencem aos gêneros: *Klebsiella*; *Serratia*; *Enterobacter* e *Burkholderia*. Visa-se futuras aplicações desses isolados em bioinoculantes que possam acelerar a recuperação dos ambientes degradados de Irauçuba-CE e mitigar o avanço do processo de desertificação no município.

Palavras-chave: Bioinoculantes. Desertificação. Exclusão de pastagem. Recuperação. Áreas degradadas.

ABSTRACT

Desertification is characterized by the degradation of arid, semi-arid and dry sub-humid lands, induced by climatic factors and anthropic activities. In Brazil, 60% of the semiarid region is considered susceptible to desertification and, in the state of Ceara, the municipality of Irauçuba is the most affected by the process. Microorganisms can be a tool for the restoration of these areas as they act in several soil processes. Thus, the objective of the study was to evaluate the edaphic variables and metabolic activities of bacterial isolates of soils in three different stages of conservation in the municipality of Irauçuba: a) soils of secondary forest of caatinga; b) grazing exclusion soils, isolated since 2000; c) overgrazing soils. The soils were sampled in 2018. Once in the laboratory, soil physical and chemical properties were analyzed and 125 bacteria were also isolated from these samples. The isolates were tested for several assays of Plant Growth Promoters, among them: Production of siderophores, using agar-CAS medium; phosphate solubilization, using GL medium with addition of K_2HPO_4 and $CaCl_2$; the positive isolates for one or both assays were tested for nitrogen fixation, using the semi-solid medium LGI-P free of nitrogen and halotolerance, using TGE medium with different salt concentrations. A higher percentage of phosphate solubilizing bacteria was observed in the native area, in contrast to the desert soil, where the lowest percentage was noticed. About 50% of the isolates produced siderophores, regardless of the area. The grazing exclusion area showed the best results in relation to the quality of production and solubilization of these compounds. At least 60% of the isolates, regardless of the area, were able to fix nitrogen, and all isolates were considered halotolerant. The main soil problems are related to the predictors of salinity. The grazing exclusion soils have significantly distanced themselves from the overgrazing situation and tend to approach the natural area or present an intermediate recovery profile, which indicates a positive effect of fallow on these soils. Sixteen isolates were selected for sequencing and phylogenetic analysis for the excellent results for plant growth promoters, the isolates belong to the genera: *Klebsiella*; *Serratia*; *Enterobacter* and *Burkholderia*. We aim to apply these isolates to produce bio inoculants that can accelerate the recovery of degraded environments in Irauçuba-CE and mitigate the advance of the desertification process in the municipality.

Keywords: Bio inoculants. Desertification. Grazing Exclusion. Recovery. Degraded areas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação climática das terras mundiais utilizando o parâmetro de aridez proposto por Thornthwaite (1941).....	18
Figura 2 - Áreas mundiais suscetíveis à desertificação	19
Figura 3 - Delimitação da região semiárida e das áreas suscetíveis à desertificação no Brasil.....	21
Figura 5 - Composto produzidos por Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal e suas funções no desenvolvimento de plantas	27
Figura 6 - Benefícios da utilização de biofertilizantes como alternativa aos fertilizantes químicos.....	29
Figura 7 - Precipitação média no ano e mês de coleta.....	31
Figura 8 - Aspecto das áreas de coleta do solo.....	32
Figura 9 - Localização das áreas de exclusão de pastagem, sobrepastagem e caatinga nativa da fazenda Aroeira.....	33
Figura 10 - Esquema de organização da microplacas de 96 poços para inoculação do teste de halororância	36
Figura 12 - Perfil de tolerância ao sal das três diferentes coleções de bactérias.	42
Figura 13 – Perfil de isolados das coleções BNIRA, BEIRA e BDIRA quanto a produção de sideróforos, solubilização de fosfato e fixação de nitrogênio	42
Figura 14 - Árvore filogenética dos isolados promissores para os testes de promotores de crescimento.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação climática por índice de aridez das terras secas.....	18
Tabela 2 - Áreas suscetíveis à desertificação por Estado do Semiárido Brasileiro	22
Tabela 3 - Análise químicas dos solos de caatinga nativa, exclusão de pastagem e sobrepastejo.....	40
Tabela 4 – Análise estatística das atividades de promoção de crescimento vegetal para as três coleções	41
Tabela 5 - Isolados com resultados mais promissores para fixação de nitrogênio, solubilização de fosfato, produção de sideróforos e halotolerância	43
Tabela 6 - Identificação molecular dos isolados promissores baseado nas sequências de gene codificador para o RNA ribossomal 16S	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Desertificação	17
2.2. O semiárido nordestino	20
2.3. O núcleo de desertificação de Irauçuba	23
2.4. Bactérias promotoras de crescimento vegetal.....	26
3. OBJETIVOS	30
3.1. Gerais	30
3.2. Específicos	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1. Coleta de solos e área de estudo	31
4.2. Caracterização química do solo	34
4.3. Isolamento e estocagem das culturas bacterianas	34
4.4. Ensaio de fixação de nitrogênio	35
4.5. Ensaio de halotolerância	35
4.6. Seleção dos isolados promissores	36
4.6.1. <i>Extração de DNA</i>	36
4.6.2. <i>Amplificação do gene ribossomal 16s</i>	37
4.6.3. <i>Purificação do DNA</i>	38
4.6.4. <i>Análise das sequências e identificação molecular</i>	38
4.7. Análise filogenética dos isolados sequenciados	39
4.8. Análises estatísticas	39
5. RESULTADOS.....	40
6. DISCUSSÃO	46
7. CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um processo danoso causado por atividades humanas diretas ou indiretas, incluindo as mudanças climáticas, que leva à redução ou perda a longo prazo da produtividade, integridade ecológica e potencial de uso do solo (UNCCD, 1994). Em solos de terras secas, o processo de degradação pode desencadear em um cenário de desertificação. De acordo com os dados do Intergovernmental Panel on Climate Change, 9.2% das terras secas mundiais são *hotspots* de desertificação (MIRZABAEV et al, 2019).

O Semiárido brasileiro (SAB), delimitado com base em suas condições climáticas dominantes de semiaridez, ocupa 10% do território nacional e abrange 1.262 municípios (CGEE, 2016; IBGE, 2020). A vegetação predominante na região semiárida é a Caatinga Arbustiva, no entanto, o domínio morfoclimático da Caatinga encontra-se extremamente degradado pelas intensas práticas do agronegócio, que fazem substituições da vegetação nativa por campos de cultivo (CGEE, 2016). O uso exaustivo do solo e a ausência de sistemas de manejo no SAB afetam a resiliência do ecossistema e excedem a capacidade de suporte do solo. Esse cenário confere à região os maiores índices de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental do país, que apresenta Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) abaixo da média brasileira e maior suscetibilidade à degradação do solo (CGEE, 2016).

Como resultado, uma área correspondente a 15% do Brasil é reconhecida como Área Suscetível à Desertificação (ASD), além de existir 4 núcleos de desertificação no país, onde o processo se encontra mais acelerado: Irauçuba / Centro Norte (CE); Seridó (RN); Cabrobó (PE) e Gilbués (PI) (BRASIL, 2004; MMA, 2007). O Estado do Ceará possui todo o seu território suscetível à desertificação e abrange um dos mais graves núcleos de desertificação do país: Irauçuba/Centro Norte (CGEE, 2016).

Em Irauçuba, o processo de desertificação é resultado de ações antrópicas, uma vez que paisagens com estados diferentes de degradação são encontradas em regiões próximas e submetidas ao mesmo clima (ALMEIDA et al., 2017; OLIVEIRA; SALES, 2015; OLIVEIRA-FILHO, 2019). O sobrepastejo é a prática que acarreta maior degradação nos solos da região, pois, além de reduzir a cobertura vegetal e a quantidade de nutrientes essenciais ao solo, intensifica os processos erosivos e compactação no solo e gera impactos negativos ao microclima do ecossistema (PEI; FU; WAN, 2008; SIVAKUMAR, 2007). Nessa perspectiva,

tecnologias voltadas à recuperação de áreas desertificadas vêm sendo aplicadas no município, como, por exemplo, a exclusão de pastagem ou pousio. A exclusão de pastagem é aplicada em algumas áreas do município desde o ano 2000 e consiste em cercar a terra para evitar a interferência de humanos e animais, deixando a encargo da própria dinâmica ecológica do ambiente o processo de restauração. Embora essa técnica seja eficaz, os resultados levam décadas para se manifestar (OLIVEIRA; SALES, 2015; ARAÚJO FILHO, R. et al., 2018).

A degradação do solo leva à perda de matéria orgânica, podendo gerar efeitos diretos à comunidade microbiana e às atividades das células sobreviventes, afetando também a disponibilidade de nutrientes no solo (MATALLO-JÚNIOR, 2001; FRENCH et al., 2009). Os microrganismos constituem, portanto, uma importante ferramenta para o entendimento do processo de desertificação e uma alternativa para a mitigação deste problema, pois são essenciais para a estruturação do solo; ciclagem e reposição de nutrientes; e desempenham um papel de destaque no desenvolvimento, supressão de doenças e promoção do crescimento das plantas (SOUTO, 2008; RASHID et al., 2016; SMALLA et al., 2001; MARRA, 2012).

Alguns autores abordaram o processo de desertificação na Caatinga e em Irauçuba com foco nos efeitos da desertificação para os solos e economia (CGEE, 2016; PEREZ-MARIN, 2012; OLIVEIRA; SALES, 2015; OLIVEIRA-FILHO, J., 2019; ALMEIDA et al., 2017). No entanto, os impactos sobre a biodiversidade são pouco esclarecidos e, em geral, voltados para a fauna e flora (SEYFFARTH; RODRIGUES, 2017; JHONY et al., 2017). Os artigos que retratam a microbiota na Caatinga (KAVAMURA et al., 2013; LOPES et al., 2016) não abordam os impactos da desertificação e do pousio sobre o microbioma dos solos ou em suas respostas aos estresses. O potencial dos microrganismos na recuperação de solos e no aumento da cobertura vegetal é explorado quase exclusivamente pela indústria agrônômica, que não se aprofunda no aspecto ecológico (SHÜTZ et al., 2018; DENG et al., 2019).

Assim, o objetivo do estudo foi avaliar as variáveis edáficas e atividades metabólicas para promoção de crescimento vegetal dos isolados de bactérias de solos em três estados de conservação no município de Irauçuba (CE). Para tanto, buscou-se entender como a desertificação afeta as variáveis estudadas e averiguar a eficácia do pousio na restauração do ambiente. A hipótese é que a desertificação provoca alterações no microbioma e nas demais variáveis edáficas, de modo que o solo em pousio exhibe características intermediárias em relação às outras áreas. A partir dos resultados encontrados, visa-se futuras aplicações dos isolados em bioinoculantes para a recuperação destes ambientes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Desertificação

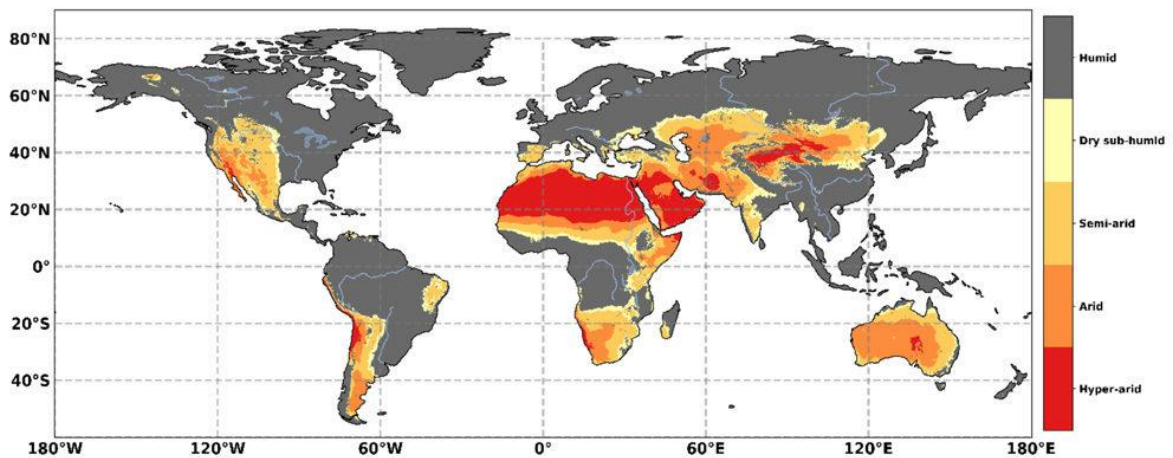
A palavra desertificação foi utilizada pela primeira vez pelo biólogo Lavauden, em 1927. O autor utilizou o termo para expressar a perda de produtividade em milhares de hectares de uma área de pastagem na zona árida da Tunísia. Em 1949, a palavra foi novamente utilizada pelo cientista francês Aubreville, desta vez referindo-se à destruição de florestas e à formação de erosões visíveis no oeste africano. No entanto, embora os dois autores possuíssem visão similar do processo, nenhum apresentou uma definição precisa para conceituar a desertificação. Os autores, do contrário, a caracterizaram limitando-se à perda da cobertura vegetal dos solos e atribuindo a causa essencialmente à criação extensiva de gado (DREGNE, 2002).

Na década de 70, a desertificação voltou a ser amplamente discutida por conta da intensa movimentação de refugiados africanos, especialmente das regiões do sul do Saara, conhecidas como Sahel. A migração foi consequência direta da degradação destas terras, que levou a situações de pobreza extrema, fome e destruição de recursos naturais vitais, como água, vegetação e solo (UNCCD, 1994). Tendo em vista essa problemática, em 1977 foi realizada a primeira Conferência das Nações Unidas para o Combate à Desertificação, na cidade de Nairóbi, no Quênia, onde se foi proposto um Plano de Ação de Combate à Desertificação (DREGNE, 2002; RÊGO, 2012).

O Plano de Ação, porém, apresentou desempenho insatisfatório e, como consequência, em 1992, durante a Rio 92, foram elaboradas 3 convenções: a Convenção Quadro sobre Mudança Climática; a Convenção sobre Diversidade Biológica; e a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos Países Afetados por Seca Grave e/ou Desertificação, particularmente na África (UNCCD, 1994). A convenção é um instrumento jurídico mais forte que uma conferência, pois ela obriga os países que a assinam a assumir uma série de compromissos, enquanto na conferência a adesão é voluntária (MMA, 2020). A partir da Rio 92, a desertificação passou a ter seu primeiro conceito oficial. Assim, a desertificação é definida como a degradação de terras de zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas e pode ser resultante de diversos fatores, que incluem características próprias do ambiente, variações climáticas e atividades humanas, em ações conjuntas ou separadas (UNCCD, 1994). Atualmente, também se avalia a inclusão das regiões hiperáridas neste conceito (MARTÍNEZ-VALDERRAMA; GUIRADO; MAESTRE, 2020).

A UNCCD (1994) utilizou o índice de aridez proposto por Thornthwaite, em 1941, para nortear a classificação geográfica das áreas mundiais suscetíveis à desertificação (ASD) (Figura 1). O índice de aridez é adotado mundialmente e é gerado pela razão entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial. Desta forma, são compreendidas como terras áridas as áreas que possuem índices de aridez entre 0.05 e 0.65 (Tabela 1).

Figura 1 - Classificação climática das terras mundiais utilizando o parâmetro de aridez proposto por Thornthwaite (1941)



Fonte: MIRZABAEV et al (2019)

Tabela 1 - Classificação climática por índice de aridez das terras secas

Classificação climática	Índice de aridez
Hiperárido	<0.05
Árido	0.05 - 0.20
Semiárido	0.21 - 0.50
Subúmido seco	0.51 - 0.65

Fonte: Matallo-Junior e Schenkel (2003)

Através deste conceito, é possível diferenciar conceitualmente a degradação e a desertificação utilizando a localização geográfica, uma vez que a degradação de terras pode ocorrer em qualquer área do globo, mesmo nas terras úmidas, enquanto a desertificação diz respeito, especificamente, a degradação de terras áridas (MIRZABAEV et al., 2019).

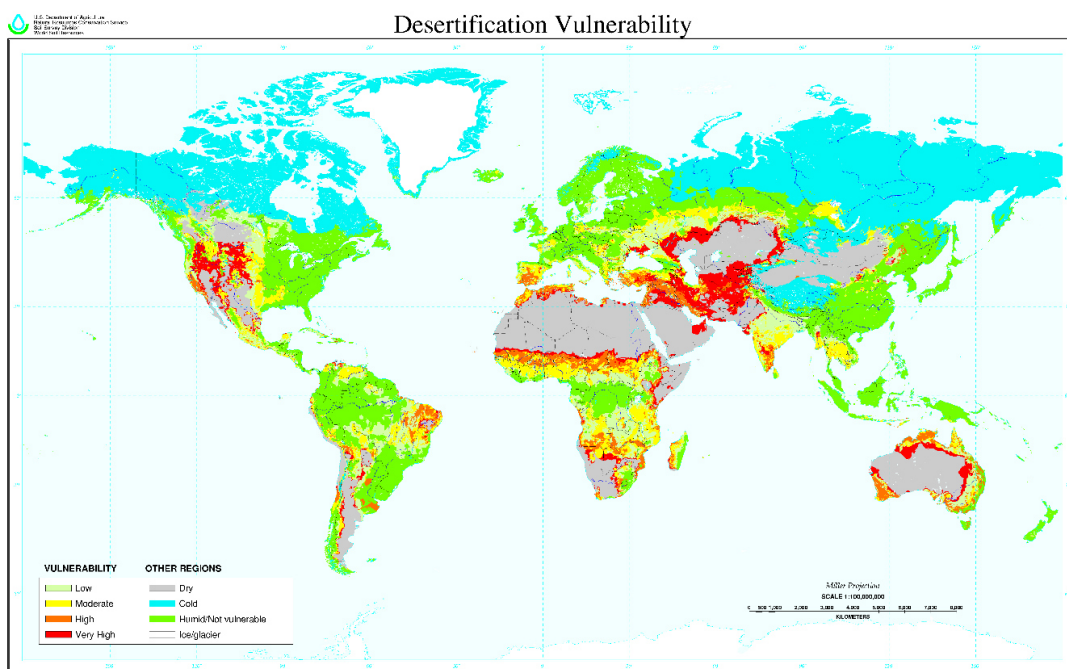
No entanto, a desertificação não pode ser atribuída apenas à localização geográfica. As condições geográficas, na verdade, apenas revelam um fator de predisposição para a ocorrência do processo. A desertificação por processos naturais, isto é, que não seja decorrente de alterações antrópicas, como os desertos naturais, é bastante rara e associada às eras de

desenvolvimento do planeta e aos fatores climáticos. O processo de desertificação atual quase sempre se inicia pelo desmatamento e substituição da vegetação nativa e é associado comumente a ações antrópicas. O sobrepastejo, desmatamento e queimadas são grandes responsáveis pela degradação dos solos e aceleram o processo de desertificação por reduzirem a quantidade de matéria orgânica e cobertura vegetal do solo, tornando-os mais expostos aos processos erosivos (SÁ et al., 2010; PEREZ-MARIN et al., 2012).

O Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE) destaca como principais consequências da desertificação: perda de horizontes superficiais dos solos (onde estão presentes os maiores teores de matéria orgânica); encrostamentos superficiais; redução da fertilidade natural dos solos; salinização e alcalinização dos solos e das águas; aumento das áreas de afloramentos rochosos; diminuição da disponibilidade hídrica; impactos severos e empobrecimento da biodiversidade; baixa capacidade de resiliência; sucessões ecológicas com tendências regressivas etc (CGEE, 2016).

A United Nations (2011), alerta que 41,3% das terras do planeta são consideradas secas, sejam elas hiperáridas, áridas, semiáridas ou subúmidas secas. Estas terras abrigam mais de 30% da população mundial, concentram a maior parcela da pobreza do mundo e são consideradas as áreas mais vulneráveis ao processo de desertificação (Figura 2).

Figura 2 - Áreas mundiais suscetíveis à desertificação



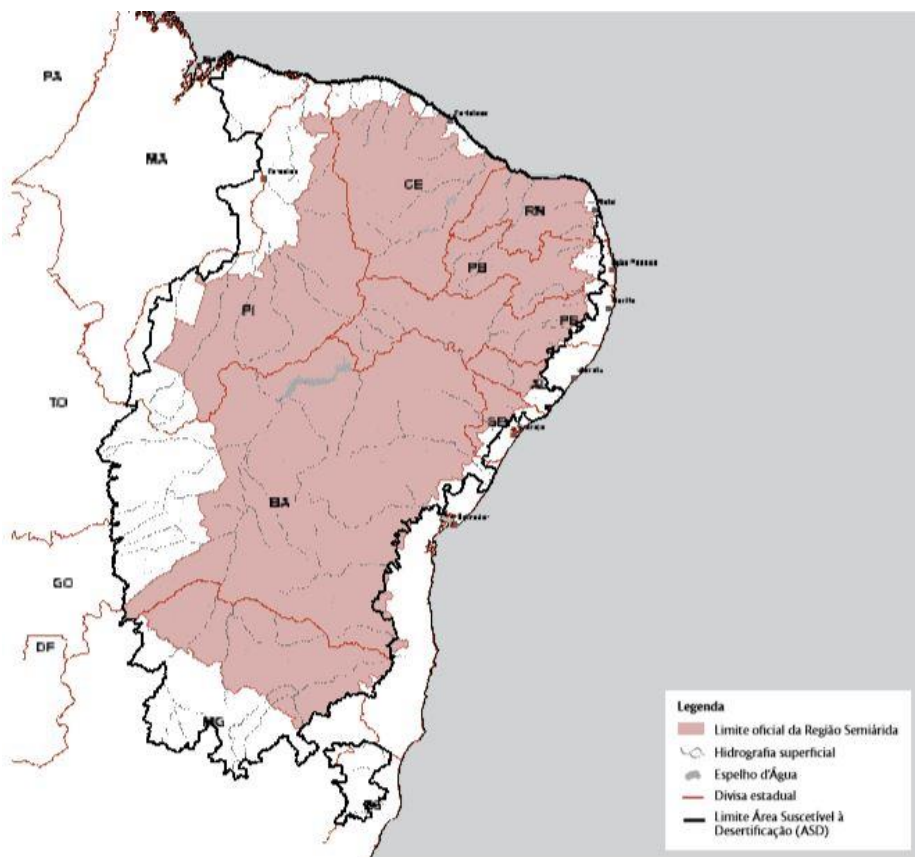
Fonte: Natural Resources Conservation Service Soils (1998)

De acordo com dados do IPCC (MIRZABAEV, 2019), 9.2% das terras secas do mundo são consideradas *hotspots* de desertificação. A desertificação resulta na perda de bilhões de dólares anualmente em todo o mundo e, apenas no século XX, as áreas afetadas pelo processo aumentaram em 50% em todo o globo (LESK; ROWHANI; RAMANKUTTY, 2016; BRASIL, 2004). Além disso, o processo gera impactos negativos para a biodiversidade, ocasionando a perda de milhares de espécies de plantas e animais nas terras secas, que são negativamente afetados pela perda de hábitat (MIRZABAEV, 2019).

2.2. O semiárido nordestino

No Brasil existem apenas terras secas de climas semiárido e subúmido seco, isto é, com índices de aridez entre 0.20 e 0.65, conforme a classificação adotada pela UNCCD (MMA, 2007). A área classificada oficialmente pelo Ministério da Integração Nacional como Semiárido Brasileiro (SAB) possui 969.589,4 km² de extensão (Figura 3) (BRASIL, 2004). Todo o SAB apresenta, em comum, baixa razão entre precipitação pluviométrica e evapotranspiração, provocada pela alta incidência solar, o que resulta na escassez de água nestas regiões. A evapotranspiração chega a atingir valores em torno de 2.000 mm, enquanto a precipitação pluviométrica anual nestas áreas é inferior a 800 mm. As temperaturas no semiárido mantêm uma certa regularidade, apresentando temperaturas médias anuais sempre superiores a 23°C, já a umidade relativa do ar possui médias de 50% (CGEE, 2016).

Figura 3 - Delimitação da região semiárida e das áreas suscetíveis à desertificação no Brasil



Fonte: CGEE (2016)

Uma das características mais marcantes do Semiárido Brasileiro diz respeito à irregularidade do regime pluviométrico na estação chuvosa e ao período de seca prolongado. A estação chuvosa possui duração de 3 a 5 meses no ano, enquanto a estação seca prolonga-se por 7 a 9 meses. Desta forma, o balanço hídrico nessas regiões costuma ser negativo em grande parte do ano, com presença de rios e riachos intermitentes e graves secas periódicas (CGEE, 2016; INSA, 2011).

Os solos da região semiárida apresentam bastante variação dependendo da área, mas, em geral, são solos rasos, com presença de grandes afloramentos rochosos e chão pedregoso, além de bastante suscetíveis à erosão quando desprovidos de cobertura vegetal (FUNCEME, 2005; INSA, 2011). Os solos do SAB possuem graves problemas de erosão e há, em muitos, ausência de horizontes superficiais (horizontes com maior presença de matéria orgânica), em decorrência, principalmente, dos sistemas agropastoris. A vegetação predominante nos semiáridos nordestino é a Caatinga, porém a vegetação nativa de Caatinga vem sendo modificada através das substituições da cobertura nativa por campos de cultivo (CGEE, 2016).

Dados do CGEE (2016) indicam que as áreas suscetíveis à desertificação (ASD) representam mais de 60% da extensão total das áreas dos estados inseridos na região Semiárida Brasileira. Essas áreas possuem uma extensão de 1.340.863 km², abrangendo 1.488 municípios e nove estados da região Nordeste, além de alguns municípios dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (PEREZ-MARIN, 2012; MMA, 2007).

O primeiro pesquisador que se dedicou ao estudo das ASD no Brasil foi o ecólogo Vasconcelos Sobrinho, que delimitou áreas de ocorrência de secas e as denominou como “polígonos da seca” em seu trabalho de 1971 (VASCONSELOS SOBRINHO, 1971). Mais tarde, em 1978, o pesquisador viria a apresentar a categorização de áreas prioritárias ao monitoramento e medidas mitigadoras por serem áreas em que o processo atuaria de forma mais intensa. Assim, segundo este autor, seriam considerados 4 núcleos de desertificação para o país: Seridó (RN); Cabrobó (PE); Gilbués (PI) e Irauçuba/Centro Norte (CE) (VASCONSELOS SOBRINHO, 1978).

Os estados de Ceará e Rio Grande do Norte apresentam, proporcionalmente, a maior extensão de área comprometida, com 100% e 98,42% da extensão total dos estados suscetível à desertificação, respectivamente (Tabela 2). Além disso, o Programa de Ação Estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca considera, para o estado Ceará, 3 fortes núcleos de desertificação: Irauçuba/Centro Norte (CE); Inhamus (CE) e Médio Jaguaribe (CE) (CEARÁ, 2010).

Tabela 2 - Áreas suscetíveis à desertificação por Estado do Semiárido Brasileiro

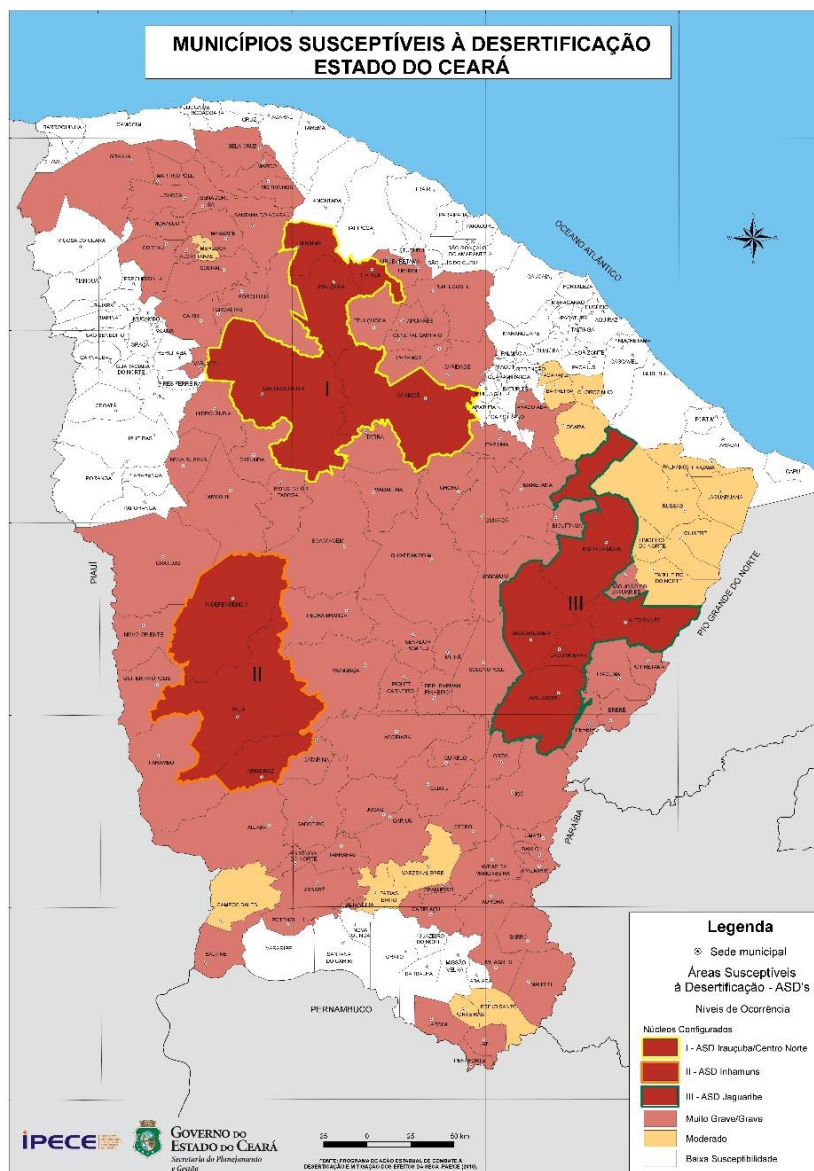
Estados	Área total (km²)	Área Suscetível à Desertificação – (ASD) (km²)	Proporção da Área Suscetível à Desertificação em relação à área total
Alagoas	27.774,993	17.670,4	63,62
Bahia	564.733,081	491.741,4	87,07
Ceará	148.886,308	148.886,31	100
Espírito Santo	46.096,925	16.724,3	36,28
Maranhão	331.936,948	40.809,6	12,29
Minas Gerais	586.519,727	178.850,93	30,49
Paraíba	56.469,744	53.421,9	94,6
Pernambuco	98.149,119	89.571,7	91,26
Piauí	251.611,932	238.901,5	94,94
Rio Grande do Norte	52.811,126	51.977,2	98,42
Sergipe	21.918,493	16.211,4	73,96
Total	2.186.908,40	1.344.766,64	61,49

Fonte: adaptado de CGEE (2016)

2.3. O núcleo de desertificação de Irauçuba

O estado do Ceará possui todo o seu território suscetível à desertificação e se destacam 3 áreas, ou núcleos, onde o processo se encontra em estágio mais agravado (CGEE, 2016). As 3 áreas estão indicadas no mapa (Figura 4) e são elas: o núcleo Irauçuba/Centro-Norte (I), com 9.706,42 km², que abrange os municípios de Irauçuba, Santa Quitéria, Miraíma e Canindé; o núcleo Inhamuns (II), com 8.303,46 km², que abrange os municípios de Arneiroz, Independência e Tauá; e o núcleo do Médio Jaguaribe (III), com 8.422,77 km², que abrange os municípios de Jaguaretama, Jaguaribe, Alto Santo e Morada Nova (CEARÁ, 2010).

Figura 4 - Áreas suscetíveis à desertificação no estado do Ceará



Fonte: CEARÁ (2010)

Dentre os núcleos de desertificação do estado do Ceará, o núcleo de Irauçuba é o que possui maior gravidade, sendo enquadrado, também, como um dos mais graves núcleos de desertificação do país. A susceptibilidade e gravidade da desertificação no município é decorrente de diversos fatores e práticas adotadas na região, como: sobrepastejo; baixa cobertura vegetal; erosão laminar grave; extrapolação da capacidade suporte dos solos; vulnerabilidade ambiental e social, dentre outros (CEARÁ, 2010).

Os solos dos municípios do núcleo de Irauçuba/Centro-Norte são, predominantemente: planossolos háplicos solódicos e nátricos; brunos não cálcico; litólicos; e podzólicos vermelho-amarelo (IPECE, 2017). Estes solos já foram relatados em literatura por sofrerem fortemente com processos de degradação ambiental (MATALLO-JUNIOR; SCHENKEL, 2003). Os planossolos são geralmente destinados a pecuária em Irauçuba e são caracterizados como: rasos e mal drenados, dotados de características químicas, físicas e morfológicas que favorecem a erosão laminar (PEREZ-MARIN, 2012).

A natureza cristalina dos materiais de origem dos solos no núcleo acrescenta outro fator que favorecem a desertificação, uma vez que dificulta a infiltração da água e induz a concentração de sais. Estes solos apresentam um horizonte superficial A e/ou E de textura arenosa e de pouca profundidade que sofrem transição abrupta para um horizonte B de textura argilosa com permeabilidade lenta. Deste modo, a água das chuvas se infiltra facilmente no horizonte A, onde fica acumulada; o horizonte B, por apresentar permeabilidade lenta, fica saturado. Como o horizonte A é pouco profundo, o solo fica encharcado e, quando as chuvas cessam, a água acumulada é perdida por evapotranspiração e o solo passa a manifestar altas concentrações de sais (FUNCEME, 2015; PEREZ-MARIN, 2012).

A localização geográfica do município também é um fator que potencializa a sua suscetibilidade à desertificação, uma vez que Irauçuba é localizado à sota-vento da serra de Uruburetama, o que acaba impedindo ou dificultando a chegada dos ventos úmidos vindos do oceano para o município. Assim, o município possui um dos índices pluviométricos mais baixos do estado do Ceará, com média histórica de 540.0 mm. Além disso, o clima (Bshw' – tropical quente semiárido, segundo a classificação de Köppen) também contribui para a suscetibilidade enquanto núcleo, apresentando estação chuvosa curta, prolongados períodos de seca e concentração das precipitações pluviais nos meses de janeiro e abril (OLIVEIRA; SALES, 2015; IPECE, 2017).

A vegetação predominante do município é a Caatinga do tipo arbustiva aberta. No entanto, as paisagens na região se encontram bastante alteradas e com cobertura vegetal reduzida (FUNCEME, 2015; IPECE, 2017). A diminuição da cobertura vegetal e o agravamento do quadro de desertificação no município, assim como nas demais regiões do SAB, é decorrente, especialmente, da ocupação desordenada do solo, desmatamento, queimadas e sobrepastejo, que afetam diretamente os recursos naturais renováveis da caatinga (ARAÚJO FILHO, J. et al., 2007; CEARÁ, 2010). O manejo inadequado dos solos aliado às condições ambientais do município tem provocado a perda de espécies raras e endêmicas da região, além de agravar seu estágio de desertificação (FUNCEME, 2015).

Em Irauçuba, a prática que mais gera impactos ao solo e agrava o processo de desertificação é o sobrepastejo. O sobrepastejo acelera e potencializa o processo de degradação do solo, uma vez que: reduz a cobertura vegetal; reduz a quantidade de nutrientes essenciais ao solo; gera compactação no solo; gera impactos ao microclima do ecossistema por maior exposição do solo desprotegido; e intensifica processos erosivos (PEI; FU; WAN, 2008; SIVAKUMAR, 2007). A situação é agravada pois os agricultores da região costumam investir em criações bovinas até uma redução quase total das pastagens, que passam a não suportar mais a alimentação bovina. A criação de bovinos é então substituída pela criação de ovinos e caprinos, que possuem uma alimentação mais rústica, forrageando plântulas rente ao solo, isso acaba diminuindo o banco de sementes dos solos e, conseqüentemente, leva ao desaparecimento do pasto (OLIVEIRA; SALES, 2015).

Na ocupação da área municipal, a pecuária representa a maior parcela (67.1%), a produção agrícola representa 12.4% da ocupação e os 20.5% restantes são recobertos por matas (OLIVEIRA; SALES, 2015). A agropecuária é uma das principais atividades econômicas no município (IPECE, 2017) e é realizada, em geral, de maneira extensiva e sem preocupação com o manejo e conservação dos recursos, ultrapassando a capacidade suporte do solo. A principal fonte de alimento para os rebanhos costuma ser o estrato herbáceo da vegetação de Caatinga, o que contribui para a diminuição da cobertura vegetal no município (FUNCEME, 2015).

A existência de terras degradadas no município é um fator ambiental extremamente preocupante pois provoca forte impacto na economia local e, por consequência, gera diversos problemas sociais, como: pobreza; êxodo rural; insegurança alimentar; impactos na biodiversidade, ocasionando perda de hábitat, além do desaparecimento de diversas espécies (FUNCEME, 2015; SEYFFARTH; RODRIGUES, 2017).

2.4. Bactérias promotoras de crescimento vegetal

Os solos são ambientes extremamente heterogêneos e possuem diversos parâmetros dinâmicos que podem afetar, direta ou indiretamente, o crescimento, a diversidade e a sobrevivência de sua microbiota (TIMMUSK et al., 2011). Os microrganismos do solo são essenciais na ciclagem e reposição de nutrientes e desempenham papel importante no desenvolvimento de plantas, principalmente pela supressão de doenças e promoção do crescimento vegetal (SOUTO, 2008; RASHID et al., 2016; SMALLA et al., 2001; MARRA, 2012). A relação entre os microrganismos e as plantas é essencial para a transformação, mobilização e solubilização de nutrientes que dispõem de estoque lábil limitado nos solos e, desta maneira, essa relação é também fundamental na absorção de nutrientes essenciais pelas plantas (HAYAT et al., 2010).

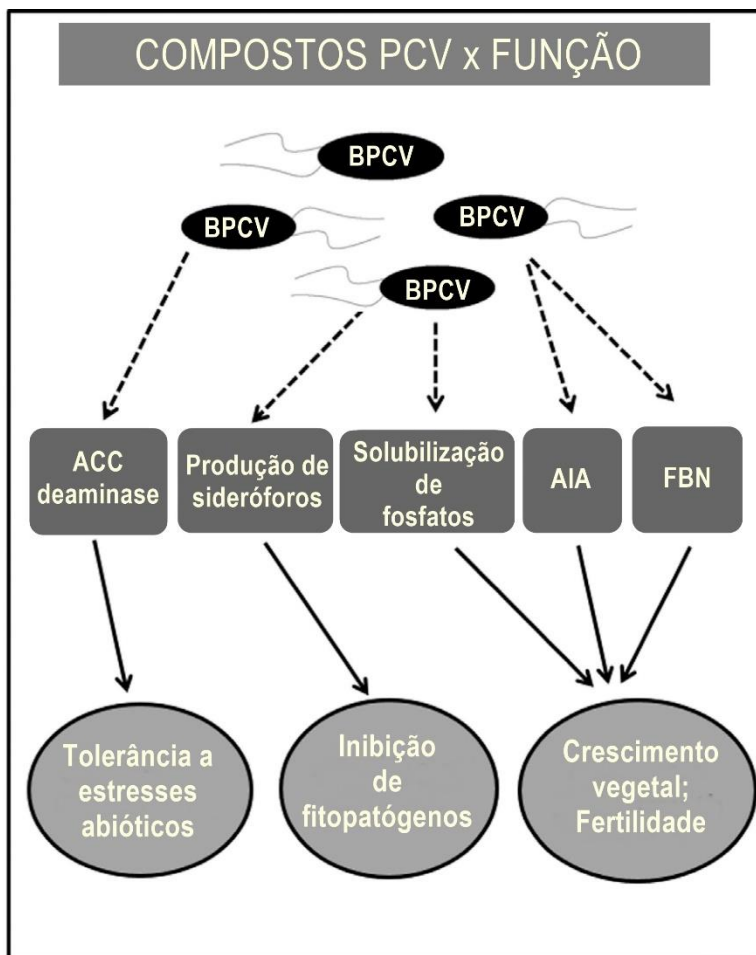
Tendo em vista as inúmeras propriedades dos microrganismos dos solos e, sobretudo, das bactérias, uma grande variedade de cepas deste grupo vem sendo utilizadas na forma de inoculantes em solos cultiváveis visando o aprimoramento da produção vegetal, seja por melhorias na estrutura do solo, seja por benefícios diretos às plantas. Dentre os diversos benefícios para a produção vegetal promovidos por bactérias, destacam-se: fornecimento de nutrientes; produção de hormônios vegetais; ação contra fitopatógenos; melhorar a estrutura do solo; bioacumulação ou lixiviação microbiana de inorgânicos; tolerância à salinidade e biorremediação de solos poluídos (HAYAT et al., 2010).

Espécies de *Rhizobium*, por exemplo, são utilizadas em todo o mundo para melhorar o processo de fixação de nitrogênio em leguminosas; outros gêneros como *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* e *Klebsiella* spp são utilizadas em terras cultiváveis para aumentar a produtividade de plantas; espécies de *Bacillus* e *Paenibacillus* capazes de solubilizar fosfatos são empregadas em solos para melhorar o status de fósforo das plantas (HAYAT et al., 2010).

As bactérias capazes de promover o crescimento de plantas são denominadas Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) e estão, geralmente, em íntima associação com as plantas. O grupo mais estudado de BPCV são as Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Vegetal (RPCV), que colonizam as superfícies radiculares e a rizosfera. Algumas RPCV podem, ainda, ter colonização endofítica e habitar os tecidos internos das raízes (COMPANT et al., 2005a; KLOEPPER et al., 1999).

As BPCV podem promover o crescimento vegetal por mecanismos diretos ou indiretos. Dentre os mecanismos diretos, destacam-se: solubilização de fósforo; fixação de nitrogênio; produção de sideróforos, amônio, vitaminas e fito hormônios (auxinas, citocininas, giberelinas). Os mecanismos indiretos são os que não estão diretamente envolvidos no desenvolvimento ou crescimentos das plantas, mas podem induzir a síntese de diversos compostos benéficos às plantas, como: atividade da ACC deaminase, produção de antibióticos, indução da resistência sistêmica, dentre outros (SINGH, 2019). Algumas das funções das BPCV podem ser observadas na figura abaixo (Figura 5).

Figura 5 - Composto produzidos por Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal e suas funções no desenvolvimento de plantas



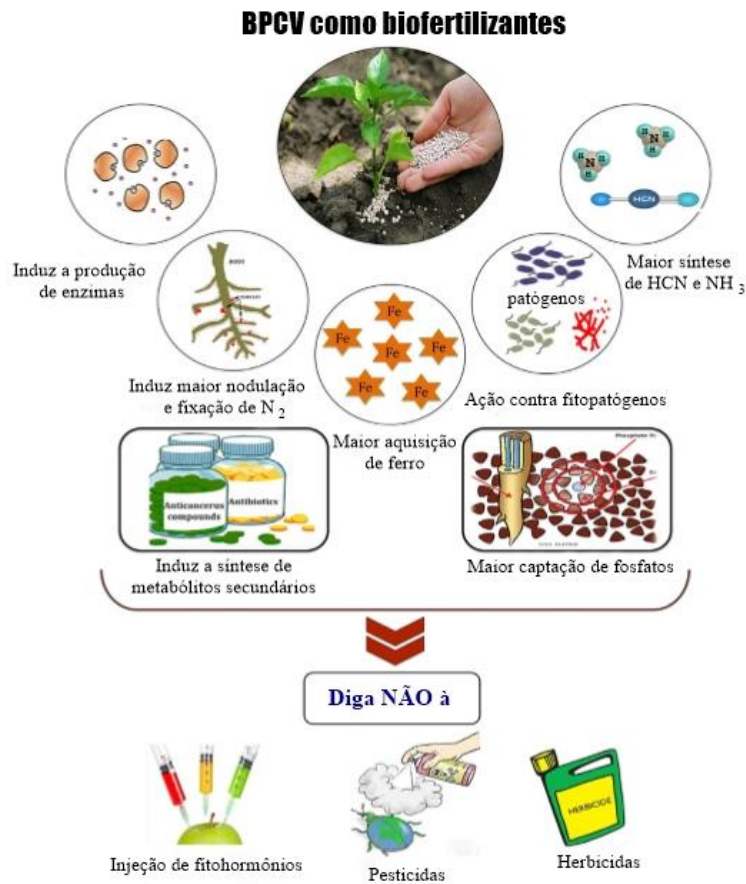
Fonte: Adaptado de Souza, Ambrosini e Passaglia (2015)

As mudanças climáticas, a expansão de terras degradadas e as preocupações com a segurança alimentar mundial clamam por um sistema de agricultura mais sustentável. A agricultura atual é baseada principalmente no lucro e na maximização da produção, havendo pouca preocupação com o meio ambiente, com o manejo adequado dos solos ou com a

segurança alimentar de seus consumidores. O atual modelo de agronegócio utiliza em larga escala fertilizantes químicos, pesticidas e agrotóxicos, que causam grande impacto ambiental, pois a eliminação destes compostos gera, direta ou indiretamente, poluição dos solos, ar e água (SINGH, 2019). Além disso, o uso contínuo de compostos químicos afeta a microbiota livre do solo e ocasiona desequilíbrio no ecossistema. Desta forma, visando a diminuição do uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos, produtos que utilizam o fator biológico como substituto destas técnicas mais poluentes estão ganhando espaço. Estes produtos são mais sustentáveis e mantêm a diversidade microbiana nativa do solo (SINGH, 2019).

Os biofertilizantes de microrganismos são compostos por microrganismos vivos imobilizados em substâncias biodegradáveis e podem ser aplicados aos solos, sementes ou superfícies de plantas. Estes inoculantes buscam melhorar a fertilidade do solo ou produtividade de cultivos de plantas, causando menos impactos que fertilizantes químicos convencionais (VESSEY, 2003; MAZID et al., 2011; MALUSA; RINZARI; CANFORA, 2016) (Figura 6). Vários gêneros de bactérias veem sendo empregados como biofertilizantes e classificados como promotores de crescimento, a exemplo: *Azotobacter*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Serratia*, etc (SINGH et al., 2019).

Figura 6 - Benefícios da utilização de biofertilizantes como alternativa aos fertilizantes químicos



Fonte: Adaptado de SINGH, 2019.

Contudo, embora já tenham sido reveladas as inúmeras qualidades das BPCV para os solos e para a cobertura vegetal, o emprego desses microrganismos, até então, vem sendo explorado quase que exclusivamente pela indústria agrônômica em solos cultiváveis. O potencial ecológico destes organismos para a restauração de áreas degradadas, portanto, ainda é pouco explorado.

3. OBJETIVOS

3.1. Gerais

Analisar as variáveis químicas de composição dos solos e o perfil de atividades metabólicas para promoção do crescimento vegetal dos isolados de bactérias de solos em 3 tratamentos distintos no núcleo de desertificação de Irauçuba: solos de mata secundária de caatinga; solos de exclusão de pastagem; solos em processo avançado de desertificação por sobrepastejo, visando futuras aplicações dos isolados em bioinoculantes para o auxílio da recuperação destes ambientes.

3.2. Específicos

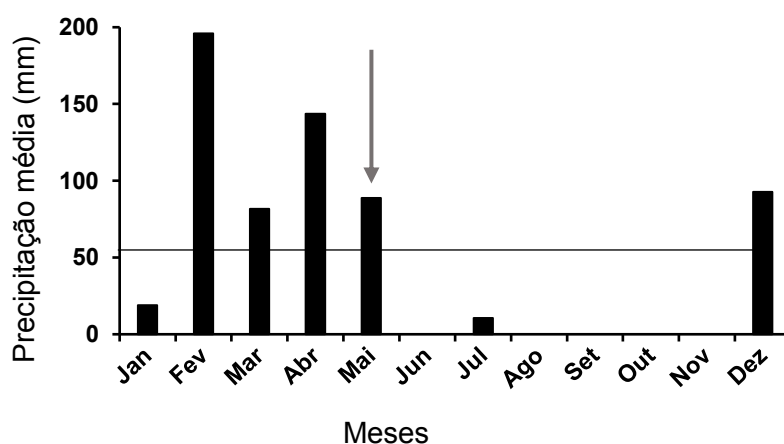
- 3.2.1.** Realizar análise química dos solos coletados;
- 3.2.2.** Isolar e realizar a contagem de bactérias viáveis dos solos coletados;
- 3.2.3.** Analisar o perfil de produção de atividades metabólicas produtoras de crescimento vegetal dos isolados;
- 3.2.4.** Selecionar isolados promissores para as atividades de promoção de crescimento vegetal;
- 3.2.5.** Identificar molecularmente e analisar a filogenia dos isolados promissores para que possam ser utilizados na restauração das áreas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Coleta de solos e área de estudo

Os solos utilizados para este trabalho foram coletados em maio de 2018 em áreas da fazenda Aroeira, localizada no município de Irauçuba, Ceará, Brasil (3.7476° S, 39.7827° O). O município situa-se a cerca de 154 km de Fortaleza, capital do Estado do Ceará. O clima de Irauçuba é classificado, segundo a classificação de Köppen, como tropical quente semiárido (BSw'h'), atingindo temperaturas médias anuais que variam entre 26°C a 28°C (IPECE, 2017). A precipitação anual média no município é de cerca de 515.4 mm, com chuvas concentradas nos meses de janeiro a abril (FUNCEME, 2020). A precipitação no mês da coleta atingiu a máxima de 100mm e média de 88,8mm (FUNCEME, 2020) (Figura 7). A vegetação de Caatinga é predominante no município, embora a vegetação nativa se encontre em estado bastante degradado (FUNCEME, 2015). O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - GGEE (2016), destaca Irauçuba como um dos núcleos de desertificação mais graves do país e a área em processo de desertificação mais avançado do Ceará.

Figura 7 - Precipitação média no ano e mês de coleta.



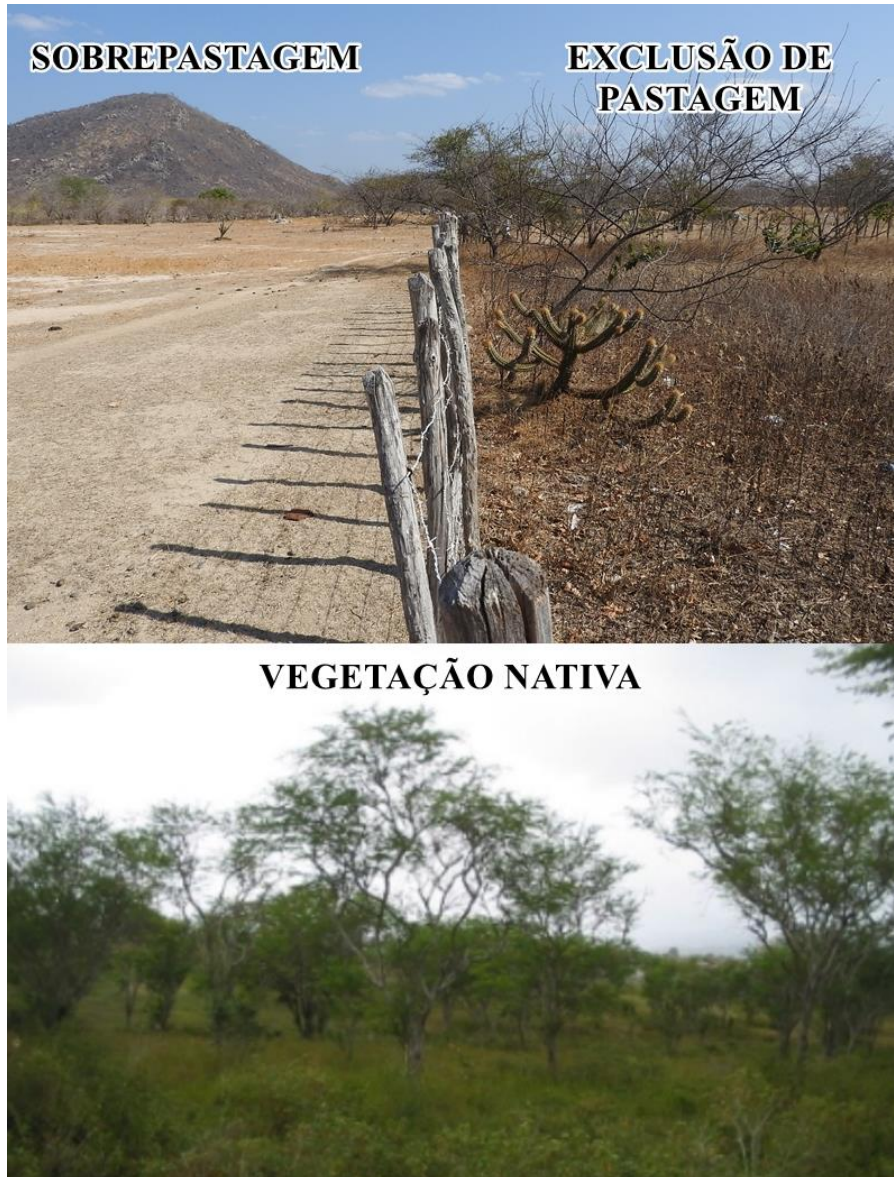
A seta indica o mês em que a coleta foi realizada. A linha horizontal indica a precipitação média para o ano de 2018.

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de dados da FUNCEME.

As amostras de solo foram coletadas em cinco paisagens distintas da fazenda, sendo elas: a) duas áreas em processo de recuperação natural, cercadas em um sistema de exclusão de pastagem (ou pousio) há 18 anos e que integram um sistema de áreas-piloto desenvolvido no ano de 2000 (OLIVEIRA; SALES, 2015); b) duas áreas de sobrepastejo, representando uma

Caatinga em processo de desertificação, localizadas ao lado de cada uma das áreas de pousio; e c) uma área de mata secundária, situada nas proximidades da área de pousio 3 (Figura 8).

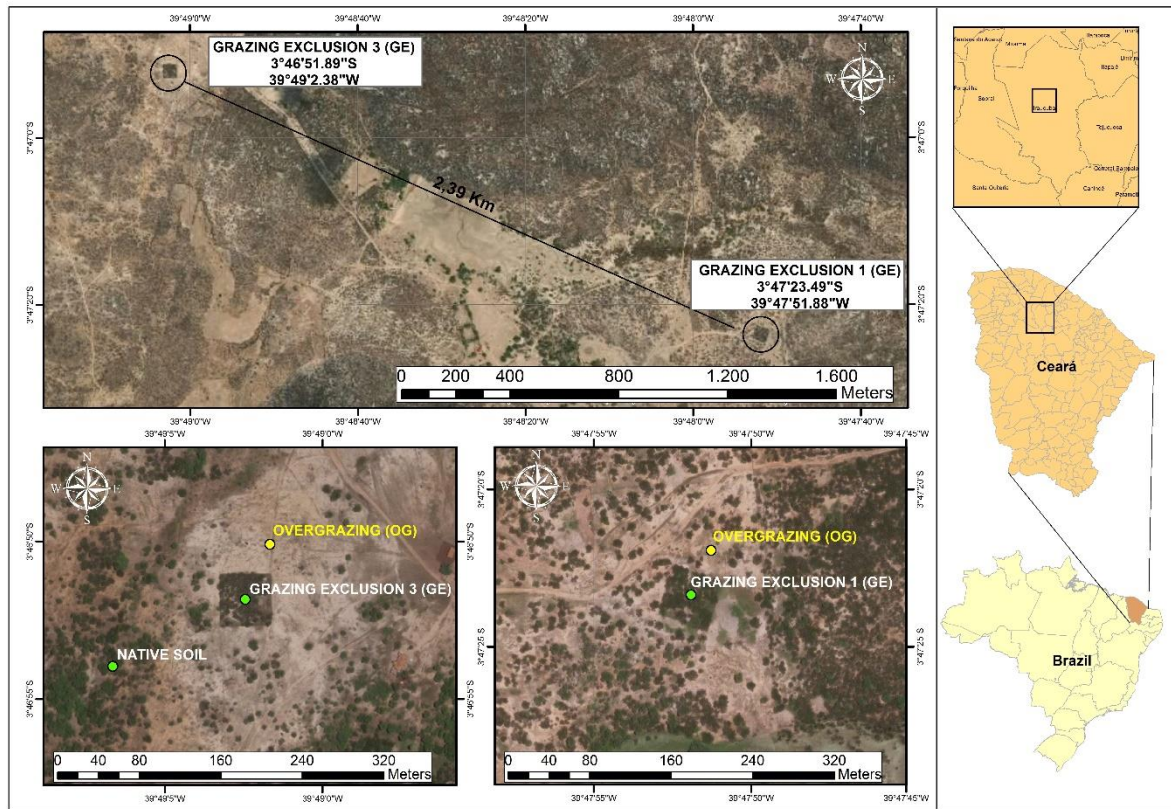
Figura 8 - Aspecto das áreas de coleta do solo



Fonte: Elaborada pela autora.

As duas áreas de exclusão de pastagem estão distantes 2.4 km entre si e receberam classificações genéricas, correspondendo as numerações 1 ($3^{\circ}47'23.49''S$; $39^{\circ}47'51.88''W$) e 3 ($3^{\circ}46'51.89''S$; $39^{\circ}49'2.38''W$) (Figura 9). As coletas para as áreas de deserto foram guiadas pela localização das áreas de exclusão de pastagem, desta forma, os solos de sobrepastagem foram coletados em áreas diretamente ao lado das áreas 1 e 3 cercadas pelo pousio.

Figura 9 - Localização das áreas de exclusão de pastagem, sobrepastagem e caatinga nativa da fazenda Aroeira



Fonte: Fabiano Fontenele

Cada uma das áreas (nativa, exclusão de pastagem e sobrepastejo) foi subdividida em 3 pontos aleatórios de amostragem. A coleta foi realizada em triplicata para cada ponto de amostragem em uma profundidade de 0-20 cm do solo, resultando, portanto, em 9 amostras de solo por área. Os solos foram armazenados em tubos falcons estéreis para análises microbiológicas; em eppendorfs estéreis para análises moleculares; e em sacolas plásticas para análises químicas dos solos.

As amostras foram, então, levadas ao Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia (LemBiotech), localizado no Departamento de Biologia da Universidade Federal do Ceará (Av. Mister Hull, s/n - Pici - CEP 60455-760 - Fortaleza – CE). Os solos das sacolas plásticas foram peneirados em malha de 2 mm para homogeneização e posteriormente armazenados em temperatura ambiente. Os solos dos frascos estéreis foram armazenados a 4 °C para as análises microbiológicas.

4.2. Caracterização química do solo

As amostras de solo foram submetidas a análises químicas após terem sido secadas ao ar, em temperatura ambiente, e peneiradas em malha de 2 mm. As análises químicas seguiram os protocolos de Donagema et al. (2011). O pH dos solos foi medido por potenciometria com suspensão do solo em água (1:2.5). A condutividade elétrica (CE) foi aferida através de um medidor de condutividade elétrica pelo extrato obtido na pasta de saturação. Para quantificar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , uma solução de KCl (1M) foi utilizada para extrair os cátions, que foram então quantificados por espectrometria de absorção atômica. O sódio trocável (Na^+) e o potássio (K^+) foram extraídos por solução de Mehlich ($0.05 \text{ mol L}^{-1} \text{ HCL} + 0.012 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$) e quantificados por fotometria de chama, enquanto o fósforo (P) disponível foi também extraído pela solução de Mehlich, mas quantificado por colorimetria. O alumínio trocável (Al^{3+}) foi obtido por extração com solução de KCl (1 mol^{-1}) e determinado com solução de NaOH (0.025 mol L^{-1}). A acidez potencial (H + Al) foi extraída com uma solução de acetato de cálcio de pH 7 e determinada por titulação. A soma das bases (SB) foi calculada pela soma dos valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ ; e a capacidade total de troca catiônica (T) foi calculada pela soma de SB à acidez potencial (H + Al). Desta forma, a saturação da base (V%) foi calculada através da fórmula: $(SB \times 100) / T$. A saturação de alumínio (m%) foi determinada através do cálculo: $\text{Al}^{3+} \times 100 / SB + \text{Al}^{3+}$. A porcentagem de sódio trocável (PST) foi calculada multiplicando-se Na^+ por 100 e então dividindo o valor por T. A determinação do C (carbono orgânico total) se deu através do método de via úmida ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) na presença de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Para quantificar o teor de N (nitrogênio total), utilizou-se o método semi-micro Kjeldahl. A relação C/N foi obtida através da razão C/N.

4.3. Isolamento e estocagem das culturas bacterianas

Cada amostra de solo foi diluída em solução de NaCl 0.9% na proporção de 25 g de solo para 225 ml de salina e homogeneizadas em shaker a 150 rpm por 1 hora. A partir dessa diluição inicial foram preparadas diluições decimais sucessivas até 10^{-8} , que foram, então, submetidas à técnica de *spread plate* e plaqueadas, em duplicata, em meio PCA (Count Plate Agar) diluído 10 vezes da concentração padrão. A diluição do meio de cultura foi realizada no intuito de simular a baixa disponibilidade de nutrientes da Caatinga, além de evitar a sobreposição de isolados com crescimento rápido sobre os com crescimento lento.

As placas foram incubadas em estufa a 37°C por 48 horas e, após o período de incubação, foi realizada a contagem de viáveis. As placas submetidas à contagem foram

analisadas, por área, buscando selecionar todos os diferentes morfotipos para o isolamento. Os isolados foram armazenados em tubos criogênicos nos freezers de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ em meio TGE diluído com adição de glicerol (1:4).

As coleções receberam nomeações genéricas: BNIRA (bactérias isoladas de área de caatinga nativa de Irauçuba); BEIRA (bactéria isolada de área de exclusão de pastagem); BDIRA (bactéria isolada de área em desertificação).

4.4. Ensaio de fixação de nitrogênio

O ensaio utilizou como base o protocolo de Sperotto (2014). As bactérias foram inoculadas em meio semissólido e livre de nitrogênio, composto por: 100 g de sacarose; 0.2 g de K_2HPO_4 ; 0.6 g KH_2PO_4 ; 0.2 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0.02 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0.002 g de $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 5 ml de azul de bromotimol ($5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ em 0.2 M KOH); 0.01g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e 1.8g de ágar; o pH foi ajustado para 5.5 utilizando ácido acético glacial e o volume completado para 1L. Esta solução foi fundida em chapa de aquecimento para homogeneização do ágar, em seguida, foram pipetados 3mL do meio de cultura por tubo de ensaio e, estes, autoclavados (121°C por 15 minutos).

Os microrganismos foram inoculados em triplicata e camada alta com auxílio de uma agulha de inoculação. A leitura positiva dos resultados era observada caso houvesse crescimento da bactéria no tubo após 3 dias de incubação.

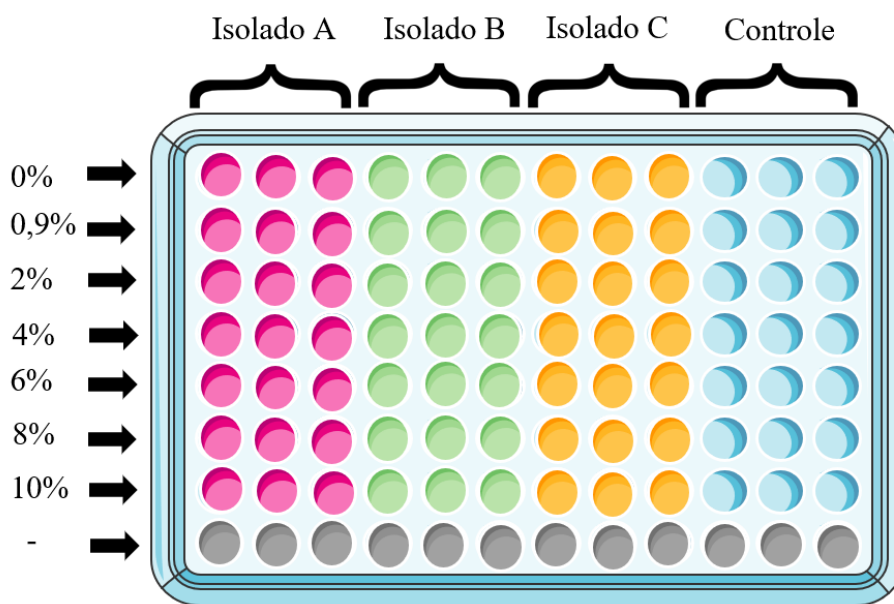
4.5. Ensaio de halotolerância

Foram utilizadas microplacas de 96 poços estéreis para realização dos testes. Os meios salinos foram compostos pelo meio de cultura TGE diluído 10 vezes de sua concentração padrão (Tryptona 0.05g; Glicose 0.01g; Extrato de levedura 0.025g, para cada 100mL de água destilada) com adição de diferentes volumes de cloreto de sódio, de modo que as concentrações de sal no volume final da solução foram: 0.9%; 2%; 4%; 6%; 8%; e 10%.

Em cada poço das microplacas estéreis, foram pipetados 150 μL de caldo TGE diluído 10 vezes com as diferentes concentrações de sal (NaCl), de modo que cada linha da placa correspondia a uma concentração distinta de sal, sendo a primeira linha correspondente a concentração de 0.9% e a última correspondente a concentração de 10%. Em seguida, foram

adicionados 10 µL de cultura bacteriana por poço. Cada isolado foi cultivado em todas as diferentes concentrações de sal e em triplicata, assim, uma mesma bactéria era cultivada em 3 colunas sucessivas. As culturas foram previamente padronizadas em espectrofotômetro para uma absorbância de 0.2 A a 600 nm. A leitura das placas foi realizada nos tempos de 0 h e 24 h (incubadas a 37 °C) em leitora de microplacas. Os poços controles não foram inoculados com as bactérias (Figura 10).

Figura 10 - Esquema de organização da microplacas de 96 poços para inoculação do teste de halororância



Fonte: elaborado pela autora

4.6. Seleção dos isolados promissores

Após os resultados do ensaio de produção de sideróforos e de solubilização de fosfato, previamente conduzidos por Andrade (2019), e dos ensaios de fixação de nitrogênio e halotolerância, conduzidos neste trabalho, os isolados que mostraram melhores desempenhos foram selecionados para identificação molecular.

4.6.1. Extração de DNA

Dois métodos de extração de DNA genômico foram aplicados aos isolados: o método de extração por CTAB 2x (WARNER, 1996) e o método de termólise adaptado de SÁ

et al., (2013). Todos os isolados promissores foram submetidos ao método de extração por termólise, porém, os isolados cujas extrações não renderam uma boa concentração de DNA foram submetidos à extração pelo protocolo de CTAB 2x.

O método de termólise tem como objetivo a extração de DNA pela quebra das paredes e membranas por choque térmico. Os isolados foram cultivados em placas com ATGE diluído 10x e incubados por 24 horas. Após o crescimento, uma colônia pura foi diluída em 400 µL de água ultrapura estéril em microtubos de 1.5 mL e homogeneizadas em vortex. Os microtubos foram levados ao banho seco a 99 °C por 11 min, e posteriormente, ao freezer a – 80 °C por 4 minutos. Decorridos os 4 minutos, os microtubos foram centrifugados a 12.000 rpm por 5 min. O sobrenadante contendo o DNA foi recolhido e sua qualidade analisada em espectrofotômetro Nanodrop ND100 (Nanodrop, Wilmington, DE, EUA).

O método de CTAB 2x tem por objetivo a extração do DNA genômico pela quebra da parede celular e membrana plasmática pelo Brometo de cetiltrimetil amônio (CTAB). Uma colônia de células pura foi diluída em 600 µl de água ultra pura estéril e a esta solução foram adicionados 600 µl do tampão de extração CTAB 2X pré aquecido a 60 °C em banho maria. A solução foi homogeneizada por inversão e incubada *overnight* em banho-maria a 60 °C.

No dia seguinte, adicionou-se 600 µl de clorofórmio-álcool isoamílico 24:1 aos tubos, que foram homogeneizados por inversão até a formação de emulsão e centrifugados por 10 minutos a 12.000 rpm. Após a centrifugação, a fase aquosa (superior) foi coletada e transferida para novos tubos. Foram adicionados cerca de 2/3 do volume coletado de isopropanol 100%. Novamente os tubos foram homogeneizados por inversão e centrifugados por 10 minutos a 12.000 rpm. O sobrenadante foi descartado e, ao precipitado, adicionado 500 µl de etanol 70% gelado, homogeneizando com o auxílio de ponteira. O tubo foi levado à centrífuga por 5 minutos a 12.000 rpm e o sobrenadante descartado. Os tubos ficaram abertos em temperatura ambiente por cerca de 10 minutos ou até todo o etanol evaporar. Após o etanol ter sido completamente evaporado, o DNA foi ressuspense em 30 µl de tampão Tris-HCl. A qualidade do DNA foi avaliada pela leitura da amostra em Nanodrop ND100 (Nanodrop, Wilmington, DE, EUA).

4.6.2. Amplificação do gene ribossomal 16s

Para a amplificação do gene 16S do rRNA foram utilizados os primers 27F (5'AGAGTTTGATCMTGGCTCAG – 3') e 1525R (5'- AAGGAGGTGATCCAGCC – 3') (WAWRIK et al., 2005). A PCR foi realizada em termocilador Eppendorf Mastercycler

(Eppendorf, Hamburgo, Alemanha), ajustado para programação de: 95 °C por 2 min; seguido de 30 ciclos de 95 °C por 1 min; 55 °C por 1 min; 72 °C por 1 min e 30 segs. A reação foi ajustada para um volume final de 75 µL, sendo utilizados a seguinte concentração para cada reagente: 0.5 µM de cada iniciador, 1X de tampão GoTaq (Promega, EUA), 3.0 mM de cloreto de magnésio (MgCl₂), 0.2 mM de dNTPs, 1U de DNA polimerase, 10 ng de DNA; o volume de 75 µL foi completado com água para PCR.

O resultado da amplificação e o tamanho da sequência de interesse foi analisado através da eletroforese em gel de agarose 1% (m/v), corado por SYBR® safe. O gel corado e contendo as amostras foi corrido em tampão Tris Acetato EDTA (TAE) 0,5x (200 mM de Tris base, 100 mM de ácido acético glacial, 5 mM de EDTA e pH 8.0) por 25 minutos a 100 V e 80 mA. Após a corrida, o gel foi exposto à luz ultravioleta e observado em fotodocumentador. Foi utilizado um marcador de peso molecular de 1kb para comparação e a amplificação foi confirmada com a presença de bandas na região aproximada 1500 pb.

4.6.3. Purificação do DNA

Os produtos de PCR foram purificados com acetato de potássio e álcool. Para tanto, os produtos foram diluídos para uma concentração de 0.3 M pela adição de uma solução de acetato de potássio 3 M (pH 5.5) e de 2 volumes de uma solução de etanol 100%. Os tubos foram homogeneizados por inversão e armazenados em freezer a – 80 °C por 10 minutos. Em seguida, as soluções foram centrifugadas a 14000 G por 15 minutos a 4°C e, após centrifugadas, os sobrenadantes foram descartados. O precipitado foi lavado e homogeneizado por inversão com álcool 70% gelado e novamente centrifugado, desta vez por 5 min a 14000 G a 4°C. O sobrenadante foi descartado e os tubos foram abertos até a evaporação total do álcool. Após evaporação, o DNA purificado foi diluído em 30 µL de água ultrapura estéril. O resultado da purificação foi avaliado pela leitura em Nanodrop ND100 (Nanodrop, Wilmington, DE, EUA).

4.6.4. Análise das sequências e identificação molecular

O sequenciamento do DNA foi realizado pela empresa MacroGen (www.macrogen.com), através do método de SANGER, utilizando os iniciadores 518F (5'-CCAGCAGCCGCGGTAATACG-3') e 800R (5'-TACCAGGGTATCTAATCC-3').

O tratamento e edição das sequências se deu por meio do software *Geneious version 10.2* (www.geneious.com). Após tratada, a sequência contig obtida de cada amostra foi usada

para a identificação molecular por meio da ferramenta de busca e alinhamento local Basic Local Alignment Search Tool – BLAST, utilizando o banco de dados do NCBI (ALTSCHUL, 1990) nucleotide collection. Os isolados que obtiveram hit com gêneros de bactérias com identidade maior que 97% foram considerados pertencentes a esse gênero e as espécies com maior identidade, cobertura e número de hits com os isolados, foram consideradas similares.

4.7. Análise filogenética dos isolados sequenciados

A árvore filogenética foi construída através do software *Geneious version 10.2*. O alinhamento múltiplo das sequências foi realizado com auxílio da ferramenta MAFFT v7.450 usando o algoritmo G-INS-i (KATO; STANDLEY, 2013; KATO et al., 2002). O alinhamento múltiplo utilizou 12 sequências dos genes rRNA 16S dos isolados promissores e sequências do mesmo gene de 21 outras cepas que apresentaram maior hit com as promissoras no banco de dados do NCBI nucleotide collection (ALTSCHUL, 1990). Desta forma, a árvore filogenética de consenso foi construída usando o método de agrupamento de Neighbor-Joining (SAITOU; NEI, 1987) e para o cálculo das distâncias evolutivas foi utilizado o modelo de Jukes-Cantor (JUKES; CANTOR, 1969). A estabilidade dos clados gerados foi avaliada pelo teste de bootstrap (FELSENSTEIN, 1985) com 1000 reamostragens e com ponto de corte do valor de bootstrap ajustado para 75. Como grupo externo foi escolhida a espécie de *Azospirillum lipoferum* (LN874293.1), uma vez que a classe Alphaproteobacteria constitui um grupo ancestral das classes Gammaproteobacteria e Betaproteobacteria, classes das quais os isolados pertencem (MADIGAN et al., 2016).

4.8. Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa *RStudio* 1.3.1 (RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>). Para testar de homogeneidade e normalidade das amostras, aplicou-se o teste de Bartlett e Shapiro-wilk, respectivamente. As análises de variância dos atributos dos solos foram realizadas utilizando o teste de ANOVA com pós teste de Tukey, considerando $p < 0.05$. Para comparação das médias das atividades de promoção de crescimento vegetal entre os isolados foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis com pós teste de Dunn, considerando $p < 0.05$. A comparação entre a quantidade total de isolados positivos por área foi avaliada a partir do teste exato de Fisher, mais uma vez utilizando o valor de $p < 0.05$. Os gráficos foram construídos com auxílio do programa Graphpad Prism 6.0, enquanto as tabelas foram construídas no programa Microsoft Excel.

5. RESULTADOS

As variáveis pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) não apresentaram diferenças significativas entre as amostras ($p < 0.05$ pelo teste de Tukey). Em relação as variáveis saturação por alumínio (m%), carbono total (C) e condutividade elétrica (CE), houve uma aproximação das condições das áreas de exclusão de pastagem com a de caatinga nativa, ao passo que as áreas de sobrepastejo apresentaram os maiores valores de saturação por alumínio e condutividade elétrica e os menores valores de carbono total (Tabela 3).

A área de exclusão de pastagem mostrou os teores mais elevados de soma de bases (SB) e de capacidade de troca de cátion (T). Os solos de sobrepastejo apresentaram os maiores valores de Na^+ , porcentagem de sódio trocável (PST) e Al^{3+} . Comparativamente, os solos de exclusão de pastagem apresentaram os teores mais baixos de Al^{3+} , enquanto a área de vegetação nativa permaneceu com os menores valores para Na^+ e PST.

Os valores da fração C/N, de fósforo (P) e de saturação de bases (V%) não apresentaram significância para os tratamentos. Além disso, os maiores valores de nitrogênio total (N) foram encontrados no pousio e os menores foram encontrados na área de sobrepastejo.

Tabela 3 - Análise químicas da camada 0-20cm dos solos coletados

	Tratamentos		
	Caatinga nativa	Exclusão de pastagem	Sobrepastejo
pH	4.40 \pm 0.00 ^a	4.88 \pm 1.05 ^a	4.37 \pm 0.27 ^a
CE	0.30 \pm 0.08 ^b	0.30 \pm 0.10 ^b	0.79 \pm 0.10 ^a
Ca^{2+}	3.37 \pm 1.42 ^a	4.42 \pm 3.94 ^a	1.87 \pm 0.63 ^a
Mg^{2+}	1.97 \pm 0.76 ^a	2.63 \pm 1.07 ^a	1.57 \pm 0.66 ^a
Na^+	0.15 \pm 0.04 ^c	0.26 \pm 0.07 ^{ab}	0.35 \pm 0.28 ^a
K^+	0.18 \pm 0.03 ^a	0.21 \pm 0.08 ^a	0.14 \pm 0.04 ^a
H+Al	2.75 \pm 0.47 ^a	2.81 \pm 1.23 ^a	2.20 \pm 0.50 ^a
Al^{3+}	0.20 \pm 0.09 ^b	0.27 \pm 0.14 ^b	0.56 \pm 0.30 ^a
SB	5.63 \pm 2.02 ^{ab}	7.52 \pm 1.00 ^a	3.92 \pm 1.44 ^b
T	8.40 \pm 2.01 ^{ab}	10.30 \pm 1.68 ^a	6.13 \pm 1.27 ^b
V%	66.33 \pm 8.39 ^{ns}	68.33 \pm 15.00 ^{ns}	62.17 \pm 12.86 ^{ns}
m%	4.33 \pm 2.89 ^b	5.00 \pm 3.74 ^b	14.50 \pm 1.89 ^a
PST	2.00 \pm 1.00 ^b	3.00 \pm 1.41 ^{ab}	5.33 \pm 1.39 ^a
C	5.39 \pm 1.02 ^a	6.47 \pm 1.65 ^a	3.77 \pm 0.61 ^b
N	0.55 \pm 0.13 ^{ab}	0.69 \pm 0.13 ^a	0.38 \pm 0.06 ^b
C/N	10.00 \pm 0.00 ^{ns}	9.83 \pm 0.41 ^{ns}	10.00 \pm 0.00 ^{ns}
P	19.00 \pm 1.00 ^{ns}	130.00 \pm 200.00 ^{ns}	24.83 \pm 15.55 ^{ns}

Médias representadas pela mesma letra, não diferiram significativamente ($p < 0.05$, teste Tukey); **ns**: não significativo. Parâmetros: **pH**: Potencial hidrogeniônico; **CE**: Condutividade Elétrica (dS m^{-1}); **Ca^{2+}** : Cálcio ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$); **Mg^{2+}** : Magnésio ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$); **Na^+** : Sódio ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$); **K^+** : Potássio ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$); **H+Al**: Acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$); **Al^{3+}** : Alumínio ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$); **SB**: Soma de bases ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$); **T**: Capacidade de troca de cátions total ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$); **V%**: Taxa de saturação de bases; **m%**: Taxa de saturação por alumínio; **PST**: Percentual de sódio trocável (%); **C**: Carbono orgânico (g kg^{-1}); **N**: Nitrogênio total (g kg^{-1}); **P**: Fósforo disponível (mg kg^{-1})

Ao todo foram isoladas 125 bactérias dos solos das três áreas, originando uma coleção com 29 isolados de solo nativo ou de mata secundária (coleção BNIRA); 40 isolados de solos de exclusão de pastagem ou pousio (coleção BEIRA) e 56 isolados de solos de sobrepastagem ou áreas em desertificação (coleção BDIRA). Todos os isolados foram previamente avaliados por Andrade (2019) quanto à solubilização de fosfato e 69 deles foram testados para verificar a produção de sideróforos. Dentre os isolados positivos para essas duas características, 17 isolados da coleção BNIRA, 18 de BEIRA e 16 de BDIRA foram avaliados quanto a fixação de nitrogênio e halotolerância neste trabalho, totalizando 51 isolados. A tabela 4 compila os resultados das atividades realizadas nesse estudo e por Andrade (2019).

Pelo menos 60% dos isolados testados para fixação de nitrogênio apresentaram resultado positivo, no entanto, não houve diferenças significativas através do teste exato de Fisher capaz de diferenciar o perfil das três áreas para este ensaio. Em relação à tolerância salina, também não houve diferenças significativas entre os perfis de tolerância capaz de diferenciar as áreas ($p>0.05$) pelo teste Kruskal-Wallis com pós teste de Dunn (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise estatística das atividades de promoção de crescimento vegetal para as três coleções

Coleção	Positivos para sideróforos (%)	Média IS sideróforos	Positivos para solubilização de fosfato (%)	Média IS fosfato	Positivos para fixação de nitrogênio (%)	Média halotolerância (%)
BNIRA	54.54 ^a	2.9± 3.1 ^{ab}	55.2 ^a	2.2 ±0.9 ^{ac}	70.6 ^a	5.625±2.5 ^a
BEIRA	55 ^a	3.04±1.34 ^a	32.5 ^b	2.6±1.5 ^b	61.1 ^a	4.8±2.4 ^a
BDIRA	51.8 ^a	1.26±0.18 ^b	12.5 ^c	1.8±0.7 ^c	75 ^a	4.8±2.5 ^a

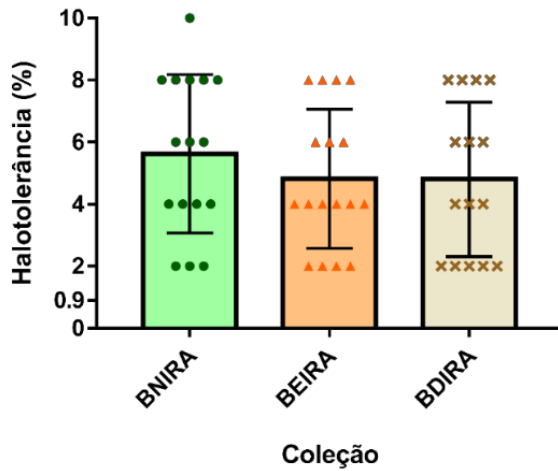
Fonte: elaborado pela autora.

Médias representadas pela mesma letra não se distinguiram significativamente pelo teste de Kruskal-Wallis com pós teste de Dunn ($p<0.05$); os positivos para sideróforos, solubilização de fosfato e fixação de nitrogênio (%) foram avaliados pelo teste exato de Fisher, letras iguais representam ($p<0.05$) para o teste. IS = índice de solubilização. Os dois índices de solubilização foram calculados através da fórmula: dm do halo (mm)/dm da colônia (mm).

BNIRA - bactérias de solos de área nativa; **BDIRA** - bactérias de solos de áreas em desertificação; **BEIRA** - bactérias de solos de áreas de exclusão de pastagem.

Ressalte-se que alguns isolados da área nativa cresceram em concentrações mais altas de NaCl (4%, 6% e 8%), sendo que um isolado cresceu em meio contendo 10% de NaCl. Da área de exclusão de pastagem, 12, 7 e 4 isolados cresceram a 4%, 6% e 8% de concentração de NaCl no meio, respectivamente; e da área de sobrepastejo, 10, 7 e 4 isolados cresceram a 4%, 6% e 8% de concentração de NaCl, respectivamente (Figura 11).

Figura 11 - Perfil de tolerância ao sal das três diferentes coleções de bactérias.



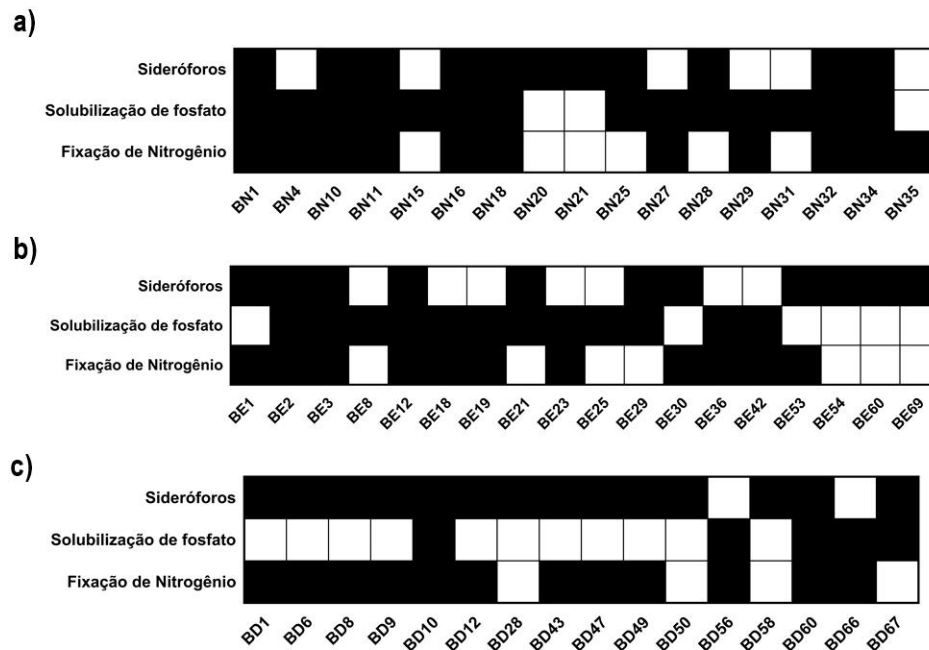
Fonte: elaborada pela autora.

Cada ponto representa um diferente isolado testado.

BNIRA - bactérias de solos de área nativa; **BDIRA** - bactérias de solos de áreas em desertificação; **BEIRA** - bactérias de solos de áreas de exclusão de pastagem.

Os isolados que apresentaram pelo menos uma característica positiva para produção de sideróforos, solubilização de fosfato ou fixação de nitrogênio foram agrupados em gráficos de presença/ausência (Figura 12) para facilitar a comparação entre eles.

Figura 12 – Perfil de isolados das coleções BNIRA, BEIRA e BDIRA quanto a produção de sideróforos, solubilização de fosfato e fixação de nitrogênio



Fonte: elaborada pela autora

Quadrados pretos = positivo; quadrados brancos = negativo; a) coleção de área nativa, b) coleção de área de exclusão de pastagem, c) coleção de área em desertificação. **BN** - bactérias de solos de área nativa; **BD** - bactérias de solos de áreas em desertificação; **BE** - bactérias de solos de áreas de exclusão de pastagem.

Assim, doze dos cinquenta e dois isolados submetidos aos ensaios de solubilização de fosfato, produção de sideróforos e fixação de nitrogênio apresentaram resultados positivos para os três testes: oito da área nativa, dois das áreas de sobrepastagem e três das áreas de exclusão de pastagem (Tabela 5). Em adição, quatro isolados (BEIRA 19; 21 e 29; e BNIRA 25) foram considerados promissores por apresentarem excelentes índices de produção de sideróforos e/ou solubilização de fosfato.

Tabela 5 - Isolados com resultados mais promissores para fixação de nitrogênio, solubilização de fosfato, produção de sideróforos e halotolerância

Isolados	IS de Sideróforos	IS de fosfato	Fixação de Nitrogênio	Halotolerância
BEIRA 2	>4	2.7	+	8%
BEIRA 3	>4	2	+	8%
BEIRA 12	4.5	4.5	+	4%
BNIRA 1	1.4	2	+	6%
BNIRA 10	1.2	1.6	+	6%
BNIRA 11	1.08	2	+	6%
BNIRA 16	1.06	2.4	+	8%
BNIRA 18	1.2	2	+	6%
BNIRA 32	10.8	1.5	+	8%
BNIRA 34	2	1.5	+	4%
BDIRA 10	1.08	1.3	+	6%
BDIRA 60	1.3	1.75	+	2%
BEIRA 19	-	3.5	+	6%
BEIRA 21	>4	2	-	8%
BEIRA 29	>4	4	-	6%
BNIRA 25	6.8	2	-	4%

Fonte: Elaborado pela autora

BNIRA - bactérias de solos de área nativa; **BDIRA** - bactérias de solos de áreas em desertificação; **BEIRA** - bactérias de solos de áreas de exclusão de pastagem.

IS = índice de solubilização. Os dois índices de solubilização foram calculados através da fórmula: $\text{dm do halo (mm)/dm da colônia (mm)}$. (+): positivo; (-): negativo.

O resultado da identificação molecular dos isolados mais promissores está mostrado na tabela 6. Todos os isolados pertencem ao filo Proteobacteria e às classes Betaproteobacteria ou Gammaproteobacteria. As sequências obtidas para os isolados BEIRA 02; BEIRA 03; BNIRA 34 e BDIRA 10 não apresentaram qualidade suficiente para permitir a identificação. A figura 13 destaca a filogenia dos isolados.

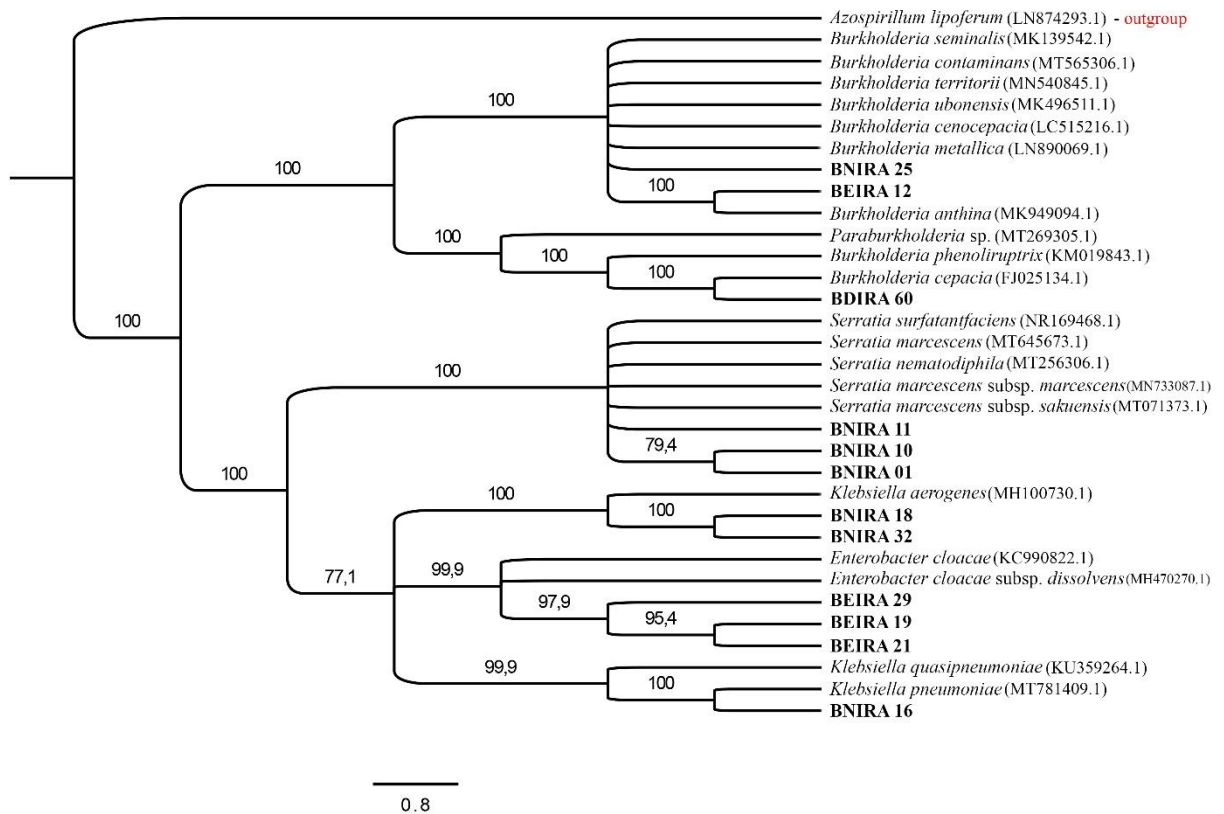
Tabela 6 - Identificação molecular dos isolados promissores baseado nas sequências de gene codificador para o RNA ribossomal 16S

Isolados	Filo	Classe	Identificação	Tamanho (pb)	
BEIRA 12	Proteobacteria	Betaproteobacteria	<i>Burkholderia</i> sp.	985pb	
BDIRA 60			<i>Burkholderia</i> sp.	1050pb	
BNIRA 25			<i>Burkholderia</i> sp.	1333pb	
BEIRA 19		Gammaproteobacteria	<i>Enterobacter</i> sp.	1499pb	
BEIRA 21			<i>Enterobacter</i> sp.	1081pb	
BEIRA 29			<i>Enterobacter</i> sp.	1272pb	
BNIRA 16			<i>Klebsiella</i> sp.	1346pb	
BNIRA 18			<i>Klebsiella</i> sp.	1454pb	
BNIRA 32			<i>Klebsiella</i> sp.	984pb	
BNIRA 1			<i>Serratia</i> sp.	1016pb	
BNIRA 10		<i>Serratia</i> sp.	1058pb		
BNIRA 11		<i>Serratia</i> sp.	1091pb		
BEIRA 2		NI	NI	NI	NI
BEIRA 3		NI	NI	NI	NI
BNIRA 34	NI	NI	NI	NI	
BDIRA 10	NI	NI	NI	NI	

Fonte: elaborado pela autora.

BNIRA - bactérias de solos de área nativa; **BDIRA** - bactérias de solos de áreas de desertificação; **BEIRA** - bactérias de solos de áreas de exclusão de pastagem. NI – não identificada. pb = pares de base.

Figura 13 - Árvore filogenética dos isolados promissores para os testes de promotores de crescimento avaliados neste estudo



O método de agrupamento de Neighbor-Joining foi utilizado para construção da árvore. A análise de confiança da filogenia foi avaliada pelo teste de bootstrap (1000 repetições). As distâncias evolutivas foram calculadas a partir do método de Jukes e Cantor. A árvore gerada é uma árvore de consenso com ponto de corte do valor de bootstrap de 75, os códigos entre parênteses representam os números de acessos no Genbank. A análise envolveu 33 sequências de nucleotídeos (com as sequências dos isolados inclusas) e foram conduzidas no software Geneious R10.2.

6. DISCUSSÃO

Os indicadores de qualidade do solo avaliados neste estudo apontam um severo prejuízo provocado pelo sobrepastejo e demonstram a eficácia da técnica de exclusão de pastagem para a recuperação destes solos.

A diferença mais marcante entre as áreas de sobrepastejo e exclusão de pastagem foi a redução do carbono orgânico. Esta redução pode ser justificada pela diminuição da cobertura vegetal em virtude do pastejo excessivo, onde o rebanho forrageia intensamente as plântulas e o banco de sementes do solo (OLIVEIRA; SALES, 2015). Desta forma, os solos se tornam mais expostos e suscetíveis à erosão eólica e hídrica, reduzindo ainda mais os conteúdos de carbono orgânico e, conseqüentemente, de matéria orgânica (ALBALADEJO, 1998; MARTINS et al., 2019; ZHANG et al., 2011). A matéria orgânica do solo depende fortemente da presença das espécies vegetais (MUREVA et al., 2018), portanto, uma vez que a exclusão de pastagem contribui para o aumento da biomassa vegetal por meio do isolamento e da ausência de predação direta, há aumento das taxas de carbono orgânico, fertilidade e disponibilidade de nutrientes nestas áreas.

Além de impulsionar o teor de carbono orgânico dos solos, a área de exclusão apresentou também os maiores valores da capacidade de troca de cátions total do solo (T). Essa característica se relaciona com a capacidade de liberação de nutrientes, que podem ser benéficos e favorecer a fertilidade dos solos (RONQUIM, 2010). Nos solos avaliados a T está majoritariamente ocupada por cátions essenciais e benéficos para a nutrição das plantas, como o Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} , portanto, o aumento dos valores T nos solos em sistema de pousio representa uma grande vantagem da técnica e indica sua eficácia na recuperação destes solos.

O pH se manteve baixo, caracterizando um solo ácido e impróprio para o crescimento de uma grande quantidade de culturas vegetais, e não variou entre as áreas analisadas. A estabilidade do pH independentemente da área pode ser justificada pois os elementos responsáveis pela flutuação de pH (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) e a capacidade tamponante (H^+ + Al) também não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as 3 áreas (RONQUIM, 2010). Embora não haja diferenças entre os cátions benéficos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) nos solos avaliados, há um aumento nos teores de Al^{3+} e de saturação por alumínio (m%) nas áreas de sobrepastejo, ao passo que a exclusão de pastagem promove uma redução significativa destes parâmetros deletérios (~48%; ~34%, respectivamente). O alumínio é um

elemento tóxico para o solos, bem como para diversas espécies de plantas; a toxicidade por este elemento pode tornar as plantas mais suscetíveis a patógenos, além de reduzir o desenvolvimento radicular das plantas e afetar a absorção de nutrientes e a fixação biológica de nitrogênio (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). O baixo pH nestes solos implica em efeitos negativos para a fertilidade e para a atividade dos microrganismos, principalmente por ser acompanhado da presença de alumínio trocável tóxico e do alto índice de saturação de alumínio.

Além de apresentar problemas relacionados aos teores de alumínio, os solos apresentam também problemas referentes à salinidade, embora nenhum destes solos sejam propriamente classificados como solos salinos por não atenderem aos critérios: condutividade elétrica (CE) ≥ 4 e potencial de sódio trocável (PST) > 15 (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

Neste contexto, os solos de sobrepastejo apresentaram o pior cenário para as variáveis relacionadas à salinidade: CE, PST e teor de Na^+ . Os melhores resultados para Na^+ foram observados na área de exclusão de pastagem, cujos valores foram os mais baixos. O excesso de íons sódio é tóxico ao solo e às plantas. A acumulação destes íons nos tecidos vegetais pode inibir a fotossíntese e aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), podendo provocar mutações na planta, culminando na degradação de proteínas e problemas na membrana celular (NUMAN et al., 2018). Ademais, o sódio pode diminuir o potencial hídrico do solo e culminar na sua desestruturação, o que ocasiona problemas de compactação, limitação do movimento da água e no desenvolvimento radicular (PEREZ-MARIN, 2012).

A exclusão de pastagem foi responsável por significativos aumentos nos teores de carbono total e nitrogênio total do solo. O carbono constitui grande parte da matéria orgânica do solo e é o elemento de maior demanda para a formação de novas células, portanto é extremamente necessário para a nutrição de plantas, animais e microrganismos dos solos. O nitrogênio é um elemento vital para qualquer organismo vivo e um dos mais limitantes para o desenvolvimento das plantas por necessitar de elevadas quantidades nos solos, uma vez que é essencial para a formação de proteínas e ácidos nucleicos (RONQUIM, 2010).

Embora haja diferenças nos teores de nitrogênio entre as áreas, foi encontrada uma elevada proporção de isolados fixadores de nitrogênio independente da área de origem da coleção. Esse aparente estado homogêneo dos solos pode ser relacionado a pré-seleção dada aos isolados, uma vez que os ensaios foram realizados apenas nas bactérias previamente

testadas positivas para outros ensaios de promoção de crescimento vegetal, isto é, nos isolados positivos para produção de sideróforos e/ou solubilização de fosfato. As Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP), em geral, utilizam mais de uma via para promover o crescimento, assim, bactérias que já apresentam perfil de solubilizadoras de fosfato e/ou de produção sideróforos possuem maiores chances de apresentar outros mecanismos de promoção de crescimento, como a fixação de nitrogênio (RAFI; KRISHNAVENI; CHARYULU, 2019). Rafi, Krishnaveni e Charyulu (2019), sugerem, ainda, que há uma correlação positiva entre a capacidade de solubilização de fosfato e fixação de nitrogênio em bactérias, pois a fixação biológica do nitrogênio demanda altas quantidades de fosfato.

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) por bactérias é um dos benefícios ecológicos mais relevantes obtidos pela interação de plantas e bactérias, uma vez que ajuda a planta hospedeira a obter nitrogênio diretamente da atmosfera e, portanto, cumprir os requisitos nutricionais essenciais para a manutenção do metabolismo vegetal (DE BRUIJIN, 2015). A FBN tem um papel fundamental na sustentabilidade dos ecossistemas, já que o nitrogênio de origem biológica é prontamente disponível para as plantas e menos suscetível a perdas por lixiviação, volatilização ou desnitrificação (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Para a área estudada, em especial, estes organismos revelam resultados bastante promissores, pois os solos da região apresentam grande acúmulo de Nitrogênio Orgânico Associado a Minerais (MAON) e reduzidas taxas de Nitrogênio Orgânico Particulado (PON) (OLIVEIRA-FILHO, J. et al., 2019).

O Nitrogênio Orgânico Particulado representa a fração lábil do nitrogênio, isto é, a parcela prontamente disponível para a decomposição por ataque microbiano e capaz de ser assimilado por plantas. Esta fração ajuda a formar agregados, que protegem o carbono presente no solo e mantém uma estrutura ideal para o desenvolvimento de plantas (FIGUEIREDO, 2009). O Nitrogênio Orgânico Associado a Minerais, no entanto, representa a fração estável e está geralmente associado a partículas de tamanho argila, que podem limitar o acesso aos compostos de nitrogênio por espécies vegetais. Embora mais difícil de ser acessado pelas plantas, essa fração representa uma reserva de nitrogênio que poderia ser acessada pelos microrganismos e facilitar a degradação enzimática e desmineralização do nitrogênio em situações de escassez (JILLING et al., 2018). Portanto, um enriquecimento destes solos com os isolados fixadores de nitrogênio, pode auxiliar no processo de disponibilização de nitrogênio para plantas e, conseqüentemente, contribuir para o aceleramento da recuperação destes solos.

Além disso, como indicam os resultados, há uma significativa redução no conteúdo de nitrogênio nas áreas em processo de desertificação, que contrasta com o notável aumento nos teores deste elemento nos solos de exclusão de pastagem. Oliveira-Filho et al. (2019), relatam que há um enriquecimento da leguminosa jurema preta (*Mimosa tenuiflora* [Willd.] Poir.) nas áreas sob regime de exclusão de pastagem de Irauçuba. Sabe-se que a fixação biológica de nitrogênio por bactérias é dada, principalmente, pela simbiose com leguminosas, logo, uma vez que o nitrogênio é mais abundante nos solos em sistema de pousio, ele pode se tornar mais disponível para as plantas por meio desta simbiose.

Pereira et al. (2020) mostraram que há correlação positiva entre a quantidade de nitrogênio e a diversidade microbiana nos solos. Portanto, uma fertilização destas áreas com isolados fixadores de nitrogênio, além de auxiliar no crescimento e desenvolvimento de plantas, poderia atuar em um *feedback* positivo para a própria comunidade microbiana dos solos. Assim, os isolados podem ajudar na mitigação do avanço do processo de desertificação e na aceleração da recuperação pela técnica de pousio.

Em relação à tolerância salina, todas as bactérias testadas para o ensaio são consideradas halotolerantes. As bactérias são classificadas como halotolerantes quando são capazes de crescer em concentrações de sal no solo a partir de 2% (RAHMAN; SIDDIQUE; TABASSUM, 2017). O resultado, assim como na fixação de nitrogênio, pode ser atribuído a pré-seleção dos isolados e sugere, mais uma vez, que estes isolados possam constituir um grupo de Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP).

Tendo em vista que os principais problemas encontrados nos solos avaliados estão relacionados aos preditores de salinidade, o resultado demonstra um importante mecanismo de adaptação destes isolados aos estresses ambientais da caatinga, como a alta salinidade e os prolongados períodos de seca.

O excesso de sais prejudica o crescimento das plantas, pois os solutos dissolvidos ao redor das raízes geram um potencial osmótico baixo, o que acaba por diminuir o potencial hídrico do solo. Este efeito causa desestruturação do solo e cria problemas de compactação e limitação do movimento da água nos solos, afetando também o desenvolvimento radicular. Assim, o conjunto dos problemas decorrentes da alta salinidade, limita o crescimento das plantas e restringe o estabelecimento de muitas espécies, especialmente as de porte alto (PEREZ-MARIN, 2012).

Desta forma, as bactérias halotolerantes, principalmente as BPCP, são benéficas aos solos, pois podem oferecer resistência à salinidade do solo através de vários mecanismos: pela síntese de ACC desaminase (1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminase); produção de VOCs (Compostos Orgânicos Voláteis); excreção de antioxidantes e citocininas (YANG, KLOPPER; RYU, 2009). Estes mecanismos auxiliam na tolerância à seca e, conseqüentemente, na tolerância ao estresse salino.

Os isolados provenientes das áreas de exclusão de pastagem também apresentaram consideráveis aumentos na qualidade da solubilização de fosfatos e de sideróforos. Para melhor compreensão deste resultado é importante ressaltar que as áreas submetidas ao pousio estão em um estágio intermediário de estresse e de sucessão em relação às outras duas áreas (vegetação nativa e sobrepastejo) (CONNELL, 1987). Segundo Connell (1987), áreas que apresentam um distúrbio intermediário possuem maior diversidade que áreas com menor ou maior influência de estresses, que podem selecionar nichos específicos. As áreas intermediárias, portanto, por estarem em um processo de seleção de comunidades e grupos, possuem um nicho mais amplo e uma comunidade menos estabilizada e funcionalmente organizada.

Traçando um paralelo com as áreas de Irauçuba, um aumento da cobertura vegetal e enriquecimento de espécies facilitadoras, como a jurema preta, nas áreas de exclusão de pastagem pode atuar na seleção de espécies de bactérias com melhores atividades de solubilização, pois a área necessitaria de maior demanda destes nutrientes para o crescimento vegetal e para dar continuidade ao processo de sucessão. A área de vegetação nativa, por possuir menos influências de estresses em relação às demais, apresenta uma comunidade vegetal mais estável e bem organizada e, assim, não necessita de atividade de solubilização tão acentuada quanto no pousio.

Temos, portanto, uma coleção de isolados com perfis promissores para a recuperação da fertilidade, qualidade e saúde dos solos avaliados, uma vez que produzem diversos compostos e moléculas que auxiliam na promoção do crescimento vegetal. Os promotores de crescimento vegetal na área de estudo podem constituir uma ferramenta vital para uma recuperação sustentável, barata e, sobretudo, mais rápida.

Embora o pousio confira resultados positivos, a recuperação é bastante lenta e, no caso de planossolos de Irauçuba, o tratamento apenas com esta técnica dificilmente teria condições de retorno à produtividade de um solo nativo (ARAÚJO FILHO, J., 1992). A erosão laminar dos solos de sobrepastejo já removeu boa parte do horizonte A, deixando o horizonte

textural B exposto. Além disso, há exaustão de vários nutrientes do solo, principalmente do fósforo (OLIVEIRA; SALES, 2015), e a deficiência de fósforo restringe severamente o crescimento das plantas.

O fósforo é o macronutriente de maior deficiência em solos tropicais e nos planossolos de Irauçuba foi capaz de gerar um considerável aumento na fitomassa (OLIVEIRA; SALES, 2015). Assim, o uso de fertilizantes de fósforo nestes solos é uma boa opção para a recuperação das áreas de pastagem. No entanto, a reposição de fósforo é um desafio, pois, embora o uso de fertilizantes minerais seja uma forma rápida e eficaz de contornar a situação, o produto tem um alto custo de produção e gera resíduos poluentes que, em excesso, causam a deterioração do ambiente e perda da qualidade do solo (GENTILI; JUMPONNEN, 2006). Neste sentido, a aplicação de bioinoculantes de microrganismos solubilizadores de fosfato é uma alternativa biotecnológica eficiente para atender às demandas de fósforo das plantas, bem como promover o crescimento destas espécies vegetais (ZAIDI et al., 2009).

A presença de isolados que produzem sideróforos nas áreas estudadas também é muito promissora, pois as bactérias produtoras de sideróforos auxiliam tanto na promoção do crescimento vegetal quanto no controle de fitopatógenos (LEE et al., 2012; KUMAR, A. et al., 2017; BINDU; NAGENDRA, 2016). A toxicidade por alumínio pode reduzir o desenvolvimento radicular das plantas, o que afeta a absorção de nutrientes, diminui a área radicular a ser infectada por bactérias nodulíferas e as torna mais suscetíveis a doenças (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Portanto, uma vez que há excesso de saturação por alumínio nos solos das áreas estudadas, a presença de bactérias que possam atuar na melhoria da saúde das plantas é de grande importância.

O critério de seleção dos 16 isolados nesse estudo foi os excelentes desempenhos nos ensaios que avaliaram o potencial de promoção de crescimento vegetal. A identificação molecular desses isolados foi importante para que se aprofunde nos estudos de suas características, visando a produção de consórcios e futuras aplicações a campo, como bioinoculantes. Os isolados promissores pertencem aos gêneros: *Klebsiella*, *Burkholderia*, *Enterobacter* e *Serratia*, todos Proteobacteria. As proteobactérias abrangem uma vasta variedade de espécies de bactérias Gram negativas filogeneticamente relacionadas, que podem ser encontradas em praticamente todos os ambientes terrestres (MADINGAN et al., 2016).

O gênero *Burkholderia* apresenta tanto espécies classificadas como patógenos oportunistas quanto espécies não patogênicas que são amplamente utilizadas na agricultura.

Dentre os benefícios para a agricultura destaca-se a fixação de nitrogênio, a estimulação do crescimento de plantas, a produção de sideróforos, a solubilização de fosfato, a biorremediação de solos contaminados, dentre outras (BOLÍVAR-ANILLO; CONTRERAS-ZENTELLA; TEHERÁN-SIERRA, 2016; COMPANT et al., 2005b; CABALLERO-MELLADO et al., 2007). Estirpes de *B. cepacia*, espécie que obteve forte similaridade com o isolado BDIRA 60, já são utilizadas comercialmente em produtos para práticas agrícolas (GLICK, 2012). Zuleta et al. (2014), relataram também grande potencial biotecnológico de estirpes de *B. phenoliruptrix*, espécie que vive em simbiose com leguminosas e apresentam perfil de fixação de nitrogênio e tolerância salina. No entanto, o genoma da estirpe apresenta grande similaridade com outras espécies patogênicas do gênero *Burkholderia*, o que levanta preocupações sobre seu uso comercial em larga escala.

Embora algumas espécies do gênero *Klebsiella* sejam classificadas como patógenos oportunistas, vários estudos relatam atividade positiva para fixação de nitrogênio, solubilização de fosfato, produção de AIA e produção de sideróforos, incluindo a espécie *K. pneumoniae*. Por conta destas atividades para promoção de crescimento vegetal, isolados do gênero são muito explorados visando aplicações em biofertilizantes e biorremediadores (ARSHAD; FRANKENBERGER, 1997; KUAN et al., 2016; PODSCHUN; FISCHER; ULLMANN, 1992, SINGH et al., 2019).

A espécie *E. cloacae*, é abordada na literatura por sua associação com espécies vegetais e por seu potencial como promotora de crescimento vegetal (HAYAT, 2010). Kumar V. et al. (2017), apontam, ainda, bactérias do gênero *Enterobacter* como boas produtoras de sideróforos e com grande potencial para aplicações em fins industriais e medicinais.

O gênero *Serratia* já foi utilizado no controle de larvas e de fungos fitopatógenos (SINGH et al., 2019; CHATTOPADHYAY, 2012). Lavania et al. (2006), observaram que uma estirpe de *S. marcescens* foi responsável por diminuir significativamente doenças de plantas causadas pelo fungo *Phytophthora nicotianae*. Além disso, já foi relatado que estirpes de *S. nematodiphila* são excelentes promotoras de crescimento vegetal (DASTAGER; DEEPA; PANDEY, 2010).

Com base nos resultados dos testes de promoção de crescimento vegetal avaliados nesse estudo e na comparação com dados da literatura, podemos inferir que os isolados selecionados constituem um grupo promissor de bactérias promotores do crescimento de plantas. Desta forma, um inoculante com as características dos isolados aqui apresentados pode

ser uma excelente ferramenta para que se acelere a recuperação natural dos solos, já oferecida pela técnica de exclusão de pastagem, porém de forma mais rápida, eficiente, sustentável e barata.

O bioinoculante em questão atuaria nos principais problemas verificados neste solo:

a) Permitiria o estabelecimento das plantas nos solos salinos; b) Auxiliaria na simbiose com plantas para a obtenção do nitrogênio; c) Auxiliaria na disponibilização de fosfato para as plantas, melhorando a produção de energia, fotossíntese e respiração celular; d) Atuaria na manutenção da saúde da planta contra os fitopatógenos, pela ação de sideróforos.

A triagem das atividades metabólicas indica a qualidade e o potencial desses isolados na restauração dessas áreas, no entanto, são necessárias mais análises para avaliar a aplicação destes a campo. Ensaio de crescimento em consórcio, por exemplo, são essenciais para investigar a compatibilidade e eficácia dos isolados em crescimento conjunto. Além disso, uma vez que houve similaridade de alguns isolados com espécies possivelmente patogênicas, é necessário avaliar fatores de virulência e de resistência antimicrobiana associados a esses organismos.

7. CONCLUSÃO

Os resultados promovidos por este estudo indicam efeito positivo da técnica de pousio nos solos degradados de Irauçuba. O perfil dos solos de exclusão de pastagem se distancia significativamente da situação de deserto para quase todos os parâmetros de análise química avaliados, tendendo a se aproximar da situação da área mata secundária ou apresentar um perfil intermediário entre os dois extremos de conservação.

Os principais problemas dos solos estão relacionados aos preditores de salinidade (CE, teor de Na⁺ e PST) e ao excesso de íons alumínio tóxico, sendo mais evidentes na situação de sobrepastejo. Tendo em vista que todos os isolados foram considerados halotolerantes, é possível inferir que há uma adaptação destes isolados ao estresse salino, que pode auxiliar no estabelecimento de plantas e na estruturação dos solos.

Dezesseis isolados apresentaram atividade positiva e/ou promissora em todos os ensaios de promoção de crescimento vegetal aos quais foram submetidos. Os isolados pertencem aos gêneros: *Burkholderia*; *Serratia*; *Enterobacter* e *Klebsiella* e são excelentes candidatos a bioinoculantes aplicáveis na recuperação de solos degradados. O produto pode atuar em conjunto com o tratamento de pousio e promover resultados mais rápidos, eficazes, de baixo custo e sustentáveis. No entanto, são necessários mais estudos para avaliar a segurança ambiental dos isolados, suas interações em consórcios e atuação em condições reais de campo.

REFERÊNCIAS

- ALBALADEJO, J.; MARTINEZ-MENA, M.; ROLDAN, A.; CASTILLO, V. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment. **Soil Use And Management**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 1-5, mar. 1998. DOI 10.1111/j.1475-2743.1998.tb00602.x.
- ALMEIDA, C. L.; ARAÚJO, J. C.; COSTA, M. C. G.; ALMEIDA, A. M. M.; ANDRADE, E. M. Fallow Reduces Soil Losses and Increases Carbon Stock in Caatinga. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 24, [10] p, 2017.
- ALTSCHUL, S. F.; GISH, W.; MILLER, W.; MYERS, E. W.; LIPMAN, D. J. Basic local alignment search tool. **J. Mol. Biol.**, v. 215, p. 403–410, 1990.
- ANDRADE, L. L. L. **Desertificação no semiárido brasileiro: o papel dos microrganismos no processo de recuperação de áreas degradadas**. 2019. 55 f. Monografia (Curso de Ciências Biológicas) - Departamento de Biologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/48316>. Acesso em: 25 jan 2020.
- ARAÚJO-FILHO, J. A. de et al. Avaliação de leguminosas arbóreas para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Irauçuba-CE. In: **Embrapa Caprinos e Ovinos - Artigo em anais de congresso (ALICE)**. Revista Brasileira de Agroecologia, [s.n], v. 2, n. 2, p. 1698-1701, fev. 2007., 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/925344/1/AACAvaliacaodeleguminosasarboreas.pdf>. Acesso em: 16 dez 2019.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga para fins pastoris. In: **Embrapa - Circular Técnica 11**. Sobral. 1992. [18] p. ISSN: 0100-8269.
- ARAÚJO FILHO, R. N. de; FREIRE, M. B. G. dos S.; WILCOX, B. P.; WEST, J. B.; FREIRE, F. J.; MARQUES, F. A. Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. **Forest Ecology And Management**, [S.l.], v. 407, p. 210-220, jan. 2018. DOI 10.1016/j.foreco.2017.10.002.
- ARSHAD, M.; FRANKENBERGER JR, W. T. Plant growth-regulating substances in the rhizosphere: microbial production and functions. **Advances in agronomy**. [s.l.]: Academic Press, 1997. [107] p.
- BINDU, P; NAGENDRA PRABHU, G. Siderophore Production by *Pseudomonas aeruginosa* Isolated from the Paddy Fields of Kuttanad, Kerala. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, [s. l.], v. 5, ed. 10, p. 1577-1581, Oct 2016.
- BOLÍVAR-ANILLO, H. J.; CONTRERAS-ZENTELLA, M. L.; TEHERÁN-SIERRA, L. G. Burkholderia tropica: una bacteria con gran potencial para su uso en la agricultura. **Tip**, [s.l.], v. 19, n. 2, p. 102-108, ago 2016. DOI 10.1016/j.recqb.2016.06.003.
- BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAN-Brasil**. Brasília: MMA, 2004, 242 p.

CABALLERO-MELLADO, J.; ONOFRE-LEMUS, J.; SANTOS, P. E de los; MARTÍNEZ-AGUILAR, L. The Tomato Rhizosphere, an Environment Rich in Nitrogen-Fixing Burkholderia Species with Capabilities of Interest for Agriculture and Bioremediation. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 73, n. 16, p. 5308-5319, 29 jun. 2007. DOI 10.1128/aem.00324-07.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016. 221 p.

CEARÁ. Secretária dos Recursos Hídricos. **Programa de ação de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAE-CE**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 372 p.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Desertificação, degradação da terra e secas no brasil**. Brasília, DF: [s.n.], 2016. 252p.

CHATTOPADHYAY, P. Exploring Agricultural Potentiality of *Serratia entomophila* AB2: dual property of biopesticide and biofertilizer. **British Biotechnology Journal**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 1-12, 10 jan. 2012. DOI 10.9734/bbj/2012/778.

COMPANT, S. et al. Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 71, n. 9, p.4951-4959, 1 set. 2005a. DOI 10.1128/aem.71.9.4951-4959.2005.

COMPANT, S.; REITER, B.; SESSITSCH, A.; NOWAK, J.; CLÉMENT, C.; BARKA, E. A. Endophytic Colonization of *Vitis vinifera* L. by Plant Growth-Promoting Bacterium *Burkholderia* sp. Strain PsJN. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 71, n. 4, p. 1685-1693, abr. 2005b. DOI 10.1128/aem.71.4.1685-1693.2005.

CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. **Science**, [s.l.], v. 199, n. 4335, p. 1302-1310, 1978.

DASTAGER, S. G.; DEEPA, C. K.; PANDEY, A. Potential plant growth-promoting activity of *Serratia nematodiphila* NII-0928 on black pepper (*Piper nigrum* L.). **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, [s.l.], v. 27, n. 2, p. 259-265, 25 maio 2010. DOI 10.1007/s11274-010-0454-z.

DE BRUIJN, F. J. Biological nitrogen fixation. In: **Principles of Plant-Microbe Interactions**. [s.l.]: Springer, Cham, 2015. p. 215-224.

DENG, S.; ZHANG, D.; WANG, G.; ZHOU, X.; YE, C.; FU, T.; KE, T.; ZHANG, Y.; LIU, Y.; CHEN, L. Biological soil crust succession in deserts through a 59-year-long case study in China: How induced biological soil crust strategy accelerates desertification reversal from decades to years. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 141, [47] p. 2019.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H M. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, [225] p. 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtodosde>

AnilisedeSolo.pdf. Acesso em: 15 mai 2020.

DREGNE, H. E. Land degradation in the drylands. **Arid land research and management**. [s.l.], v. 16, n. 2, p. 99-132. 2002. DOI 10.1080/153249802317304422

FELSENSTEIN, J. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. **Evolution**, v. 39, n. 4, p. 783-791, 1985. DOI 10.1111/j.1558-5646.1985.tb00420.x

FIGUEIREDO, C. C. de. **Compartimentos da matéria orgânica do solo sob sistema de manejo e vegetação natural de Cerrado**. 2009. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2009.

FRENCH, S. et al. Elevated temperatures and carbon dioxide concentrations: effects on selected microbial activities in temperate agricultural soils. **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, [s.l.], v. 25, n. 11, p.1887-1900, 8 jul. 2009. DOI 10.1007/s11274-009-0107-2.

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Calendário de chuvas no estado do ceará**. Disponível em: <http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/media/anual>. Acesso em: 10 jan 2020.

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Proposta de dimensionamento do semi-árido brasileiro do Banco do Nordeste do Brasil**, Fortaleza, [s.n.], 107p., 2005.

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Zoneamento ecológico-econômico das áreas susceptíveis à desertificação: núcleo I – Irauçuba/Centro-Norte**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2015. 304 p.

GENTILI, F.; JUMPPONEN, A. Potential and Possible uses of bacterial and fungal biofertilizers. In: RAI, M. K. (editor). **Handbook of microbial biofertilizers**. New York: The Haworth Press Incorporated, 2006.

GLICK, Bernard R. Plant Growth-Promoting Bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, [S.L.], v. 2012, p. 1-15, 2012. DOI 10.6064/2012/963401.

HAYAT, R. et al. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals Of Microbiology**, [s.l.], v. 60, n. 4, p.579-598, 28 ago. 2010. DOI 10.1007/s13213-010-0117-1.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Semiárido Brasileiro**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=sobre>. Acesso em: 07 mai 2020.

INSA - INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 209 p.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGICA ECONÔMICA DO CEARÁ.

Perfil municipal de Irauçuba. 2017. Disponível em:

http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2017/Iraucuba.pdf. Acesso em: 18 abr 2019.

JHONY, V. et al. Phytosociological survey of arboreous species in conserved and desertified areas in the semi-arid region of Paraíba, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 10, p. 805–814, 2017. Disponível em:

<http://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/24D2C5A63080>. Acesso em: 14 fev 2020.

JILLING, A. et al. Minerals in the rhizosphere: overlooked mediators of soil nitrogen availability to plants and microbes. **Biogeochemistry**, [s.l.], v. 139, n. 2, p.103-122, 7 jun. 2018. DOI 10.1007/s10533-018-0459-5.

JUKES, T. H.; CANTOR, C. R. Evolution of protein molecules. In: MUNRO, H. N (editor). **Mammalian Protein Metabolism**, p. 21-132. New York: Academic press. 1969.

KATOH, K. MAFFT: a novel method for rapid multiple sequence alignment based on fast fourier transform. **Nucleic Acids Research**, [s.l.], v. 30, n. 14, p. 3059-3066, 15 jul. 2002. DOI 10.1093/nar/gkf436.

KATOH, K.; STANDLEY, D. M. MAFFT Multiple Sequence Alignment Software Version 7: improvements in performance and usability. **Molecular Biology And Evolution**, [s.l.], v. 30, n. 4, p. 772-780, 16 jan. 2013. DOI 10.1093/molbev/mst010.

KAVAMURA, V. N.; TAKETANI, R. G.; LANÇONI, M. D.; ANDREOTE, F. D.; MENDES, R.; MELO, I. S. de. Water Regime Influences Bulk Soil and Rhizosphere of *Cereus jamacaru* Bacterial Communities in the Brazilian Caatinga Biome. **Plos One**, [s.l.], v. 8, n. 9, 17 set. 2013. DOI 10.1371/journal.pone.0073606.

KLOEPPER, J.W. et al. Plant root-bacterial interactions in biological control of soilborne diseases and potential extension to systemic and foliar diseases. **Australasian Plant Pathology**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.21-26, 1999. DOI 10.1071/ap99003.

KUAN, K. B.; OTHMAN, R.; RAHIM, K. A.; SHAMSUDDIN, Z. H. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Inoculation to Enhance Vegetative Growth, Nitrogen Fixation and Nitrogen Remobilisation of Maize under Greenhouse Conditions. **Plos One**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 1-19, 24 mar. 2016. DOI 10.1371/journal.pone.0152478.

KUMAR, A.; VERMA, H.; SINGH, V. K.; SINGH, P. P.; SINGH, S. D.; ANSARI, W. A.; YADAV, A.; SINGH, P. K.; PANDEY, K. D. Role of *Pseudomonas* sp. in Sustainable Agriculture and Disease Management. **Agriculturally Important Microbes For Sustainable Agriculture**, [s.l.], p. 195-215, 2017. DOI 10.1007/978-981-10-5343-6_7.

KUMAR, V.; MENON, S.; AGARWAL, H.; GOPALAKRISHNAN, D. Characterization and optimization of bacterium isolated from soil samples for the production of siderophores. **Resource-Efficient Technologies**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 434-439, dez. 2017. DOI 10.1016/j.reffit.2017.04.004.

- LAVANIA, M.; CHAUHAN, P. S.; CHAUHAN, S.V.s.; SINGH, H. B.; NAUTIYAL, C. S. Induction of Plant Defense Enzymes and Phenolics by Treatment With Plant Growth–Promoting Rhizobacteria *Serratia marcescens* NBRI1213. **Current Microbiology**, [S.L.], v. 52, n. 5, p. 363-368, 1 abr. 2006. DOI 10.1007/s00284-005-5578-2.
- LEE, J. POSTMASTER, A.; SOON, H.P.; KEAST, D.; CARSON, K. C. Siderophore production by actinomycetes isolates from two soil sites in Western Australia. *Biometals : an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine*, vol. 25(2), p. 285–96. 2012.
- LESK, C.; ROWHANI, P.; RAMANKUTTY, N. Influence of extreme weather disasters on global crop production. **Nature**, [s.l.], v. 529, n. 7584, p.84-87, jan. 2016. DOI 0.1038/nature16467.
- LOPES, F. A. C.; CATÃO, E. C. P.; SANTANA, R. H.; CABRAL, A. S.; PARANHOS, R.; RANGEL, T. P.; REZENDE, C. E. de; EDWARDS, R. A.; THOMPSON, C. C.; THOMPSON, F. L. Microbial Community Profile and Water Quality in a Protected Area of the Caatinga Biome. **Plos One**, [s.l.], v. 11, n. 2, 16 fev. 2016. DOI 10.1371/journal.pone.0148296.
- MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; BENDER, K. S.; BUCKLEY, D. H.; STAHL, D. A.. **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 987 p.
- MALUSÀ, E.; PINZARI, F.; CANFORA, L.. Efficacy of Biofertilizers: Challenges to Improve Crop Production. **Microbial Inoculants In Sustainable Agricultural Productivity**, [s.l.], p.17-40, 2016. DOI 10.1007/978-81-322-2644-4_2.
- MARRA, L. M. **Solubilização de fosfatos por bactérias e sua contribuição no crescimento de leguminosas e gramíneas**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2012. 141 p.
- MARTÍNEZ-VALDERRAMA, J.; GUIRADO, E.; MAESTRE, F. T. Desertifying deserts. **Nature Sustainability**, [S.l.], v. 3, n. 8, p. 572-575, 22 jun. 2020. DOI 10.1038/s41893-020-0561-2.
- MARTINS, A. F. et al. Physical, Chemical, and Microbiological Properties of Soil under Different Plant Covers in the Seridó Desertification Region in the Brazilian Semiarid. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, [s.l.], 2019. DOI 10.1590/18069657rbcS20180162.
- MATALLO JUNIOR, H. A; SCHENKEL, C.S. (Org). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 82 p, 2003.
- MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectiva**. Brasília: UNESCO, 122 p, 2001.
- MAZID, M.; KHAN, Z.H.; QUDDUSI, S.; TAQI, A. K.; FIROZ, M. Significance of Sulphur nutrition against metal induced oxidative stress in plants. **J Stress Physiol Biochem**, [s.I] v. 7, n. 3, p. 65-84, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Secretaria de recursos hídricos. **Atlas das áreas suscetíveis à desertificação no Brasil**. Marcos Oliveira Santana (Org). Brasília: Universidade Federal da Paraíba, 2007. 134 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Combate à Desertificação**. [s.l.]. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/combate-a-desertificacao>. Acesso em: 25 fev. 2020.

MIRZABAEV, A et al. Desertification. In: SHUKLA, P.R. et al. (editor). In: **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystem**. [s.l.]: Intergovernmental Panel on Climate Change., 2019. 249-307 p.

MISHRA, P.; BISHT J.; PATTANAYAK, A. (Eds.). **Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture**. Singapore: Springer, p. 195-215, 2017.

MUREVA, A.; WARD, D.; PILLAY, T.; CHIVENGE, P.; CRAMER, M. Soil Organic Carbon Increases in Semi-Arid Regions while it Decreases in Humid Regions Due to Woody-Plant Encroachment of Grasslands in South Africa. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 1-12, 19 out. 2018. DOI 10.1038/s41598-018-33701-7.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE SOILS. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Global Desertification Vulnerability Map**. 1998. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/use/maps/?cid=nrcs142p2_054003>. Acesso em: 15 fev. 2020.

NUMAN, M. et al. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. **Microbiological Research**, [s.l.], v. 209, p.21-32, abr. 2018. DOI 10.1016/j.micres.2018.02.003.

OLIVEIRA, J. G. B; SALES, M. C. L. Monitoramento da Desertificação em Irauçuba. Fortaleza: **Imprensa Universitária**, 369 p, 2015.

OLIVEIRA-FILHO, J. S. et al. Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in degraded semi-arid soils: Evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. **Journal Of Arid Environments**, [s.l.], v. 166, [10] p, jul. 2019. DOI 10.1016/j.jaridenv.2019.03.006

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**, [s.l.], v. 124, p. 33-39, 2008. DOI 10.1016/j.agee.2007.08.008

PEREIRA, A.; LIMA, L.; BEZERRA, W.; PEREIRA, M.; NORMANDO, L.; MENDES, L.; OLIVEIRA, J.; ARAUJO, A.; MELO, V. Grazing exclusion regulates bacterial community in highly degraded semiarid soils from Brazilian Caatinga biome. **Land Degradation & Development**, [S.L.], p. 1-10, 1 jun. 2020. DOI 10.22541/au.159100389.91906493.

PEREZ-MARIN, A. M. et al. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, v. 17, p. 87-106, 2012.

PODSCHUN, R.; FISCHER, A.; ULLMANN, U. Siderophore Production of Klebsiella Species Isolated from Different Sources. **Zentralblatt fur Bakteriologie**, v. 276, n. 4, p. 481–486, 1992. DOI 10.1016/S0934-8840(11)80673-0

PREZOTTI, Luiz Carlos; GUARÇONI, A. M. **Guia de interpretações de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: INCAPER, 106 p, 2013. ISBN 978-85-89274-21-0.

RAFI, M. M.; KRISHNAVENI, M. S.; CHARYULU, P. B. B. N. Phosphate-Solubilizing Microorganisms and Their Emerging Role in Sustainable Agriculture. **Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry**. [s.l.], 2019. p. 223-233. DOI 10.1016/B978-0-12-816328-3.00017-9.

RAHMAN, S. S.; SIDDIQUE, R.; TABASSUM, N. Isolation and identification of halotolerant soil bacteria from coastal Patenga area. **Bmc Research Notes**, [s.l.], v. 10, n. 1, 30 out. 2017. DOI 10.1186/s13104-017-2855-7.

RASHID, M. I.; MUJAWAR, L. H.; SHAHZAD, T.; ALMEELBI, T.; ISMAIL, I. M.; OVES, M. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. **Microbiological Research**, v. 183, p. 26-41, 2016. DOI 10.1016/j.micres.2015.11.007

RÊGO, A. H. **Os sertões e os desertos: o combate à desertificação**. Brasília: Gráfica e Editora Ideal, 2012. 204 p.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: **Embrapa**. 2010 26 p. ISSN: 1806-3322

SÁ, I. B. et al. Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. **Embrapa Semiárido- Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.

SÁ, M. C. A. GOUVEIA, I. V.; KREWER, C. C.; VESCHI, J. L. A.; MATTOS-GUARALDI, A. L.; COSTA, M. M. Distribution of PLD and FagA, B, C and D genes in *Corynebacterium pseudotuberculosis* isolates from sheep and goats with caseus lymphadenitis. **Genetics and Molecular Biology**, v. 36, n. 2, p. 265–268, 2013. DOI 10.1590/S1415-47572013005000013.

SAITOU, N.; NEI, M. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. **Molecular Biology and Evolution**. v. 4, n. 4, p. 406-425, 1987. DOI 10.1093/oxfordjournals.molbev.a040454.

SCHÜTZ, L.; GATTINGER, A.; MEIER, M.; MÜLLER, A.; BOLLER, T.; MÄDER, P.; MATHIMARAN, N. (2018). Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 2204, 2018. DOI 10.3389/fpls.2017.02204.

SEYFFARTH, J. A. S.; RODRIGUES, V. Impactos da seca sobre a biodiversidade da Caatinga. **Parcerias Estratégicas - CGEE**, Brasília, v. 44, n. 22, p.41-62, jan-jul 2017.

SINGH, Monika et al. Plant Growth Promoting Rhizobacteria. **Pgpr Amelioration In Sustainable Agriculture**, [s.l.], p.41-66, 2019. DOI 10.1016/b978-0-12-815879-1.00003-3.

SIVAKUMAR, M. V. K. Interactions between climate and desertification. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s.l.] v. 142, p. 143-155, 2007. DOI 10.1016/j.agrformet.2006.03.025.

SMALLA, K.; WIELAND, G.; BUCHNER, A.; ZOCK, A.; PARZY, J.; ET AL. Bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis: plant-dependent enrichment and seasonal shifts revealed. **Applied Environmental Microbiology**. v. 67, p. 4742-51, 2001. DOI 10.1128/aem.67.10.4742-4751.2001.

SOUTO, P.C. et al. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 151-160, 2008.

SOUZA, R. de; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics And Molecular Biology**, [s.l.], v. 38, n. 4, p.401-419, 3 nov. 2015. DOI 10.1590/s1415-475738420150053.

SPEROTTO, R. A. (Org.). **Protocolos e métodos de análise em laboratórios de biotecnologia agroalimentar e de saúde humana**. Lajeado: Univates, 2014. 329 p.

THOMPSON, J. D.; HIGGINS, D. G.; GIBSON, T. J. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. **Nucleic Acids Research**, [s.l.], v. 22, n. 22, p. 4673-4680, 1994. DOI 10.1093/nar/22.22.4673.

THORNTHWAITE, C.W. **Atlas of Climatic Types in the United States 1900-1939**. [s.l.]: Department of Agriculture, Forest Service. 1941.

TIMMUSK, S. et al. Bacterial Distribution in the Rhizosphere of Wild Barley under Contrasting Microclimates. **Plos One**, [s.l.], v. 6, n. 3, p.1-2, 23 mar. 2011. DOI 10.1371/journal.pone.0017968.

UNCCD - UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION. **United Nations convention to combat drought and desertification in those countries experiencing serious droughts and/or desertification, particularly in Africa**. Paris: [s.n.], 1994.

UNITED NATIONS. Environment management group. **Global drylands: a unsystem- wide response**. Geneve, sw: [s.n.], 132p. 2011.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. de. Metodologia para identificação de processos de desertificação: manual de indicadores. Recife: **SUDENE**, 1978.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Núcleos de desertificação no polígono das secas. Recife: **Anais do ICB, UFPE**, p. 69-73, 1971.

VESSEY, J.K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant soil**. [s.l.], v. 255, n. 2, p 571-586, 2003. DOI 10.1023/A:1026037216893.

WARNER, S. A. J. **Genomic DNA isolation and lambda library construction**. New York: Wiley, 1996.

WAWRIK, B. et al. Identification of unique type II polyketide synthase genes in soil. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 5, p. 2232–2238, 2005. DOI 10.1128/AEM.71.5.2232-2238.2005.

YANG, J.; KLOPPER, J. W.; RYU, C. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. **Trends In Plant Science**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.1-4, jan. 2009. DOI 10.1016/j.tplants.2008.10.004.

ZAIDI, A.; KHAN, M.; AHMAD, M.; OVES, M.. Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria. **Acta Microbiologica Et Immunologica Hungarica**, [s.l.], v. 56, n. 3, p. 263-284, set. 2009. DOI 10.1556/amcr.56.2009.3.6.

ZHANG, Y.-G. et al. Comparative rates of wind versus water erosion from a small semiarid watershed in southern Arizona, USA. **Aeolian Research**, v. 3, n. 2, p. 197-204, 2011. DOI 10.1016/j.aeolia.2011.03.006.

ZULETA, L.; CUNHA, C.; CARVALHO, F. de; CIAPINA, L.; SOUZA, R.; MERCANTE, F.; FARIA, S. de; BALDANI, J.; STRALIOTTO, R.; HUNGRIA, M. The complete genome of *Burkholderia phenoliruptrix* strain BR3459a, a symbiont of *Mimosa flocculosa*: highlighting the coexistence of symbiotic and pathogenic genes. **Bmc Genomics**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 535-537, 2014. DOI 10.1186/1471-2164-15-535.