



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

VANESSA ARIANE SILVA DA COSTA

**FUNGOS DA CAATINGA E SEU POTENCIAL NA PROMOÇÃO DA FERTILIDADE
DO SOLO DE ÁREAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO**

**FORTALEZA
2021**

VANESSA ARIANE SILVA DA COSTA

FUNGOS DA CAATINGA E SEU POTENCIAL NA PROMOÇÃO DA FERTILIDADE DO
SOLO DE ÁREAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

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

2021

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)

- C876f Costa, Vanessa Ariane Silva da.
Fungos da caatinga e seu potencial na promoção da fertilidade do solo de áreas em processo de desertificação / Vanessa Ariane Silva da Costa. – 2021.
51 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Ciências Biológicas, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Vânia Maria Maciel Melo.
1. Bioinoculantes. 2. Microbioma. 3. Semiárido. 4. Pousio. 5. Impacto ambiental. I. Título.
CDD 570
-

VANESSA ARIANE SILVA DA COSTA

FUNGOS DA CAATINGA E SEU POTENCIAL NA PROMOÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO DE ÁREAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

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: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araújo Pereira - Depto. de Ciências do Solo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcelo Freire Moro - Instituto de Ciências do Mar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, por todo incentivo e amor incondicional durante todos esses anos, vocês são os verdadeiros donos desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais por todo o apoio durante esses anos. Agradeço a minha mãe **Marina** (mainha) por sempre ter lutado por mim, por todo esforço que fez desde a minha infância para que eu pudesse receber a melhor educação possível. Agradeço ao meu pai **Erineu**, por todo o incentivo e por servir de espelho para que eu nunca cansasse de buscar conhecimento. Obrigada também por ser nerd junto comigo e por todo apoio financeiro, sem o qual não teria sido possível estar concretizando esse sonho.

Um agradecimento especial a minha orientadora **Profa. Vânia**, mulher forte e exemplo de cientista que me inspirou desde o primeiro momento em que a conheci na graduação. Obrigada por incentivar minha autonomia como cientista.

Agradeço ao **Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia (Lembiotech)** e a todas as pessoas que fazem parte desse maravilhoso ambiente de trabalho. Agradeço a **Mirella** (Mimi) por ser esse ser humano doce, sempre disposto a ajudar o próximo e dar carão também quando necessário.

Agradeço ao time Caatinga por toda cooperação e parceria em todos esses anos. Tem um pedacinho de cada um de vocês nesse trabalho. Queria agradecer àqueles que me ajudaram diretamente **Andreza, Lara Andrade (Lara Old), Lara Isense (Lara New)** e **João Victor**, obrigada pelo o apoio em tantos momentos difíceis.

Agradeço ao Programa de Educação Tutorial (PET-Biologia UFC) por todo o aprendizado e oportunidades durante a graduação. Agradeço a **Profa. Érika** por toda sua dedicação durante esse período, por sua sabedoria, bondade e organização que me inspiram. Agradeço também a todos os petianos que fizeram parte da minha jornada nessas duas gerações que fiz parte. Agradeço ao **Arthurzinho** por todas as tardes de conversas comendo cuscuz no seu Diniz. Agradeço a **Renata** e ao **Felipe** por todos os momentos de liberdade vividos e pelas fotos maravilhosas que sempre vinham depois.

Quero agradecer em especial a **Jeniffer** que durante esses dois últimos anos foi uma das pessoas mais importantes na minha vida. Obrigada por todo companheirismo, por sempre acreditar em mim e não soltar minha mão em tantos momentos difíceis.

Agradeço ao **squad** por terem me acolhido desde o início da graduação. Agradeço a **Sofia** por ter notado minha tatuagem do Doctor Who e ser a primeira pessoa da turma a falar comigo. Agradeço a **Vitória** por ser minha companhia do Terminal do Antônio Bezerra, pois sem ela certamente eu me perderia em vários momentos. Agradeço a **Bea** por ser essa pessoa

doce e maravilhosa que sempre se preocupa e torce por você. Agradeço a **Victória** por me deixar dormir na casa dela depois dos happys, por compartilhar do gosto pela melhor banda que obviamente é Imagine Dragons e pelos grandes momentos vividos no Rio, um dia ainda iremos visitar o Klaus. Agradeço também ao inesquecível grupo de bio de campo por proporcionar tantos momentos bons, incluindo o pôr do sol do rei leão e momento gases. Agradeço a **Ddza** por toda a parceria nas disciplinas, no laboratório e nos meus dilemas de vida. Agradeço a **Cath** por todas as conversas profundas, por ser minha maior companheira de viagens durante a graduação e por entender e compartilhar os dias de tpm. E por fim agradeço a minha xará **Vanessa**. Obrigada por ser essa pessoa divertida e amorosa, por alegrar os meus dias e por todo o carinho e companheirismo.

Agradeço ao meu irmão **Alef** por toda a ajuda com dúvidas de informática, pelo amor, carinho e por todos os animes que me obrigou a assistir.

Não poderia deixar de agradecer também a outras pessoas marcantes como a **Angela** a qual agradeço profundamente toda a amizade desde o nosso tempo do fundamental e cenescistas (só quem viveu sabe), obrigada pelos comes e bebes, pelos malocas e por tantas as outras coisas vividas. Agradeço a **Amanda** por nunca desistir da minha amizade desde a Zootecnia, mesmo que eu passe mil anos para responder no WhatsApp, minha consideração e admiração por você é gigante, espero que um dia a gente faça mais viagens inesquecíveis que nem foi SP. Agradeço ao **Jeff** por ter sido meu companheiro de início da graduação, todos os nossos momentos ficarão guardados com muito carinho. Agradeço ao **João Victor** por ser essa pessoa tão incrível e um dos melhores amigos que tive a sorte de ter.

Agradeço também às pessoas que fizeram parte dos meus primeiros anos na Universidade, como o **Robson** e todos os outros integrantes do Laboratório de Anatomia Vegetal. Agradeço aos professores **Arlete**, **João Luiz** e **Ítalo**. Agradeço a minhas ex-companheiras de monitoria **Karol** e **Jéssica** e a todos os outros ICs em especial a **Lucy**.

Agradeço a todos os professores que me inspiraram durante as disciplinas, a todas as minhas orientadoras, ao seu **Valdenor** e seu **Chiquim** pelas ótimas conversas e excelente trabalho prestado aos blocos 909 e 904. Agradeço a Universidade Federal do Ceará e Departamento de Biologia, por me proporcionarem tantas experiências e oportunidades. Agradeço também ao RU e as cantinas (**Diniz**, **Samia** e **Química**) que me alimentaram. Agradeço ao MEC pela bolsa concedida. E por fim agradeço a todos que fizeram parte dessa minha caminhada na graduação mesmo não estando aqui citados.

“E enquanto este planeta continua a girar na sua órbita, obedecendo à imutável *Lei da Gravidade*, as formas mais belas e admiráveis, originárias de um início tão simples, continuam a seguir esse desenvolvimento.”

Charles Darwin

RESUMO

O domínio da Caatinga possui um rico e pouco estudado microbioma do solo, que só agora começa a ser desvendado com abordagens metagenômicas. Apesar desse avanço, existe uma lacuna acerca da diversidade fúngica do solo de núcleos de desertificação do semiárido e do seu potencial para recuperação tecnológica de áreas degradadas. Nesse contexto, este estudo teve por objetivo isolar e avaliar o potencial de fungos de solos da Caatinga a fim de selecionar estirpes promissoras para o desenvolvimento de inoculantes que possam ser usados para mitigar os efeitos da desertificação. Para isso, foram realizadas coletas de solos em três paisagens diferentes no núcleo de desertificação de Irauçuba, Ceará. Foram amostradas duas áreas de pastagens, altamente degradadas, duas áreas cercadas há 18 anos, em processo de regeneração natural e uma área de vegetação natural. As amostras de solos foram diluídas serialmente (10^{-1} à 10^{-8}) em solução de NaCl 0,15 M e as diluições plaqueadas, em triplicatas, em placas de Ágar Batata e estocadas à temperatura ambiente. Diariamente as placas foram inspecionadas e após o crescimento das colônias, as características dos morfotipos foram capturadas em lupa. Ao todo foram selecionados 22 morfotipos que encontram-se conservados em culturas puras em água destilada a 4 °C. Os morfotipos foram avaliados quanto ao potencial para solubilizar fosfato e produzir sideróforos, atividades importantes para a fertilidade das plantas. A identificação molecular dos isolados foi realizada através do sequenciamento da região intergênica ITS1 e ITS4 pelo método de Sanger. As sequências obtidas foram tratadas no programa Geneious R10 e os gêneros e espécies identificadas por meio de comparações com sequências de referências depositadas em bancos públicos. Dos vinte e dois morfotipos analisados, 33% apresentaram atividade de solubilização de fosfato e 64% produção de sideróforos. Dentre os isolados, seis se destacaram, sendo quatro deles provenientes das áreas de recuperação natural e dois da área de vegetação natural. Com base nos critérios, solubilização de fosfato e produção de sideróforos, três isolados foram selecionados como os mais promissores. Nenhum isolado das áreas desertificadas foi selecionado com base nesses critérios. Os três isolados foram identificados como *Aspergillus* spp. Os resultados deste estudo representam o primeiro passo para a descoberta de novas estirpes de fungos adaptadas às condições do semiárido e potenciais candidatos à inoculantes para acelerar a recuperação de solos degradados.

Palavras-chave: Bioinoculantes; Microbioma; Semiárido; Pousio; Impacto ambiental.

ABSTRACT

The Caatinga domain has a rich and poorly studied soil microbiome, which is only now beginning to be unveiled with metagenomic approaches. Despite this advance, there is a gap about the knowledge of fungal diversity of the soil in desertification nuclei in the semiarid region and its potential for technological recovery of degraded areas. In this context, this study aimed to isolate and evaluate the potential of fungi from Caatinga soils in order to select promising strains for the development of inoculants that can be used to mitigate the effects of desertification. For this, soil collections were carried out in three different landscapes in the desertification nucleus of Irauçuba, Ceará. Two highly degraded pasture areas, two areas surrounded for 18 years, in the process of natural regeneration and an area of natural vegetation were sampled. The soil samples were diluted serially (10^{-1} to 10^{-8}) in 0.15 M NaCl solution and the dilutions were plated in triplicates, in Potato Agar plates and stored at room temperature. The plates were daily inspected and after the colonies had grown, the characteristics of the morphotypes were captured using a magnifying glass. As a result, 22 morphotypes were selected and preserved as pure cultures in distilled water at 4 °C. The morphotypes were evaluated for their potential in phosphate solubilization and siderophores production, important activities for plant fertility. The molecular identification of the isolates was performed by sequencing the intergenic region ITS1 and ITS4 by the Sanger method. The obtained sequences were treated in the Geneious R10 program and the genera and species identified through comparisons with reference sequences deposited in public banks. Of twenty-two morphotypes analyzed, 33% showed phosphate solubilization activity and 64% siderophores production. Among the isolates, six stood out with four of them coming from the natural recovery areas and two from the natural vegetation area. Based on the criteria of good phosphate solubilization and siderophores production, three isolates were selected as the most promising. No isolates from desertified areas were selected based on these criteria. The three isolates were identified as *Aspergillus* spp. The results of this study represent the first step towards the discovery of new fungi strains adapted to the semiarid conditions and potential candidates for inoculants able to accelerate the recovery of degraded soils.

Keywords: Bioinoculants; Microbiome; Semiarid; Fallow; Environmental impact.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1 – Localização da Área Suscetível à Desertificação no Brasil	19
Figura 2 – Núcleos de desertificação no Estado do Ceará	20
Figura 3 – Localização das áreas de Exclusão de Pastagem (Grazing Exclusion), Sobrepastagem (Overgrazing) e Vegetação Natural (Natural Vegetation) na fazenda Aroeira no município de Irauçuba-CE	27
Figura 4 – Caracterização das áreas de Vegetação Natural, Sobrepastagem e Exclusão de Pastagem da fazenda Aroeira no município de Irauçuba-CE	28
Figura 5 – Fungos isolados de solos de áreas em processo de desertificação no Núcleo de Desertificação de Irauçuba, Ceará. (coleção DIRA)	32
Figura 6 – Fungos isolados de áreas há 18 anos em regime de pousio no Núcleo de desertificação de Irauçuba, Ceará. (coleção EIRA)	33
Figura 7 – Fungos isolados da área de vegetação natural de Caatinga no Núcleo de Desertificação de Irauçuba, Ceará. (coleção NIRA)	33
Figura 8 – Leitura do teste de solubilização de fosfato de cálcio por fungos crescidos em meio sólido em placa. Exemplar positivo (EIRA-03), mostrando zona de solubilização ao redor do micélio (A), e exemplar negativo (DIRA-03), ausência de solubilização ao redor do micélio (B)	35
Figura 9 – Exemplos de resultado positivo para produção de sideróforos (DIRA-07), halo vermelho ao redor do poço contendo o sobrenadante da cultura do fungo, e resultado negativo (NIRA-01), ausência de halo	37
Figura 10 – Atividades de solubilização de fosfato e produção de sideróforos detectadas em estirpes de fungos isoladas de solos da Caatinga da área suscetível à desertificação de Irauçuba, Ceará	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala de suscetibilidade à desertificação de acordo com clima e Índice de Aridez (IA)	17
Tabela 2 – Identificação molecular dos isolados	34
Tabela 3 – Solubilização de fosfato de cálcio por estirpes de fungos isoladas de solos da Caatinga na Área Suscetível à Desertificação (ASD) de Irauçuba, Ceará	36
Tabela 4 – Atividade de produção de sideróforos por estirpes de fungos isoladas de solos da Caatinga na Área Suscetível à Desertificação (ASD) de Irauçuba, Ceará	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Desertificação.....	16
2.2 Domínio fitogeográfico da caatinga	17
2.3 Núcleos de desertificação no Brasil	18
2.4 Desertificação em Irauçuba.....	21
2.5 Formas de mitigação.....	22
2.6 Desertificação e o microbioma do solo.....	24
3. OBJETIVOS	26
3.1 Gerais	26
3.2 Específicos	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1 Amostragem e coleta de solos.....	27
4.2 Isolamento e estocagem.....	28
4.3 Teste de Solubilização de Fosfato	29
4.4 Teste de Produção de Sideróforos	29
4.5 Identificação Molecular	30
5. RESULTADOS.....	32
5.1 Isolamento e Caracterização	32
5.2 Identificação Molecular	33
5.3 Solubilização de Fosfato.....	34
5.4 Produção de Sideróforos	36
5.5 Seleção de Isolados de Interesse	38
6. DISCUSSÃO	40
7. CONCLUSÃO	44

1. INTRODUÇÃO

O domínio Caatinga é atualmente um dos mais ameaçados pela ação antrópica, destacando-se a exploração agropecuária, desmatamento e fragmentação da sua mata nativa (ANTONGIOVANNI et al., 2018). Por conta disso, vem sofrendo um acelerado processo de desertificação, o que põe em risco sua biodiversidade.

A desertificação é entendida como o processo de degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, causada, entre outros fatores, por atividades humanas e variações climáticas (BRASIL, 2004). Essas áreas são consideradas pela UNCCD (Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação), como Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) (BRASIL, 1998).

No Brasil, a maior parte das ASD se encontram no Nordeste (CGEE, 2016). O Estado do Ceará tem 100% do seu território susceptível à desertificação, destacando 3 núcleos de maior gravidade: Irauçuba, Inhamuns e Médio Jaguaribe (CGEE, 2016). No estado, em especial no núcleo de Irauçuba, a principal causa de degradação do solo é o intenso uso agropastoril e entre os impactos relacionados a essas atividades se destacam a perda da biodiversidade (flora e fauna), a diminuição da matéria orgânica, a perda de solos por erosão e a diminuição da disponibilidade de recursos hídricos (OLIVEIRA & SALES, 2015). Outro forte impacto da desertificação é a alteração da biomassa e diversidade microbiana, ocasionando diversos impactos nos ciclos biogeoquímicos, que são diretamente dependentes desses organismos (MARTINS et al., 2010).

Assim, algumas técnicas, como a exclusão de pastagens (EP), também chamada de pousio, que visam a recuperação de áreas desertificadas, vem sendo adotada em Irauçuba (CGEE, 2016; Filho et al., 2019). O pousio consiste em cercar a terra para evitar a interferência humana e de animais, fazendo com que a própria dinâmica ecológica do ambiente se encarregue da sua restauração. No entanto, embora eficaz, a recuperação natural se mostra lenta, sendo necessários longos períodos de tempo para que resultados significativos possam ser observados (ZHAO et al., 2005).

Nessa perspectiva, outras formas de intervenção mais diretas, como a utilização de inoculantes microbianos que possam enriquecer o sistema mais rapidamente, vêm sendo amplamente estudadas. Grande parte dos estudos, faz uso das bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), que possuem características, tais como, solubilização de fosfato, produção de sideróforos e fito-hormônios, dentre outros, que possibilitam uma melhoria da qualidade do solo, facilitando o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação no local

(CATTELAN, 1999). Vários trabalhos também fazem a utilização de fungos para a promoção de crescimento vegetal (SANTOS et al., 2008; NODA, 2009; SCABORA et al., 2011), sendo os fungos micorrízicos os mais utilizados por se associarem intimamente as raízes das plantas (AL-KARAKI, 2013). Em contrapartida, o estudo com fungos não micorrízicos, para fins de restauração ambiental, permanece a ser explorado.

A Caatinga apresenta um grande potencial para prospecção biotecnológica, uma vez que sua microbiota adaptada a esse ambiente significativamente heterogêneo, se expõe a condições extremas, incluindo altas temperaturas, radiação solar, acidez e baixa disponibilidade de água, sendo selecionada ao longo da evolução para lidar com os estresses ambientais, apresentando assim uma maquinaria enzimática com grande potencial de aplicação industrial (ANTRANIKIAN et al., 2005). Mesmo com essa grande habilidade de adaptação, os microrganismos são sensíveis a mudanças drásticas nas condições do ambiente, sendo estes também utilizados no monitoramento e avaliação da saúde do solo, servindo assim como bioindicadores (AVIDANO et al, 2005).

Mesmo com essa importância, as comunidades microbianas da Caatinga permanecem pouco estudadas, sendo ainda incerto a gravidade dos efeitos da desertificação nos microrganismos dessas áreas e seus potenciais para aplicações biotecnológicas. Assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar isolados fúngicos de solos do núcleo suscetível à desertificação no município de Irauçuba, visando a seleção de fungos nativos que apresentem potencial para serem usados como inoculantes para recuperação do solo dessas áreas degradadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desertificação

O Artigo 1 da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD), define desertificação como sendo, a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e atividades humanas (BRASIL, 1998). Dessa forma, podemos entender a desertificação como um processo ou um conjunto de fenômenos que levam uma determinada área a se transformar ou se assemelhar a um deserto (CONTI, 2009). No entanto, o conceito de desertificação e deserto não são similares, uma vez que os desertos são ambientes essencialmente áridos, onde a evaporação potencial gera um grande superávit em relação à precipitação anual, fazendo com que esses ambientes possuam uma inerente carência de água e baixo desenvolvimento da biosfera (CEARÁ, 2010). Em contrapartida, a desertificação é um processo secundário e dinâmico de alteração de ambientes suscetíveis, fazendo com que esses ambientes sofram perdas consideráveis em sua biota e morfologia, se aproximando caracteristicamente de desertos naturais. No Brasil, o processo de desertificação vem sendo discutido de forma mundial desde a década de 1970 (AB'SABER, 1977).

Para Kansas (1995), a degradação de terras áridas está relacionada a uma combinação entre a exploração humana excessiva, que ultrapassa a capacidade natural de suporte dos recursos terrestres do sistema, e a fragilidade ecológica inerente do sistema. Como maneira de medir essa suscetibilidade, foi instaurado como parâmetro mundial o Índice de Aridez (IA), que consiste no quociente entre a quantidade de precipitação média anual (P) e a perda máxima possível de água por meio da evapotranspiração potencial total anual (ETP) (UNEP, 1992). A UNCCD considera suscetíveis as zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, com exceção das zonas polares e subpolares, que possuem Índice de Aridez (IA) entre 0,05 e 0,65 (BRASIL, 1998).

Tabela 1 – Escala de suscetibilidade à desertificação de acordo com clima e Índice de Aridez (IA).

Clima	Índice de Aridez (IA)	Suscetibilidade à desertificação
Árido	0,05 - 0,20	Muito Alta
Semiárido	0,21 - 0,50	Alta
Subúmido Seco	0,51 - 0,65	Moderada

Fonte: Ceará, 2010 e MMA, 2004.

No geral, as zonas suscetíveis à desertificação ocupam cerca de 41% da superfície da Terra, e destas 20% se encontram degradadas (ADEEL et al., 2005). Essas regiões além de abrigarem uma imensa biodiversidade, que está sendo perdida, abrigam também milhões de pessoas que dependem de um ambiente íntegro para garantir sua subsistência. Com isso, as atuais consequências da desertificação vão além dos graves problemas ambientais. De acordo com a UNCCD (2004), à desertificação estão atrelados também diversos problemas sociais, tais como redução da produção de alimentos, aumento da fome da população, aumento no custo social, declínio na quantidade e qualidade de água, aumento da pobreza e instabilidade política.

2.2 Domínio fitogeográfico da caatinga

A Caatinga é um domínio fitogeográfico estritamente brasileiro, que ocupa atualmente cerca de 734.478 km², sendo apenas 1% desse território protegido por unidades de conservação integral (MMA, 2007). Esse fato é preocupante, já que a Caatinga é um domínio brasileiro rico em endemismos, com uma diversidade ainda pouco estudada de fauna, flora e outros organismos quando comparadas as florestas tropicais e até mesmo o Cerrado.

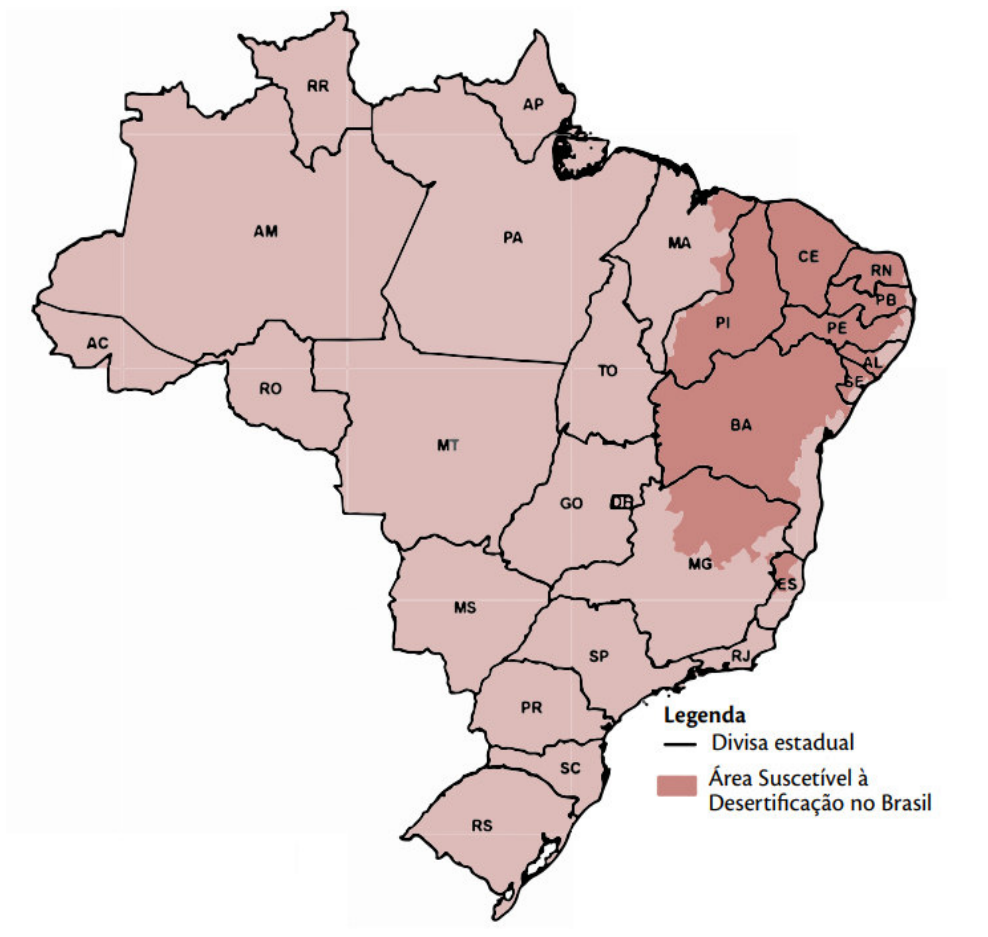
A vegetação predominante nesse domínio é vegetação tropical semiárida, do tipo xerófila e hiperxerófila, sendo essas fortemente adaptadas as condições climáticas do semiárido brasileiro (SILVA et al, 2004). Nas últimas décadas a Caatinga vem sofrendo um acelerado processo de degradação devido a intensa atividade antrópica. Estudos recentes mostram a grande fragmentação atual da vegetação nativa de Caatinga (ANTONGIOVANNI et al., 2018; JESUS et al., 2019). Estima-se que a Caatinga se encontra atualmente subdividida em 47.100 fragmentos, sendo 91% destes menores do que 500 ha (ANTONGIOVANNI et al., 2018).

A crescente degradação da Caatinga, aliada a algumas características ecológicas do semiárido, tais como recursos hídricos limitados e fortemente influenciados pela sazonalidade e uma baixa cobertura vegetal com variação sazonal considerável, conferem uma baixa proteção à erosão desses ambientes aumentando ainda mais sua suscetibilidade à desertificação (KANSAS, 1992). Dessa forma, toda a extensão de Caatinga se encontra dentro da delimitação de ASD com grande parte do seu território estando antropizado (MMA, 2007).

2.3 Núcleos de desertificação no Brasil

No Brasil, os estados contidos na zona suscetível à desertificação são Alagoas, Bahia, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe, Ceará, parte do Espírito Santo e Minas Gerais (Figura 1). Com isso, se percebe que as zonas mais suscetíveis a desertificação se encontram, majoritariamente, nas regiões de semiárido localizadas no Nordeste do país, devido às suas características climáticas próprias, como forte insolação, altas temperaturas, regime de chuvas marcado pela escassez e irregularidade na concentração das precipitações anuais (ANGELOTTI et al., 2009). A maior parte do território do semiárido brasileiro é constituída de Caatinga, o único bioma exclusivamente brasileiro, rico em biodiversidade e fortemente ameaçado pela ação antrópica. Estima-se que 181.000 km², o que corresponde a aproximadamente 20 % da área semiárida da região Nordeste, se encontram em processo de desertificação (EMBRAPA 2011; CGEE 2016).

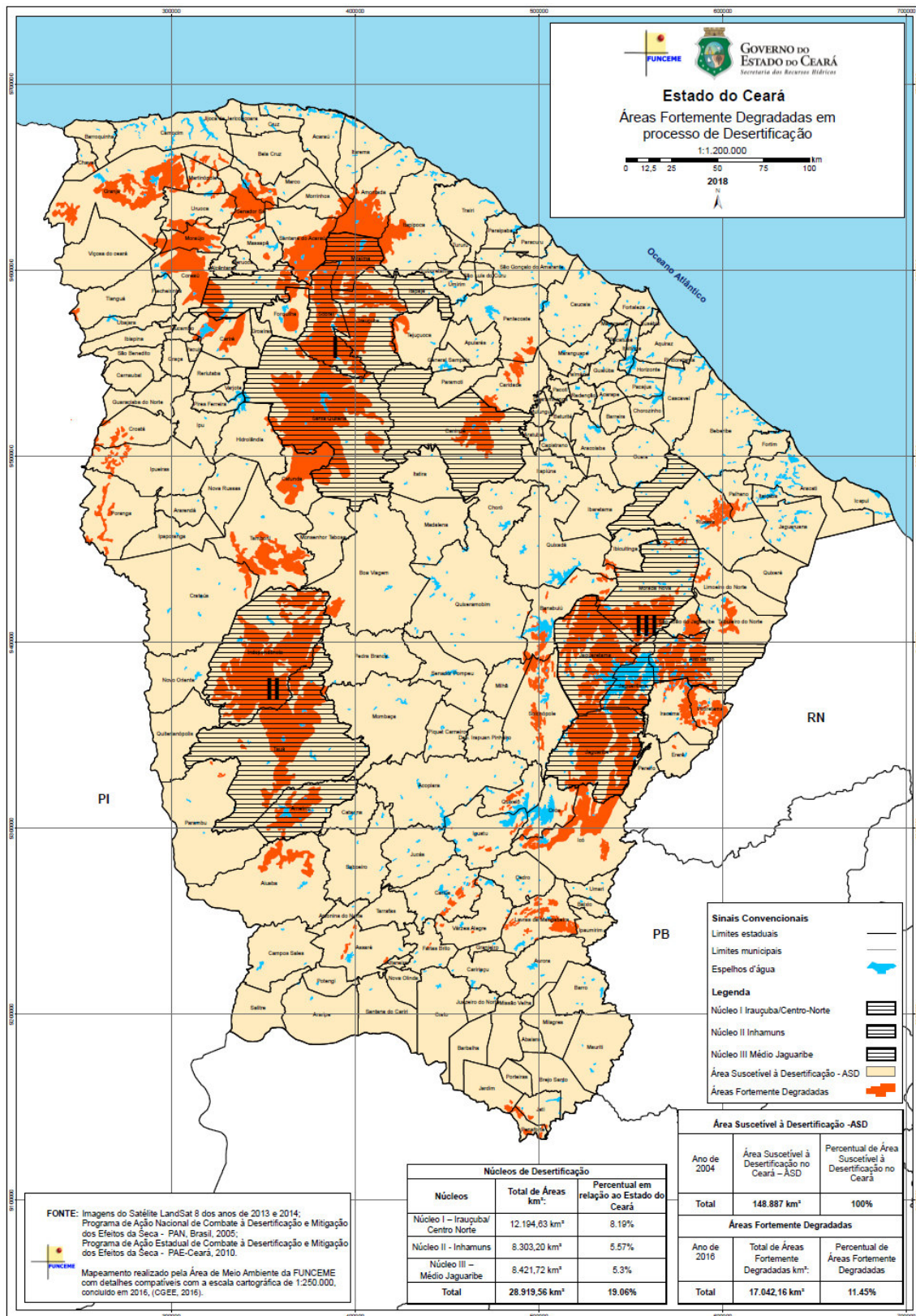
Figura 1 – Localização da Área Suscetível à Desertificação no Brasil.



Fonte: CGEE (2016). Elaborado por Funceme e CGEE, com informações do IBGE, 2007 e do PANBrasil, MMA, 2005.

Entre os estados citados anteriormente, o Ceará é único que possui 100% do seu território suscetível à desertificação e, dentro dessa área suscetível, 11.45%, o equivalente a 17.042,16 km², se caracteriza como área fortemente degradada (FUNCEME, 2016). Por conta disso, em 2010 foi criado o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE – CE), no intuito de colocar em prática estratégias que minimizem de forma integrada os efeitos da desertificação no estado (CEARÁ, 2010). No Ceará, estão contidos os três núcleos de desertificação em níveis mais graves de ocorrência no país, sendo estes: I – Irauçuba/ Centro-Norte, que abrange os municípios de Canindé, Irauçuba, Miraíma, Santa Quitéria e Sobral; II – Inhamuns, que comporta os municípios de Arneiroz, Independência e Tauá; e III – Médio Jaguaribe, que abriga os municípios de Jaguaratama, Jaguaribe, Alto Santo e Morada Nova (Figura 2) (CGEE, 2016). Dentre estes, o núcleo de desertificação de Irauçuba se enquadra como o mais crítico (BRASIL, 2004).

Figura 2 – Núcleos de desertificação no Estado do Ceará.



Fonte: Ceará (2016).

2.4 Desertificação em Irauçuba

A região de Irauçuba é marcada por grandes períodos de estiagem, possuindo um dos mais baixos índices pluviométricos do estado do Ceará, com média histórica de aproximadamente 540,0 mm, sendo que nos anos de seca, alcança somente 30 a 40% dessa média (FUNCEME; FILHO & SILVA, 2015). Seu clima é considerado como Tropical Quente Semiárido, possuindo uma média anual de temperaturas entre 26 e 28 °C e sua vegetação é classificada como Caatinga Arbustiva Aberta (IPECE, 2017). Devido a tais características essa região possui uma vulnerabilidade inerente a práticas excessivas de uso do solo, o que comumente é observado na região, já que, frequentemente, aliada a prática de sobrepastejo, temos também o intenso desmatamento da região para fins agropastoris. Segundo Sousa et al., (2009), o desmatamento é usado como ferramenta para aumentar a produção das forrageiras e para formação de novas pastagens, que são usadas em condições de sobrepastejo e pastejo contínuo, o que, aliado às condições de solo e clima locais, não permitem o desenvolvimento de uma densa vegetação de porte arbóreo.

Dessa forma, o sobrepastejo, se caracteriza, atualmente, como uma das principais causas de erosão do solo de Irauçuba (OLIVEIRA & SALES, 2015). Outros autores também apontam o sobrepastejo, juntamente com o desmatamento, como sendo a principal causa do processo de desertificação de diversas regiões (WALI et al., 1999; MANZANO, 2000; Li et al., 2000; ZHAO et al., 2007). A prática de sobrepastejo ainda se torna mais intensificada pela sobreposição de culturas, frequentemente praticada na região, onde animais como caprinos e ovinos são criados em pastagens já exploradas por bovinos, sem que haja um devido tempo de recuperação da terra. No entanto, essa prática é extremamente prejudicial ao solo, tendo como principais consequências a remoção da vegetação superficial, utilizada como forragem pelos animais e compactação do solo por conta da superlotação (FILHO & SILVA, 2015). Como resultado temos uma grande extensão de áreas extremamente degradadas na região.

A simulação realizada por Cunha et. al (2013), substituindo a vegetação de Caatinga natural por Caatinga de agropecuária e posteriormente por Caatinga degradada, mostrou que a degradação da Caatinga, pode causar modificações nos processos de superfície na região, como alteração dos balanços de água, de energia e de carbono. Essas mudanças na região semiárida do Nordeste Brasileiro, podem também promover alterações no clima local e de regiões vizinhas. No estudo, as principais mudanças observadas foram o aumento da sazonalidade e redução da evapotranspiração na Caatinga degradada, mostrando que esses processos de retirada de vegetação e utilização extensiva do solo, podem ocasionar mudanças drásticas no

clima da região. Dessa forma, vemos que os impactos ambientais provocados pela desertificação são diversos, e podem ser observados por meio da destruição da biodiversidade, da diminuição da disponibilidade de recursos hídricos, do assoreamento de rios e reservatórios e da perda da qualidade dos solos (ANGELOTTI, 2009; MONTEIRO et al., 2019). Como resultado, temos um custo alto de recuperação dessas áreas agrícolas e um custo biológico incalculável por conta da extinção de espécies nativas, muitas com alto valor ambiental e econômico, além de importâncias farmacêuticas e biotecnológicas.

Em 2009, foi sancionada a Lei Nº 645/2009 que instituiu a Política Municipal de Combate e Prevenção à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca de Irauçuba, sendo lançado o Plano de Ação Municipal de Combate à Desertificação de Irauçuba (PAM-IRAUCUBA-CE), que foi construído conforme os objetivos e significado de “combate à desertificação” estabelecidos pela Convenção Internacional de Combate à Desertificação nos Países afetados por Seca Grave e/ou Desertificação, Particularmente na África (CEARÁ, 2009). Segundo a convenção, entende-se por "combate à desertificação" as atividades que fazem parte do aproveitamento integrado da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, com vistas ao seu desenvolvimento sustentável, e que têm por objetivo: I) A prevenção e/ou redução da degradação das terras; II) A reabilitação de terras parcialmente degradadas; III) A recuperação de terras degradadas.

2.5 Formas de mitigação

Devido a gravidade da situação que se encontram as áreas desertificadas e em processo de desertificação no Brasil e no mundo, foram desenvolvidas algumas estratégias, que visam promover a recuperação desses ambientes degradados. Entre as técnicas de recuperação de solo e vegetação, vemos com maior frequência o emprego da Exclusão de Pastagens (EP), também chamada de pousio. Pesquisas na região de Irauçuba-CE mostraram que a exclusão de animais domésticos em áreas afetadas pela desertificação, apresenta bons resultados no que diz respeito à regeneração da vegetação e melhoria de atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SALES & OLIVEIRA, 2015; FILHO et al., 2019). No entanto, por não haver nenhuma intervenção além da remoção dos animais e isolamento da área, a recuperação fica muito dependente também das condições climáticas do local e da disponibilidade de propágulos das plantas nativas para recolonização dos locais afetados. Para Sales (2002), a principal limitação para que as áreas de EP em Irauçuba promovam a melhoria do uso da terra, é a condição climática, estando atrelada a maioria dos municípios da região do interior do Ceará. Dessa

forma, existe uma redução significativa da capacidade de recuperação dessas terras, devido à variabilidade climática natural (UNCCD, 2004).

Outra problemática referente à metodologia de EP, é o seu tempo de efeito. Nos diversos trabalhos executados utilizando essa técnica como forma de mitigação, foi observada que a restauração é diretamente influenciada pelo tempo de exclusão, constatando assim que, a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, bem como o aumento da vegetação, é diretamente proporcional ao tempo de exclusão. (HIERNAUX et al., 1999; SU et al., 2004; YONG-ZHONG et al., 2005; LI et al., 2006; PEI et al., 2007; SHRESTHA & STAHL, 2008;). Em estudos na região de exclusão e sobrepastejo no município de Irauçuba, Sousa (2009) identificou algumas melhorias na qualidade do solo com sete anos de exclusão, no entanto, tais melhorias não foram grandes o suficiente para promover a recuperação desses solos. Tal fato, reforça a ideia de que embora eficaz, a EP se mostra pouco eficiente quando levamos em consideração o tempo necessário para que ocorra essa recuperação, sendo necessário mais de 20 anos para que comecem a ser observados resultados significativos (VALONE & SAUTER, 2005; PEI et al., 2007; ZHAO et al., 2007).

Além da EP, outras formas de mitigação, que utilizam o manejo mais direto do solo, também já estão sendo empregadas. Segundo a Embrapa Semiárido (ANGELOTTI et al., 2011), temos também como outras formas de mitigação, a utilização de coquetéis vegetais, manejo animal mais adequado, integração lavoura pecuária-floresta, manejo florestal, manejo do solo e sistemas de produção orgânica. Nesse contexto podemos citar também algumas formas paliativas de condicionamento desse solo, sendo estas a utilização de fertilizantes sintéticos e adubos orgânicos (SAMPAIO et al., 2005). Atualmente, cada vez mais estão surgindo novos trabalhos utilizando microrganismos isolados como instrumento para a produção de Inoculantes Biológicos. Esses Inoculantes Biológicos ou Bioinoculantes de microrganismos, são produtos compostos por microrganismos imobilizados em substâncias biodegradáveis, e que, quando aplicados no solo, melhoram sua fertilidade e produtividade, sendo esta uma alternativa mais sustentável, uma vez que causam consideravelmente menos impactos, quando comparados a condicionantes e fertilizantes sintéticos (VENN et al., 1997, SCHOEBITZ et al., 2013).

Vários trabalhos relatam a utilização de bactérias para esse fim. Essas bactérias são chamadas de Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV), devido ao fato de possuírem vários mecanismos que auxiliam o desenvolvimento de plantas associadas, tais como solubilização de fosfato, fixação de nitrogênio, produção de sideróforos, amônio, vitaminas e

fito hormônios (auxinas, citocininas, giberelinas) (SARAVANAN et al., 2007; LIN et al., 2012; SANTI et al., 2013; PEREIRA et al., 2013).

2.6 Desertificação e o microbioma do solo

Já se sabe que entre as consequências da desertificação temos a perda de biodiversidade. Os efeitos na fauna e na flora são perceptíveis, uma vez que em alguns anos conseguimos contabilizar, apenas por observação, o declínio no número de indivíduos de determinada espécie. Por outro lado, os microrganismos também são extremamente afetados com a degradação desses ambientes, embora seja mais difícil monitorar e avaliar os declínios nessas comunidades, já que esses organismos não podem ser visualizados a olho nu. Diversos estudos mostram que a degradação por excesso de exploração humana, diminui a biomassa microbiana, diminuindo, conseqüentemente, a atividade biológica do solo (NUNES et al., 2012; FU et al., 2012; FTERICH et al., 2012; SILVA et al., 2012), sendo resultados similares encontrados também na região nordeste (MARTINS et al., 2010; LUNA et al., 2019).

Os microrganismos exercem no solo papéis essenciais para manutenção de diversos processos ecológicos. Entre esses processos, se destaca a ciclagem de nutrientes e decomposição de matéria orgânica, que proporcionam a fertilidade do solo, permitindo um bom desenvolvimento da vegetação ali presente (MOHAMMADI et al., 2011). Sendo assim, esses papéis desempenhados pelas comunidades microbianas são de suma importância para a promoção do equilíbrio e desenvolvimento dos ecossistemas, e sem eles estes ficariam comprometidos.

Entre os principais microrganismos de destaque para prospecção de compostos microbianos, temos os fungos, que são organismos de extrema importância ecológica e que a muitos anos exercem importantes papéis biotecnológicos, devido ao seu alto poder metabólico, sendo utilizados na indústria para fins ambientais, agrônômicos, alimentares e farmacêuticos (KALSOOM et al., 2020). Diversos trabalhos também fazem a utilização de fungos em processos de restauração de áreas degradadas e crescimento vegetal no Brasil (CARNEIRO et al., 2001; SANTOS et al., 2008; NODA, 2009; SCABORA et al., 2011). Grande parte dos trabalhos fazem a utilização de fungos micorrízicos, mais especificamente dos endomicorrízicos arbusculares, devido a sua íntima associação com as raízes das plantas e promoção do aumento da capacidade de absorção de nutrientes por parte das mesmas (ABBOTT & ROBSON, 1982; HERRERA & SALAMANCA, 1993; SAITO & MARUMOTO,

2002; KOZIOL & BEVER, 2016). Estudos utilizando fungos não micorrízicos como inoculantes visando a promoção de crescimento ainda se encontram restritos.

As espécies mais citadas em trabalhos sobre diversidade de fungos edáficos são *Penicillium* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Trichoderma* spp. e *Verticillium* spp. (DRESCH et al., 2019). Sendo estes também amplamente explorados para fins biotecnológicos.

3. OBJETIVOS

3.1. Gerais

Analisar estirpes de fungos isoladas de solos de três paisagens dentro da Área Suscetível à Desertificação (ASD) do Núcleo de Irauçuba-CE, a fim de selecionar aqueles mais promissores para serem explorados tecnologicamente como bioinoculantes, visando a recuperação de áreas degradadas e em processo de desertificação.

3.2 Específicos

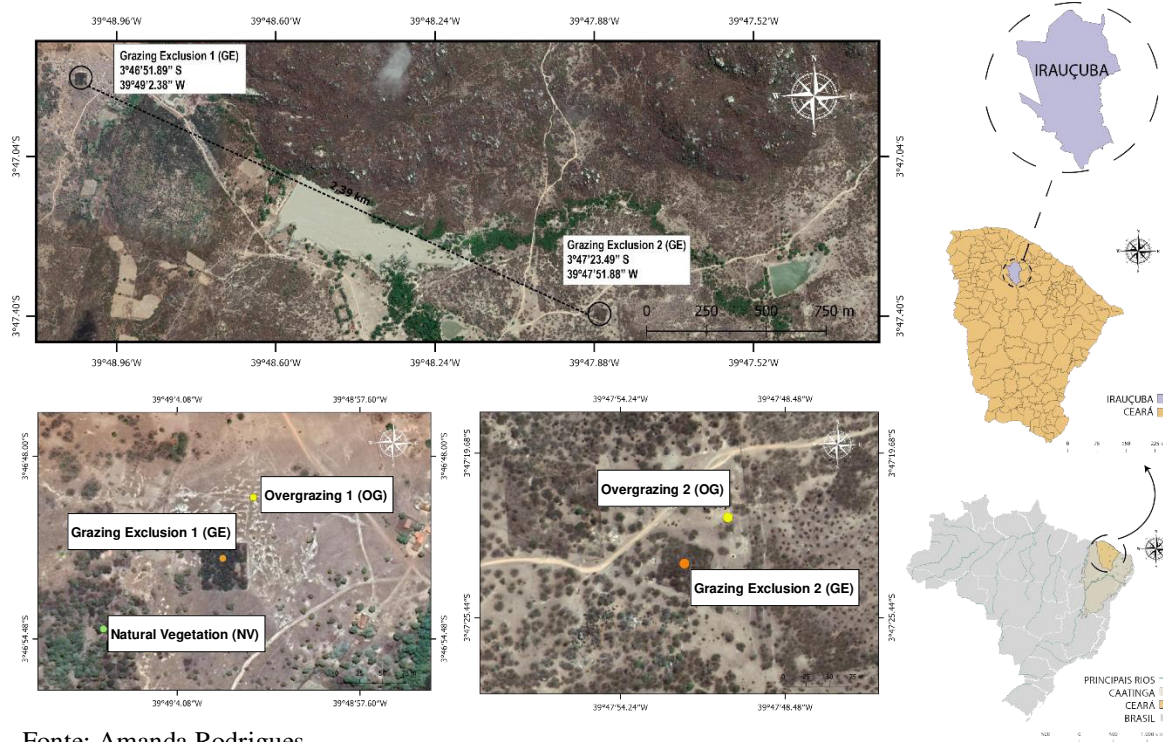
- Avaliar a capacidade de solubilização de fosfato de cálcio das estirpes isoladas;
- Avaliar a capacidade produtora de sideróforos das estirpes isoladas;
- Realizar a identificação molecular dos isolados;
- Selecionar isolados promissores para produção de bioinoculantes.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostragem e coleta de solos

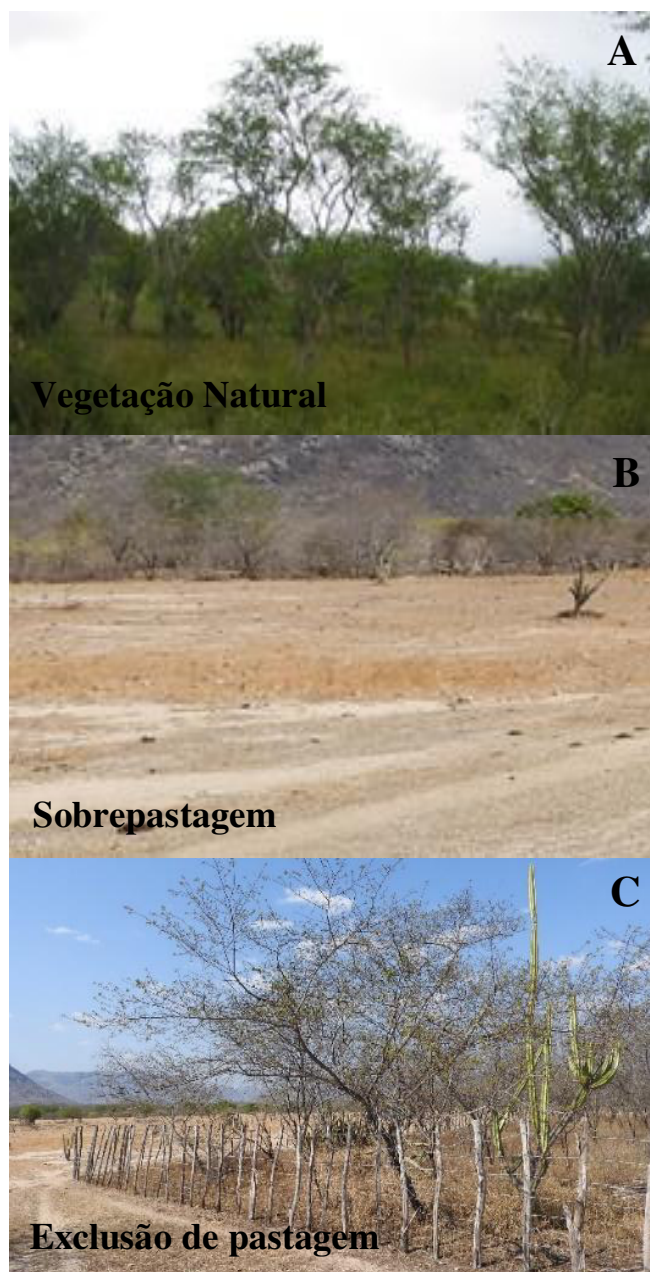
Os solos utilizados neste experimento foram coletados em maio de 2018 em áreas da fazenda Aroeira, localizada na cidade de Irauçuba, Ceará, Brasil (3.7476° S, 39.7827° O), que segundo dados do CGEE, 2016, se enquadra como um dos núcleos de desertificação mais graves do país. As amostras foram coletadas em cinco áreas distintas da fazenda: a) área de mata pouco antropizada, como um exemplar de Caatinga nativa (Figura 3; Figura 4.A); b) duas áreas de pastejo, distantes entre si por aproximadamente 2,4 km, representando uma Caatinga com grau de desertificação avançado (Figura 3; Figura 4.B); c) duas áreas de 0,25 hectares (50 m x 50 m) de recuperação natural, também distantes por aproximadamente 2,4 km, que foram cercadas no ano 2000 (OLIVEIRA & SALES, 2015) (Figura 3; Figura 4.C). Foram selecionados 3 pontos de amostragem em cada área, tendo a coleta sido realizada em triplicata em cada ponto, na camada de 0-20 cm de profundidade. As amostras foram transportadas em caixa térmica até o laboratório, onde foram peneiradas em malha de 2 mm e armazenadas em frascos estéreis em geladeira a 4°C , para realização das análises microbiológicas.

Figura 3 – Localização das áreas de Exclusão de Pastagem (Grazing Exclusion), Sobrepastagem (Overgrazing) e Vegetação Natural (Natural Vegetation) na fazenda Aroeira no município de Irauçuba-CE.



Fonte: Amanda Rodrigues.

Figura 4 – Caracterização das áreas de Vegetação Natural, Sobrepastagem e Exclusão de Pastagem da fazenda Aroeira no município de Irauçuba-CE.



Fonte: Autora.

4.2 Isolamento e estocagem

As amostras de solo foram suspensas em solução de NaCl 0,15 M na proporção de 25 g de solo para 225 ml de salina e homogeneizadas em agitador orbital a 150 rpm por 1 hora. Em seguida, foram preparadas diluições que foram plaqueadas em triplicata, de acordo com a técnica de *spread plate*, em meio Ágar Batata Glicose (BDA) (Kasvi, SP) pH 5,6. As culturas

foram incubadas por 7 dias à temperatura ambiente 28 ± 2 °C e observadas diariamente. Os morfotipos com características culturais distintas foram isolados em culturas puras. Ao todo foram selecionados 11 morfotipos da área desertificada, 7 da área de exclusão e 4 da área natural. Discos de 6 mm de diâmetro de micélio de cada cultura pura foram estocados em água destilada à 4 °C.

4.3 Teste de Solubilização de Fosfato

A identificação de isolados capazes de solubilizar fosfato de cálcio foi realizada de acordo o método de Sylvester-Bradley et al. (1982). Para o ensaio, foi preparado o meio GL (10 g de glicose, 2 g de extrato de levedura e 15 g de ágar para cada litro) com pH 5,6. O meio foi autoclavado a 121 °C por 15 minutos. Após esterilização, foram adicionados 50 mL de uma solução estéril de K_2HPO_4 100 g/L e 100 mL de $CaCl_2$ 100 g/L, levando a formação de um precipitado esbranquiçado ($Ca_3(PO_4)_2$) (SPEROTTO, 2014). Após misturadas as soluções o meio foi distribuído em placas de Petri estéreis. Os isolados, previamente reativados em placas contendo meio BDA, foram inoculados nas placas do meio teste e incubados por 5 dias à temperatura ambiente (28 ± 2 °C). Os fungos capazes de solubilizar fosfato foram identificados observando-se a formação de uma zona de solubilização translúcida ao redor do disco de micélio. Por conta da pandemia de COVID-19 não foi possível realizar a replicação do teste.

Os isolados também foram cultivados em meio líquido, afim de avaliar a capacidade dos mesmo em acidificar o meio. Para isso os discos estoques dos micélios foram inoculados em *erlenmeyers* contendo 25 ml de caldo Sabouraud Dextrose (KASVI, SP), pH 5,6 e cultivados em incubadora à temperatura de 27 °C, durante 5 dias. Após o período de cultivo, foi realizada a medição de pH do meio, através de alíquotas, que foram medidas com fitas medidoras de pH.

4.4 Teste de Produção de Sideróforos

Para verificar a produção de sideróforos, usou-se o protocolo de Sperotto (2014) e Schwyn & Neilands (1987), comumente utilizado com bactérias, adaptado para detecção em fungos. O meio teste padrão é composto por um meio base (ágar King B diluído) adicionado do corante Cromazurol S (CAS) em volume equivalente a 20 % do volume do meio base. Todas as vidrarias utilizadas neste ensaio foram lavadas com uma solução HCl 6 mM para eliminação de quaisquer traços de ferro que possam comprometer a leitura do ensaio. Para a composição

do meio de cultura adaptado, foi utilizado apenas ágar a 15% e água Milli-Q, que é desprovida de íons sendo a mais adequada para esse ensaio. O meio foi autoclavado a 121°C por 15 minutos. Para a preparação de 200 ml do corante CAS foram utilizadas quatro soluções: 15 mL de uma solução de FeCl₃.6H₂O 1 mM + HCl 10 mM; 75 mL de uma solução de azul de Cromazurol (CAS) 2mM; 60 mL de uma solução 10 mM de HDTMA (brometo de hexadecil trimetil amônia) e aproximadamente 50 mL de uma solução tampão PIPES com pH ajustado para 5,6. O corante foi esterilizado em uma membrana de filtração 0,2 µm, e após a esterilização, foi adicionado ao ágar estéril (com a temperatura do meio em torno de 50 °C). A mistura foi vertida em placas de Petri de 150 mm, que permaneceram protegidas da luz até a realização do ensaio.

Os 22 isolados foram reativados através do cultivo em caldo. Para tanto, discos estoques dos micélios foram inoculados em *erlenmeyers* contendo 25 ml de caldo Sabouraud Dextrose (KASVI, SP), pH 5,6. As culturas foram incubadas em agitador orbital a 130 rpm, à temperatura de 27 °C, durante 5 dias. Ao final do período de incubação, alíquotas de 1 mL do sobrenadante foram transferidas para tubos de microcentrífuga de 1,5 ml e centrifugadas durante 5 minutos a 5.000 rpm, para separação das células. Alíquotas de 200 µl dos sobrenadantes das culturas foram inoculadas em poços de 0,9 mm de diâmetro feitos previamente no meio teste, usando a parte mais larga de uma ponteira de 1000 µl estéril como furador. As placas foram cobertas com papel alumínio para evitar fotooxidação e incubadas por 24 h em estufa microbiológica a 37 °C. A detecção de sideróforos foi percebida através da formação de um halo com coloração avermelhada em torno do inóculo. O diâmetro do halo foi medido com um paquímetro. Por conta da pandemia de COVID-19 não foi possível realizar a replicação do teste.

4.5 Identificação Molecular

A extração de DNA genômico dos isolados foi realizada utilizando o método de CTAB 2x (WARNER, 1996). Esse método utiliza Brometo de Cetiltrimetil Amônio (CTAB) para realizar a quebra da parede celular e membrana plasmática, liberando o material genético. Para a realização do experimento, os isolados foram cultivados previamente por 7 dias, em placas contendo meio BDA à temperatura ambiente (28 ± 2 °C). Após o período de incubação, discos (6 mm) do micélio foram colocados em tubos *ependorf* de 1,5 ml e recobertos com 600 µl do tampão de extração CTAB 2X pré-aquecido a 60 °C. A solução foi homogeneizada por inversão e incubada *overnight* em banho-maria a 60 °C. No dia seguinte, foram adicionados

mais 600 µl de clorofórmio-álcool isoamílico 24:1 (v/v), sendo os tubos novamente homogeneizados por inversão até que houvesse a formação de uma emulsão, que foi então centrifugada por 10 minutos a 12.000 rpm. Após a centrifugação, a fase aquosa (superior) foi coletada e transferida para novos tubos. Foram adicionados aproximadamente $\frac{2}{3}$, 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, foram adicionados 500 µl de etanol 70 % gelado, sendo homogeneizado logo em seguida com o auxílio de uma pipeta. Os tubos foram levados à centrífuga por 5 minutos a 12.000 rpm e o sobrenadante descartado. Logo após, os tubos foram deixados abertos em temperatura ambiente por cerca de 10 minutos ou até que todo o etanol evaporasse. Após o etanol ter sido completamente evaporado, o DNA foi novamente suspenso em 30 µl de tampão Tris-HCl contendo RNase. O material extraído, foi quantificado através de espectrofotômetro Nanodrop ND100 (Nanodrop, Wilmington, DE, EUA) e armazenado a -20 °C.

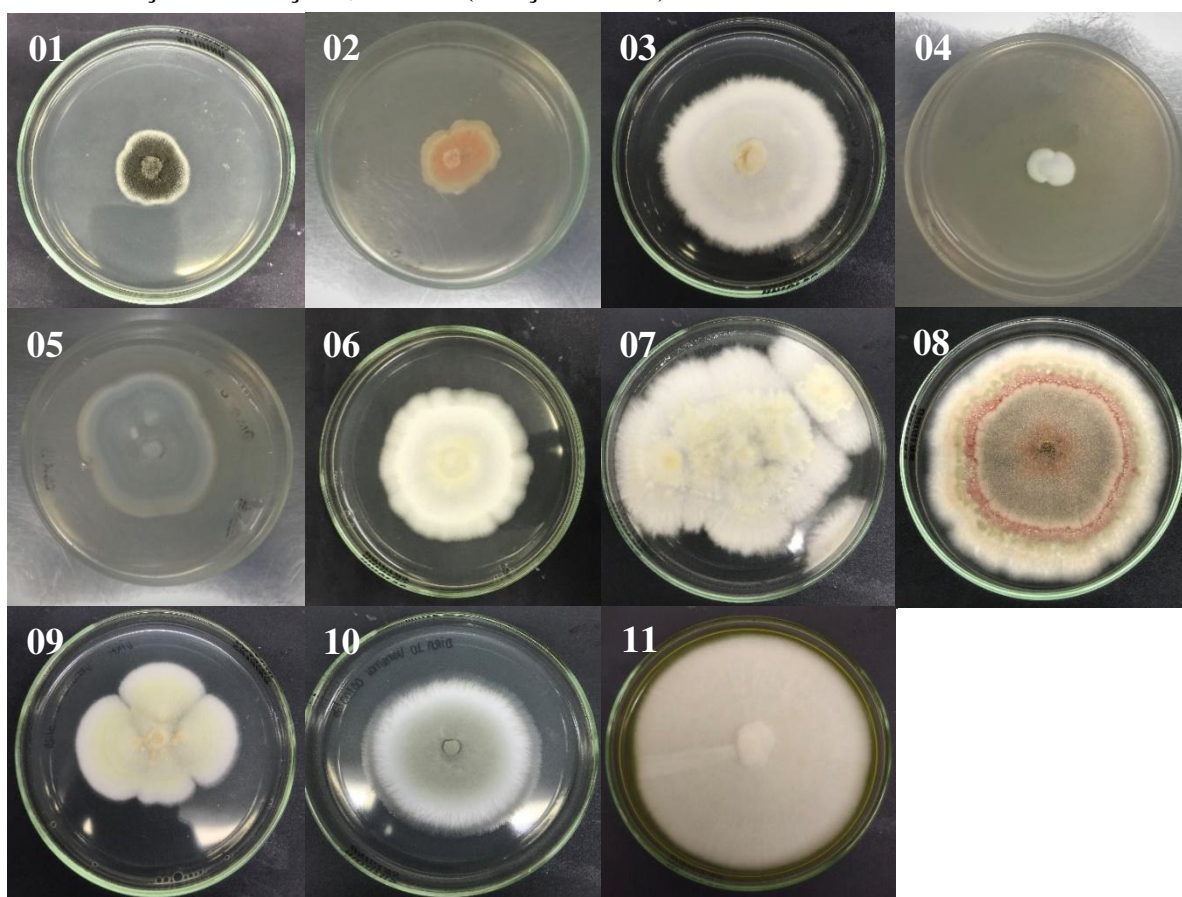
As amostras de DNA genômico foram submetidas a uma PCR (*Polymerase Chain Reaction*) em termociclador Eppendorf Mastercycler 38 (Eppendorf, Hamburgo, Alemanha) utilizando os primers ITS1F (5' - TTCCGTAGGTGAACCTGCGG - 3') e ITS4R (5' - TCCTCCGCTTATTGATATGC - 3'). Os produtos gerados foram quantificados em NanoDrop e submetidos a uma eletroforese em gel de agarose 0,8 % para determinação da integridade dos fragmentos. O material amplificado foi enviado para a empresa Macrogen (www.macrogen.com), que realizou o sequenciamento dos fragmentos através do método de Sanger. As sequências recebidas foram tratadas no programa Geneious R10 versão 10.2 (www.geneious.com), gerando um megablast para alinhamento das sequências e determinação da identidade dos isolados.

5. RESULTADOS

5.1. Isolamento e Caracterização

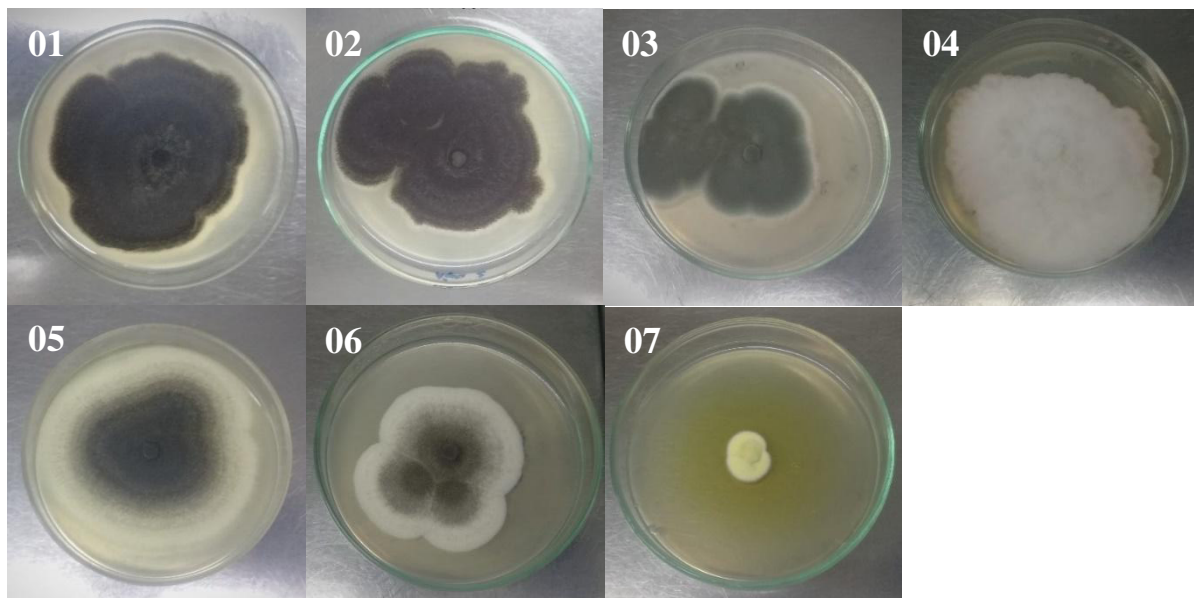
Ao todo foram isolados 22 morfotipos fúngicos a partir de solos dos 5 locais de coleta. Desses, 11 foram provenientes das áreas de sobrepastagem, coleção DIRA (Desertificação Irauçuba) (Figura 5), 7 das áreas de exclusão de pastagem, coleção EIRA (Exclusão Irauçuba) (Figura 6) e 4 da área de vegetação natural, coleção NIRA (Natural Irauçuba) (Figura 7).

Figura 5 – Fungos isolados de solos de áreas em processo de desertificação no Núcleo de Desertificação de Irauçuba, Ceará. (coleção DIRA).



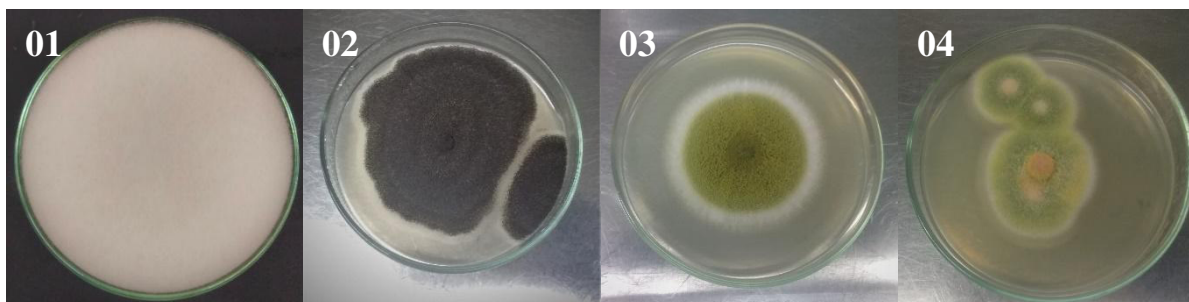
Fonte: elaborada pela autora. A numeração no canto superior esquerdo de cada imagem indica a nomenclatura do isolado dentro da coleção.

Figura 6 – Fungos isolados de áreas há 18 anos em regime de pousio no Núcleo de Desertificação de Irauçuba, Ceará. (coleção EIRA).



Fonte: elaborada pela autora. A numeração no canto superior esquerdo de cada imagem indica a nomenclatura do isolado dentro da coleção.

Figura 7 – Fungos isolados da área de vegetação natural de Caatinga no Núcleo de Desertificação de Irauçuba, Ceará. (coleção NIRA).



Fonte: elaborada pela autora. A numeração no canto superior esquerdo de cada imagem indica a nomenclatura do isolado dentro da coleção.

5.2 Identificação Molecular

A tabela 5 mostra o resultado da identificação molecular dos isolados em nível de gênero. Dos 22 fungos identificados, 11 pertencem ao gênero *Aspergillus* e cinco ao gênero *Penicillium*, sendo estes os dois gêneros mais abundantes. Outros gêneros encontrados foram *Parasarocladium*, *Epicoccum*, *Fusarium* e *Cunninghamella*, em menor proporção. Não foi possível chegar à identificação do gênero do isolado DIRA 01, sendo identificada a sua ordem.

Tabela 2 – Identificação molecular dos isolados.

Estirpe de fungo	Identificação	Estirpe de fungo	Identificação	Estirpe de fungo	Identificação
DIRA 01	Pleosporales	EIRA 01	<i>Aspergillus</i> sp.	NIRA 01	<i>Cunninghamella</i> sp.
DIRA 02	<i>Parasporocladium</i> sp.	EIRA 02	<i>Aspergillus</i> sp.	NIRA 02	<i>Aspergillus</i> sp.
DIRA 03	<i>Aspergillus</i> sp.	EIRA 03	<i>Penicillium</i> sp.	NIRA 03	<i>Aspergillus</i> sp.
DIRA 04	<i>Penicillium</i> sp.	EIRA 04	<i>Fusarium</i> sp.	NIRA 04	<i>Talaromyces</i> sp.
DIRA 05	<i>Penicillium</i> sp.	EIRA 05	<i>Aspergillus</i> sp.		
DIRA 06	<i>Aspergillus</i> sp.	EIRA 06	<i>Aspergillus</i> sp.		
DIRA 07	<i>Aspergillus</i> sp.	EIRA 07	<i>Penicillium</i> sp.		
DIRA 08	<i>Epicoccum</i> sp.				
DIRA 09	<i>Aspergillus</i> sp.				
DIRA 10	<i>Penicillium</i> sp.				
DIRA 11	<i>Aspergillus</i> sp.				

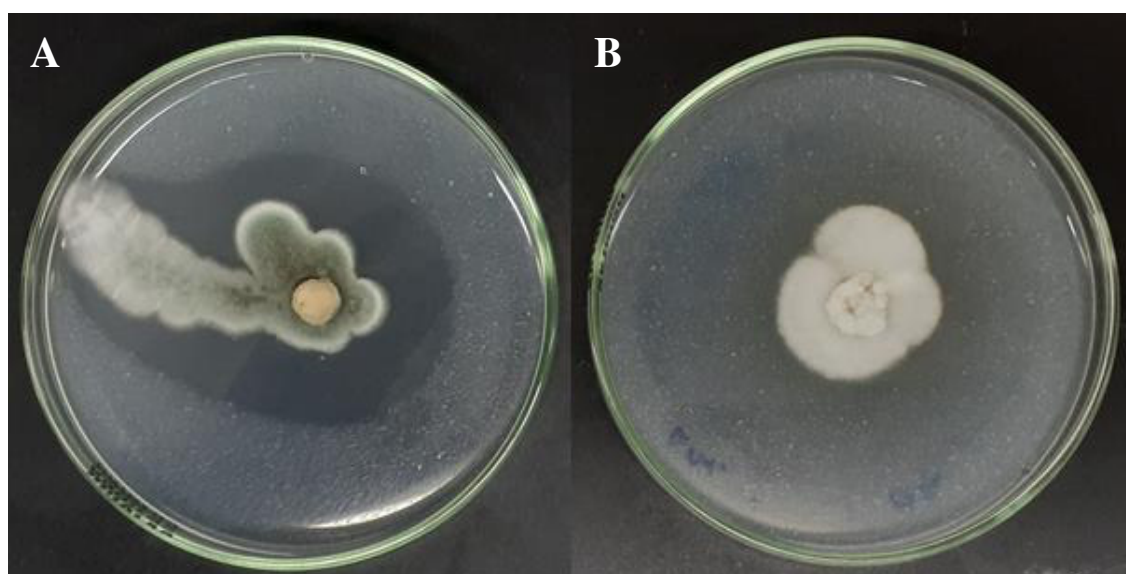
Fonte: elaborada pela autora.

5.3 Solubilização de Fosfato

Das 22 estirpes, apenas DIRA-04 não foi avaliada no teste de solubilização de fosfato, por não ter crescido no meio (Figura 8). Os dez isolados testados da coleção DIRA (Desertificação) não mostraram atividade de solubilização de fosfato. Dos sete isolados da coleção EIRA (Exclusão ou pousio), cinco se revelaram solubilizadores de fosfato, sendo EIRA-02 e EIRA-03, potencialmente fortes solubilizadores, como se deduziu a partir da comparação visual de todas as culturas no mesmo período de tempo. Dos 4 isolados da coleção NIRA (Natural), apenas dois foram positivos e, qualitativamente, considerados fracos solubilizadores. Entre fungos com resultado positivo EIRA-01 e NIRA-04 foram os que mais demoraram a mostrar atividade, sendo possível a detecção a partir do quarto dia no caso de EIRA-01 e do quinto dia no caso de NIRA-04, em contraste com EIRA-2 e EIRA-3 que no terceiro dia já mostraram atividade (Tabela 3).

Em meio líquido os isolados da coleção DIRA, com exceção de DIRA-10, e os isolados EIRA-04, EIRA-07 e NIRA-01 modificaram o pH inicial do meio para 6,0, demonstrando não ter havido acidificação do meio. O restante dos isolados promoveu a acidificação do meio de forma leve à acentuada. Entre as estirpes que apresentaram acidificação leve temos DIRA-10, NIRA-03 e NIRA-04 com pH final 5,0. E entre as estirpes que promoveram uma acidificação mais acentuada, temos, em ordem decrescente, EIRA-03 (pH 4,5), EIRA-02 (pH 4,0), EIRA-01 (pH 3,5), EIRA-05 (pH 3,0), EIRA-06 (pH 2,0) e NIRA-02 (pH 2,0).

Figura 8 – Leitura do teste de solubilização de fosfato de cálcio por fungos crescendo em meio sólido em placa. Exemplar positivo (EIRA-03), mostrando zona de solubilização ao redor do micélio (A), e exemplar negativo (DIRA-03), ausência de solubilização ao redor do micélio (B).



Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 3 – Solubilização de fosfato de cálcio por estirpes de fungos isoladas de solos da Caatinga na Área Suscetível à Desertificação (ASD) de Irauçuba, Ceará.

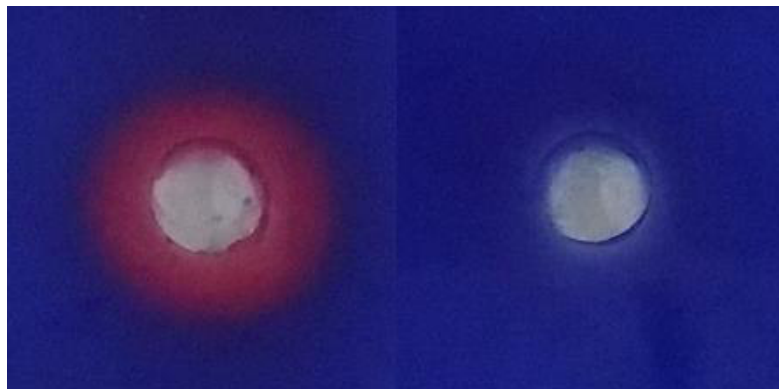
Estirpe de Fungo	3 dias de crescimento	4 dias de crescimento	5 dias de crescimento
EIRA 01 (<i>Aspergillus</i> sp.)	-	+	+
EIRA 02 (<i>Aspergillus</i> sp.)	++	++	++
EIRA 03 (<i>Penicillium</i> sp.)	++	++	++
EIRA 05 (<i>Aspergillus</i> sp.)	+	+	+
EIRA 06 (<i>Aspergillus</i> sp.)	+	+	+
NIRA 02 (<i>Aspergillus</i> sp.)	+	+	+
NIRA 04 (<i>Talaromyces</i> sp.)	-	-	+

Fonte: elaborada pela autora. - (negativo); + (positivo); ++ (resposta forte com maiores zonas de solubilização).

5.4 Produção de Sideróforos

Aproximadamente 64 % dos 22 fungos analisados produziram sideróforos (Tabela 4). A produção de sideróforos foi detectada já com 24 horas de cultivo, embora a positividade do teste tenha sido mais intensa com 72 horas. Dos isolados positivos, EIRA-06 se revelou o mais promissor com halo medindo 39 mm, seguido por EIRA-05, com halo de 28 mm. Dos sete isolados da área em recuperação, apenas um foi negativo.

Figura 9 – Exemplos de resultado positivo para produção de sideróforos (DIRA-07), halo vermelho ao redor do poço contendo o sobrenadante da cultura do fungo, e resultado negativo (NIRA-01), ausência de halo.



Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 4 – Atividade de produção de sideróforos por estirpes de fungos isoladas de solos da Área Suscetível à Desertificação (ASD) de Irauçuba, Ceará.

Estirpe de Fungo	Halo (mm)
DIRA 03 (<i>Aspergillus</i> sp.)	11
DIRA 05 (<i>Penicillium</i> sp.)	19
DIRA 07 (<i>Aspergillus</i> sp.)	20
DIRA 09 (<i>Aspergillus</i> sp.)	12
DIRA 10 (<i>Penicillium</i> sp.)	10
DIRA 11 (<i>Aspergillus</i> sp.)	13
EIRA 01 (<i>Aspergillus</i> sp.)	17
EIRA 02 (<i>Aspergillus</i> sp.)	24
EIRA 04 (<i>Fusarium</i> sp.)	13
EIRA 05 (<i>Aspergillus</i> sp.)	28
EIRA 06 (<i>Aspergillus</i> sp.)	39
EIRA 07 (<i>Penicillium</i> sp.)	21
NIRA 02 (<i>Penicillium</i> sp.)	20
NIRA 04 (<i>Talaromyces</i> sp.)	15

Fonte: elaborada pela autora.

5.5 Seleção de Isolados de Interesse

Com base nas atividades de solubilização de fosfato e produção de sideróforos, foram selecionados os isolados EIRA-01, EIRA-02, EIRA-05, EIRA-06, NIRA-02 e NIRA-4 como os mais promissores para dar prosseguimento aos estudos de comprovação das suas potencialidades como bioinoculantes (Figura 10).

Figura 10 – Atividades de solubilização de fosfato e produção de sideróforos detectadas em estirpes de fungos isoladas de solos da Caatinga da área suscetível à desertificação de Irauçuba, Ceará.

	Solubilização de Fosfato	Produção de Sideróforo
DIRA 01 (Pleosporales)	-	-
DIRA 02 (<i>Parasarocladium</i> sp.)	-	-
DIRA 03 (<i>Aspergillus</i> sp.)	-	+
DIRA 04* (<i>Penicillium</i> sp.)	-	-
DIRA 05 (<i>Penicillium</i> sp.)	-	+
DIRA 06 (<i>Aspergillus</i> sp.)	-	-
DIRA 07 (<i>Aspergillus</i> sp.)	-	+
DIRA 08 (<i>Epicoccum</i> sp.)	-	-
DIRA 09 (<i>Aspergillus</i> sp.)	-	+
DIRA 10 (<i>Penicillium</i> sp.)	-	+
DIRA 11 (<i>Aspergillus</i> sp.)	-	+
EIRA 01 (<i>Aspergillus</i> sp.)	+	+
EIRA 02 (<i>Aspergillus</i> sp.)	+	+
EIRA 03 (<i>Penicillium</i> sp.)	+	-
EIRA 04 (<i>Fusarium</i> sp.)	-	+
EIRA 05 (<i>Aspergillus</i> sp.)	+	+
EIRA 06 (<i>Aspergillus</i> sp.)	+	+
EIRA 07 (<i>Penicillium</i> sp.)	-	+
NIRA 01 (<i>Cunninghamella</i> sp.)	-	-
NIRA 02 (<i>Aspergillus</i> sp.)	+	+
NIRA 03 (<i>Aspergillus</i> sp.)	-	-
NIRA 04 (<i>Talaromyces</i> sp.)	+	+

Fonte: elaborada pela autora. Quadros preenchidos (+) indicam a positividade do isolado no teste. *Isolado não testado para solubilização de fosfato.

6. DISCUSSÃO

O fósforo (P) é um elemento essencial para qualquer vida na terra, estando presente no material genético e em diversas outras moléculas importantes para os seres vivos. A deficiência de P no solo, gera um comprometimento do crescimento vegetal. As terras das zonas tropicais possuem tendência natural à deficiência de P assimilável (NOVAIS & SMYTH, 1999). Com isso, adubos sintéticos são frequentemente utilizados a fim de suprir a deficiência desse mineral em áreas agrícolas. A adoção frequente dessa prática acarreta algumas consequências, estando entre elas a acumulação de metais pesados no solo (RAMALHO et al., 1999). Nesse contexto, a utilização de inoculantes microbianos surge como alternativa aos fertilizantes sintéticos.

A solubilização de fosfato transforma o fosfato insolúvel em sua forma solúvel, facilmente assimilável pelas plantas, sendo essa uma característica desejada nos microrganismos inoculantes. Os fosfatos insolúveis, estão naturalmente presentes no solo e são provenientes da formação de fosfatos de cálcio em solos alcalinos e de fosfatos de ferro e alumínio em solos ácidos, por processos químicos do solo (SANYAL & DE DATA, 1991). Os solos das três áreas estudadas do município de Irauçuba foram analisados no trabalho de Oliveira (2020), sendo estes classificados como solos ácidos, o que vai de encontro com o fato de que os tipos de fosfato mais encontrados da região Nordeste são os fosfatos de alumínio e de ferro (SALCEDO, 2006).

A capacidade de solubilizar fosfato de cálcio é relevante, mas não implica necessariamente na solubilização dos outros tipos de fosfato. No entanto vários trabalhos já relataram que isolados pertencentes ao gênero *Aspergillus*, que solubilizam fosfato de cálcio, também solubilizam fosfatos de alumínio (CARVALHO et al., 1969; BANIK & DEY., 1982; ILLMER et al., 1995; SILVA FILHO & VIDOR, 2000) e de ferro (BARROSO & NAHAS, 2008). Na literatura, o mecanismo de solubilização está relacionado, entre outros motivos, à produção de ácidos e à conseqüente diminuição do pH (WHITELAW, 1999; VASSILEV et al., 2006; CHUANG et al., 2007).

Os fungos avaliados neste trabalho, em especial aqueles das áreas de exclusão e de vegetação natural demonstraram uma boa capacidade de solubilização do fosfato de cálcio. Esses isolados também demonstraram uma maior capacidade na produção de ácidos em meio líquido, quando comparados aos isolados das áreas em processo de desertificação, que não apresentaram essa atividade.

Todos os fungos positivos no teste de solubilização de fosfato, diminuíram o pH inicial do meio de 5,6 para 5,0 ou menos. Por sua vez os fungos das áreas desertificadas, excetuando DIRA 10, elevaram o pH do meio para 6,0, mostrando não ter havido produção de ácidos por parte desses isolados. É importante frisar que o pH inicial do meio (pH 5,6) foi aferido em potenciômetro e o pH final foi aferido com fita de medição de pH, que possui uma menor precisão.

Um outro ponto importante a ser ressaltado, é que a acidificação do meio não determina por si só a capacidade de solubilização, já que efetivamente pode ser observada uma relação significativa entre a solubilização e a produção de ácidos, mas não com a diminuição do pH (BARROSO & NAHAS, 2008). Ou seja, mesmo um meio estando acidificado, os ácidos produzidos podem não ser capazes de promover a solubilização de fosfato.

Outra característica bastante buscada em microrganismos inoculantes é a sua capacidade de produzir sideróforos, que são moléculas quelantes de ferro, que ao se ligarem aos íons metálicos presentes no solo, formam um quelato, que é um produto assimilável por outros organismos vivos (BENITE et al., 2002).

O ferro é um dos micronutrientes essenciais para praticamente todos os seres vivos. Nas plantas, ele exerce papéis fundamentais, como constituição de enzimas (metaloproteínas), envolvimento no transporte de elétrons na fotossíntese e envolvimento indireto na biossíntese da clorofila (ALI & VIDHALE, 2013). Além do ferro os sideróforos também são conhecidos por quelar outros metais, como cobre, alumínio, gálio, cromo e outros (GASCOYNE et al., 1991; HU & BOYER, 1996; CHATURVEDI et al., 2012). O cobre, além de exercer também papéis de constituição enzimática e envolvimento no transporte de elétrons na fotossíntese, possui também envolvimento no crescimento reprodutivo, com a indução da floração e estabelecimento do fruto (ALI & VIDHALE, 2013).

Devido a essas características os sideróforos são moléculas extremamente versáteis e úteis em diversos tipos de aplicações. Rengel et al. (1999), fez o uso dessas moléculas na função de biofertilizantes, a fim de aumentar a concentração de micronutrientes em grãos como arroz, feijão e milho. Outra grande função agrônômica e ambiental dessas moléculas, é a sua capacidade de auxiliar no crescimento das plantas, através do controle de organismos patogênicos por meio de quelação (BURD et al., 2000).

No teste, seis dos sete isolados provenientes das áreas em recuperação natural (pousio), se revelaram produtores de sideróforos, compreendendo os dois isolados mais promissores. Os fungos das áreas em desertificação também mostraram resultados expressivos,

com 55 % dos isolados da coleção DIRA e 50 % dos isolados da coleção NIRA sendo produtores de sideróforos. Assim, em todas as áreas foi encontrada uma proporção considerável de isolados produtores de sideróforos, sendo esses resultados inéditos para essa ASD.

Nenhum isolado das áreas desertificadas foi selecionado como promissor e 50 % dos isolados analisados testaram negativo nos dois testes. Em contraste, quatro dos sete isolados das áreas de exclusão foram classificados como sendo de interesse e todos os isolados foram positivos em pelo menos um dos testes.

Ambientes degradados frequentemente apresentam um declínio na atividade metabólica do solo, já áreas que passaram por distúrbios ecológicos, mas que estão em fase de recuperação (como é o caso das áreas de exclusão), tendem a possuir altas taxas metabólicas (ISLAM & WEIL, 2000). Nesses ambientes, como o microbioma passou por um período de distúrbio, as comunidades tendem a compensar o estresse com o aumento da produção de metabólitos secundários. Esse fato foi observado no trabalho de Moreira & Costa (2004), em áreas reflorestadas, onde mostrou que áreas reflorestadas a menos de 4 anos apresentaram as menores taxas de atividade respiratória microbiana, enquanto áreas de reflorestamento acima de 10 anos, apresentaram atividades mais altas.

Dos quatro isolados da área de vegetação natural, dois apresentaram ambas as atividades e os outros dois foram negativos. Embora o número de isolados avaliados seja muito baixo, espera-se um maior equilíbrio metabólico nessas áreas, característica frequente em ambientes naturais e ecologicamente equilibrados, onde diferentes espécies microbianas podem desempenhar os mesmos papéis no ecossistema.

Os isolados mais promissores identificados neste estudo são majoritariamente do gênero *Aspergillus*. O gênero *Aspergillus* é descrito na literatura como um gênero cosmopolita e de ocorrência generalizada, sendo ele muitas vezes dominante no solo, o que explica assim a alta incidência entre os isolados (DRESCH et al., 2019). Esse, é um dos gêneros de fungos mais estudados, uma vez que possuem como característica marcante a grande capacidade de produção de metabólitos secundários diversos, sendo estes tão vastos e importantes que atualmente são utilizados na diferenciação taxonômica do grupo (FRISVAD et al., 2007). Essa alta capacidade metabólica faz com que esse gênero possua diversas aplicações biotecnológicas, incluindo entre elas a biorremediação (CORSO & MAGANHA DE ALMEIDA, 2008; CHOE & SHEPPARD, 2016; KUMAR & DWIVEDI, 2019). Outros trabalhos também já fazem a utilização de espécies de *Aspergillus* como inoculantes para promoção de crescimento vegetal, devido a sua capacidade de solubilizar fosfato inorgânico (WHITELAW, 1999; CHUANG et al., 2007).

Talaromyces, gênero do isolado de interesse NIRA 04, também é um gênero de fungo conhecido por sua ampla produção de metabólitos secundários, que possuem diversas atividades importantes, estando entre as mais reportadas, atividade antimicrobiana e antitumoral (LAN & WU, 2020). Esse gênero possui uma ampla distribuição, podendo ser isolado de plantas, solos, alimentos etc (ZHAI et al., 2016). Além disso, já foi demonstrado que algumas biomoléculas produzidas por esses fungos possuem atividades úteis no biocontrole de pragas (ZHAI et al., 2016).

Assim, tendo em vista os resultados desse trabalho e dados da literatura, vemos que os fungos se mostram boas alternativas para serem usados como inoculantes, até mesmo podendo superar as bactérias, já tendo sido demonstrado, por exemplo, que a solubilização de diferentes fosfatos *in vitro* por fungos edáficos é maior do que por bactérias (NAHAS et al., 1994; ILLMER & SCHINNER, 1995). Esse fato atrelado a grande capacidade de dispersão, crescimento e adaptabilidade dos fungos faz com que estes possam ser boas alternativas para a promoção de um rápido incremento nutricional dos solos em processo de desertificação.

É importante ressaltar que mais testes necessitam ser realizados afim de comprovar a potencialidade desses isolados selecionados como boas fontes de inoculantes. Outro ponto importante a ser destacado é que algumas cepas de espécies do gênero *Aspergillus* podem exercer algum grau de fito patogenicidade em algumas plantas e também animais (AMAIKE & KELLER, 2001; GAUTAM, 2011), sendo necessário dessa forma a obtenção da identificação das espécies das estirpes selecionadas e realização de testes complementares.

7. CONCLUSÃO

Os resultados desse trabalho mostraram que as estirpes de fungos, nativos de solos de áreas suscetíveis à desertificação da Caatinga, isoladas neste estudo, são promissoras fontes de inoculantes. E para que esses recursos genéticos possam ser explorados tecnologicamente no desenvolvimento de inoculantes para acelerar o processo de recuperação de áreas degradadas, mais estudos precisam ser feitos para avaliar outras propriedades benéficas dessas estirpes, tais como produção de hormônios, atividade enzimática e atividade antimicrobiana. É importante ressaltar, que trabalhos como esses também são importantes para ajudar a desvendar os recursos genéticos microbianos de solos de ambientes degradados, já que a acelerada degradação dos ambientes áridos e semiáridos em todo mundo gera perda e/ou diminuição de características metabólicas dos microrganismos do solo. Características essas que podem ser extremamente úteis em inoculantes para situações críticas como a desertificação.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. *Geomorfologia*, 53. São Paulo: **Instituto de Geografia**, 1977.
- ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. The role of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.33, n.2, p.389, 1982. doi:10.1071/ar9820389
- ADEEL, Z. et al. Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre Desertificación. **WORLD RESOURCES INSTITUTE**, Washington, 2005.
- AL-KARAKI, G. N. The Role of Mycorrhiza in the Reclamation of Degraded Lands in Arid Environments. *Developments in Soil Classification*, **Land Use Planning and Policy Implications**, p. 823–836, 2013. doi:10.1007/978-94-007-5332-7_48
- AMAIKE, S.; KELLER, N. P. *Aspergillus flavus*. **Annual Review of Phytopathology**, v.49, p. 107–133, 2011. doi:10.1146/annurev-phyto-072910-095221
- ANGELOTTI, F.; JÚNIOR, P. I. F.; SÁ, I. B. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1097-1111, 2011.
- ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MENEZES, E. A.; PELLEGRINO, G. Q. (Ed.). Mudanças climáticas e desertificação no Semi-Árido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009
- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; FONSECA, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecol.**, v. 33, p.1353–1367, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0672-6>
- ANTRANIKIAN, G.; VORGIAS, C. E.; BERTOLDO, C. Extreme environments as a resource for microorganisms and novel biocatalysts. **Adv Biochem Eng Biotechnol**, v.96, p. 219-262, 2005.
- AVIDANO, L.; GAMALERO, E.; COSSA, G. P.; CARRARO, E. Characterization of soil health in an Italian polluted site by using microorganisms as bioindicators. **Applied Soil Ecology**, v. 30, n. 1, p. 21–33, 2005. DOI:10.1016/j.apsoil.2005.01.003
- BANIK, S.; DEY, B.K. Available phosphate content of an Alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphatesolubilizing microorganisms. **Plant Soil**, v. 69, p. 353-364, 1982.
- BARROSO, C. B.; NAHAS, E. Solubilização do fosfato de ferro em meio de cultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.4, p.529–535, 2008. DOI:10.1590/s0100-204x2008000400012
- BENITE, A. M. C.; MACHADO, S. P.; MACHADO, B. C. Sideróforos: uma resposta dos microorganismos. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 25, n. 6b, p. 1155-1164, 2002. DOI: [dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000700016](https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000700016).

BRASIL, GOVERNO DO. Desertificação – III Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Prática, 1999.

BRASIL, GOVERNO DO. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca - PAN-Brasil. Brasília, DF: **Ministério do Meio Ambiente**. Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

BRASIL, 1998. Convenção Internacional de Combate à Desertificação nos Países afetados por Seca Grave e/ou Desertificação, particularmente na África. DECRETO Nº 2.741, DE 20 DE AGOSTO DE 1998.

BURD, G. I., DIXON, D. G., & GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 46, n. 3, p. 237–245, 2000. DOI:10.1139/w99-143

CARNEIRO, M. A. C., SIQUEIRA, J. O. MOREIRA, F. M. S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1443-1452, Dec. 2001. DOI: doi.org/10.1590/S0100-204X2001001200001.

CARVALHO, P. C. T.; EIRA, A. F.; PELLEGRINO, D. Solubilização quantitativa de fosfatos insolúveis, por algumas espécies dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*. **An. ESALQ**, v.26, p.173- 185, 1969.

CATTELAN, A. J. Métodos quantitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal. **Embrapa**, Londrina 1999.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Irauçuba ganha seu plano de combate à desertificação. Irauçuba: **Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos**, 2009. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/irauçuba-ganha-seu-plano-de-combate-a-desertificacao/>. Acesso em: 8 fev 2021.

CEARÁ, Secretaria 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. 372p.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Desertificação, degradação da terra e secas no brasil. Brasília, DF, 2016.

CHOE, S. I.; SHEPPARD, D. C. Bioremediation of Arsenic Using an *Aspergillus* System. **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**, p. 267–274, 2016. DOI:10.1016/b978-0-444-63505-1.00034-8

CHUANG, C. C.; KUO, Y. L.; CHAO, C. C.; CHAO, W. L. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. **Biology and Fertility of Soils**, v.43, p.575-584, 2007.

CHATURVEDI, K. et al. The siderophore yersiniabactin binds copper to protect pathogens during infection. **Nature Chemical Biology**, p.731–736, 2012. DOI: doi.org/10.1038/nchembio.1020

CONTI, J. B. O CONCEITO DE DESERTIFICAÇÃO. CLIMEP - **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 3, n. 2, p. 39, 2008.

CORSO, C. R.; MAGANHA DE ALMEIDA, A. C. Bioremediation of Dyes in Textile Effluents by *Aspergillus oryzae*. **Microbial Ecology**, v. 57, n. 2, p. 384–390, 2008. DOI:10.1007/s00248-008-9459-7

CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R.C.S.; OLIVEIRA, G.S. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2013, v. 28, n. 2, p. 139-152. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000200003

DRESCH, F.; LANA, D. F. D.; MACIEL, M. J. Avaliação das comunidades fúngicas encontradas em amostras de solo: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 67-76, 2019. DOI: doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0007

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, ed. 2, p. 212, 1997.

FILHO, J. A. A.; SILVA, N. L. Impactos e mitigação do antropismo no núcleo de desertificação de Irauçuba, CE. **Embrapa Caprinos e Ovinos**, 2015. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1046807/impactos-e-mitigacao-do-antropismo-no-nucleo-de-desertificacao-de-irauçuba-ce. Acesso em: 7 jan 2021.

FILHO, J. S. O. et al. Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in degraded semi-arid soils: Evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. Elsevier BV, **Journal Of Arid Environments**, [s.l.], v. 166, p.1-10, jul. 2019.

FRISVAD, J. C., ANDERSEN, B., THRANE, U. The use of secondary metabolite profiling in chemotaxonomy of filamentous fungi. **Mycological Research**. v. 112, p. 231-240, 2008. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.mycres.2007.08.018.

FTERICH, A.; MAHDHI, M.; MARS, M. Impact of grazing on soil microbial communities along a chronosequence of *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* in arid soils in Tunisia. **European Journal of Soil Biology**, v. 50, p. 56–63, 2012. DOI:10.1016/j.ejsobi.2011.12.002

FU, G.; SHEN, Z.; ZHANG, X.; ZHOU, Y.; ZHANG, Y. Response of microbial biomass to grazing in an alpine meadow along an elevation gradient on the Tibetan Plateau. **European Journal of Soil Biology**, v. 52, p. 27–29, 2012. DOI:10.1016/j.ejsobi.2012.05.004

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Mapa de Áreas Fortemente Degradadas em processo de Desertificação, 2016. Disponível em: http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/7-Mapa_CE_Desertifica%C3%A7%C3%A3o_2016_A2.pdf. Acesso em 10 fev 2021.

- GASCOYNE, D. J.; CONNOR, J. A.; BULL, A. T. Capacity of siderophore producing alkalophilic bacteria to accumulate iron, gallium and aluminum. **Appl Microbiol Biotechnol**, v.36, p. 136–141, 1991. DOI: doi.org/10.1007/BF00164714
- GAUTAM, A. K. et al. Diversity, pathogenicity and toxicology of *A. niger*: an important spoilage fungi. **Research Journal of Microbiology**, v. 6, n. 3, p. 270-280, 2011.
- GONG LI, S.; HARAZONO, Y.; OIKAWA, T.; ZHAO, H. L.; YING HE, Z.; CHANG, X. L. Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 102, n. 125–137, 2000. DOI:10.1016/s0168-1923(00)00101-5
- HARA, F. A. S.; OLIVEIRA, L. A. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos e álicos de Presidente Figueiredo, Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 343-357, 2004.
- HAUFF, S. N. Alternativas para a manutenção das unidades de conservação da Caatinga. PNUD / GEF-Caatinga. v. 90, 2010.
- HERRERA, M. A.; SALAMANCA, C. P.; BAREA, J. M. Inoculation of Woody Legumes with Selected Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobia To Recover Desertified Mediterranean Ecosystems. **Applied And Environmental Microbiology**, v. 59, n. 1, p. 129-13, 1993.
- HIERNAUX, P.; BIELDERS, C. L.; VALENTIN, C.; BATIONO, A.; FERNÁNDEZ, R. S. Effects of livestock grazing on physical and chemical properties of sandy soil in Sahelian rangelands. **Journal of Arid Environments**, v. 41, p. 231-245. 1999.
- HU, X.; BOYER, G. L. Siderophore-Mediated Aluminum Uptake by *Bacillus megaterium* ATCC 19213. **APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY**. v. 62, n. 11, p. 4044–4048, 1996.
- ILLMER, P.; SCHINNER, F. Solubilization of hardly-soluble $AlPO_4$ with P-solubilizing microorganisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 265-270, 1995.
- IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. MUNICÍPIOS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO ESTADO DO CEARÁ. 2017. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/pdf/Municipios_Desertificacao.pdf. Acesso em: 4 fev 2021.
- IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Perfil municipal de Irauçuba. 2017. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2017/Iraucuba.pdf. Acesso em: 4 fev 2021.
- IRAUCUBA. Governo Municipal de Irauçuba. Lei Nº 645/2009, 2009. Disponível em: https://irauçuba.ce.gov.br/arquivos/1444/Leis%20Municipais_645_2009_0000001.pdf. Acesso em: 2 fev 2021

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agric. Ecosys. Environ.*, v. 79, p. 9-16, 2000.

JESUS, J. B. de; GAMA, D. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. M. do; FERNANDES, M. R. de M.; FERNANDES, M. M. Fragmentação florestal em região semiárida no Nordeste do Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, [S. l.], v. 39, n. 1, 2019. DOI:10.4336/2019.pfb.39e201801683.

KALSOOM, M. et al. BIOLOGICAL IMPORTANCE OF MICROBES IN AGRICULTURE, FOOD AND PHARMACEUTICAL INDUSTRY: A REVIEW. *Innovare Journal of Life Sciences*, v. 8, n. 6, p. 1-4, 2020.

KASSAS, M. Desertification: a general review. *Journal of Arid Environments*, v. 30. n. 2, p. 115–128, 1995. DOI:10.1016/s0140-1963(05)80063-1

KASSAS, M. Desertification. In: Dregne, H.E. (Ed.), *Degradation and Restoration of Arid Lands*, Texas Technical University, p. 11-25, 1992.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *Encarte do informações agrônômicas* nº 118 – junho/2007.

KOZIOL, L.; BEVER, J. D. The missing link in grassland restoration: arbuscular mycorrhizal fungi inoculation increases plant diversity and accelerates succession. *Journal of Applied Ecology*, v. 54. n. 5, 1301–1309, 2016. doi:10.1111/1365-2664.12843

KUMAR, V.; DWIVEDI, S. K. Hexavalent chromium reduction ability and bioremediation potential of *Aspergillus flavus* CR500 isolated from electroplating wastewater. *Chemosphere*, 124567, 2019. DOI:10.1016/j.chemosphere.2019.124567

LAN, D.; WU, B. Chemistry and Bioactivities of Secondary Metabolites from the Genus *Talaromyces*. *Chemistry & Biodiversity*, 2020. DOI:10.1002/cbdv.202000229

LI, X. R.; JIA, X. H.; DONG, G. R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. *Journal of Arid Environments*, 64:505-522, 2006.

LIN, L.; LI, Z.; HU, C.; ZHANG, X.; CHANG, S.; YANG, L.; LI, Y.; AN, Q. Plant growth-promoting nitrogen-fixing enterobacteria are in association with sugarcane plants growing in Guangxi, China. *Microbes and Environments*, v. 27, p. 391-398, 2012. DOI: 10.1264/jsme2.ME11275.

MANZANO, M. G.; NÁVAR, J. Processes of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, v. 44, n. 1, p. 1–17, 2000. DOI:10.1006/jare.1999.0577

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* [online], v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010. DOI: dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600012.

- MILTON M. F. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica em áreas desertificadas revegetadas com pinhão-mansolteiro e consorciado com gramínea no Sul do Piauí. Recife, PE, UFRPE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 464-469, 2013. DOI:10.5039/agraria.v8i3a2392
- 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**, p. 43, 2007.
- MOHAMMADI, K. HEIDARI, G.; KHALESRO, S.; SOHRABI, Y. Soil management, microorganisms and organic matter interactions: A review. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n.84, p. 19840-19849, 2011.
- MONTEIRO, J. M. G.; ANGELOTTI, F.; SANTOS, M. M. O. Adaptação e mitigação às mudanças climáticas: contribuição dos serviços ecossistêmicos dos solos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 43, n. 2, p. 32-36, maio/ago. 2017.
- MOREIRA, A.; COSTA, D. G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 10, p. 1013-1019, 2004. DOI: doi.org/10.1590/S0100-204X2004001000009.
- NAHAS, E.M.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases de vários solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 43-48, 1994.
- NODA, Y. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. **Pastos y Forrajes**, Matanzas, v. 32, n. 2, p. 1, jun. 2009.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- NUNES, J. S. et al. Impact of Land Degradation on Soil Microbial Biomass and Activity in Northeast Brazil. **Pedosphere**, v. 22, n. 1, p. 88-95, 2012. DOI:10.1016/s1002-0160(11)60194-x
- OLIVEIRA, A. F. N. SELEÇÃO DE ISOLADOS DE BACTÉRIAS DE SOLOS DE CAATINGA COM POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL. Fortaleza, Repositório Universidade Federal do Ceará, Monografia apresentada ao curso de Ciências Biológicas, 2020.
- OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Monitoramento da desertificação em Irauçuba. Fortaleza, Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 2015. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16714/1/2015_liv_jgboliveira.pdf. Acesso em: 10 dez 2020.
- PEREIRA, W.; LEITE, J.M.; HIPÓLITO, G. S.; SANTOS, C. L. R.; REIS, V. M. Acúmulo de biomassa em variedades de cana-de-açúcar inoculadas com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 363-370, 2013. DOI: 10.1590/S1806-66902013000200020.

- PEI, S; FU, H.; WAN, C. Changes in soil properties and vegetation following enclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, p. 1-7, 2007.
- RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X. Acúmulo de metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso contínuo de adubação fosfatada e água de irrigação. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 971-979, 1999. DOI: doi.org/10.1590/S0100-06831999000400024
- RENGEL, Z.; BATTEN, G.; CROWLEY, D. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. **Field Crops Research**, v. 60(1-2), p. 27-40, 1999. DOI:10.1016/s0378-4290(98)00131-2
- SAHU, S. N.; JANA, B. B. Enhancement of the fertilizer value of rock phosphate engineered through phosphate-solubilizing bacteria. **Ecological Engineering**, v. 15(1-2), p. 27-39, 2000. DOI:10.1016/s0925-8574(99)00013-0
- SAITO, M.; MARUMOTO, T. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi: the status quo in Japan and the future prospects. **Plant and Soil** v. 244, p. 273-279, 2002.
- SALCEDO, I. H. Biogeoquímica do fósforo em solos da região Semi-árida do NE do Brasil. **Revista Geografia**, v. 23, n. 3, p. 159-184, 2006.
- SALES, M. C. L. Estudos hidroclimáticos e morfopedológicos do núcleo de desertificação de Irauçuba (Ceará). **Tese de Doutorado apresentada à USP**, São Paulo, 2002.
- SALES, M. C. L. & OLIVEIRA, J. G. B. Monitoramento da Recuperação da Vegetação e Solos no Núcleo de Desertificação de Irauçuba/Ce. XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, ANAIS. São Paulo, 2005.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. IMPACTOS AMBIENTAIS DA AGRICULTURA NO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL. **Revista de Geografia (Recife)**. v. 22, n. 1, 2005.
- SANTI, C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. **Annals of Botany**, v. 111, p. 743-767, 2013. DOI: 10.1093/aob/mct048.
- SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O., MOREIRA, F. M. S. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 141-150, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000100014.
- SANYAL, S. K.; DE DATA, S. K. Chemistry of phosphorus transformation in soil. **Advances in Soil Science**, p. 1-120, 1991.
- SARAVANAN, V.S.; MADHAIYAN, M.; THANGARAJU, M. Solubilization of zinc compounds by the diazotrophic, plant growth promoting bacterium *Gluconacetobacter diazotrophicus*. **Chemosphere**, v. 66, p. 1794-1798, 2007. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.07.067.

- SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. ASSOCIAÇÃO MICORRÍZICA EM ESPÉCIES ARBÓREAS, ATIVIDADE MICROBIANA E FERTILIDADE DO SOLO EM ÁREAS DEGRADADAS DE CERRADO. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 289-301, junho 2011. DOI: 10.5902/198050983232.
- SCHOEBITZ, M.; LÓPEZ, M. D.; ROLDÁN, A. A. Bioencapsulation of microbial inoculants for better soil-plant fertilization. A review. **Sustain. Dev.**, v. 33, p. 751-765, 2013. DOI: 10.1007/s13593-013-0142-0
- SCHWYN, B. AND NEILANDS, J. B. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores, **Analytical Biochem.** n. 160, p. 47-56, 1987.
- SHRESTHA, G.; STAHL, P. D. Carbon accumulation and storage in semi-arid sagebrush steppe: Effects of long-term grazing exclusion. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 125(1-4), p. 173-181, 2008. DOI:10.1016/j.agee.2007.12.007
- SILVA, C. F. et al. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciências do Solo [online]**. 2012, v. 36, n. 6, p. 1680-1689. DOI: 10.1590/S0100-06832012000600002.
- SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 311-319, 2000. DOI: dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000200008.
- SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M., FONSECA, M. T.; LINS, L. V. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. **Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, 2004.
- SYLVESTER-BRADLEY R. et al. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. **Acta Amazon**, v. 12, p. 15-22, 1982.
- SPEROTTO, R. A. Protocolos e métodos de análise em laboratórios de biotecnologia agroalimentar e de saúde humana. **Lajeado: Univates**, p.329, 2014. Disponível em: https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/74/pdf_74.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- SOUSA, F. P. DEGRADAÇÃO DE SOLOS POR ATIVIDADES AGROPASTORIS EM ÁREAS SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO: O CASO DE IRAUÇUBA, CEARÁ. **Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Ceará – UFC**, Fortaleza, 2009.
- SOUSA, F. P.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Efeito do sobrepastejo e exclusão de animais sobre propriedades do solo em áreas degradadas em processo de desertificação no semiárido cearense. **Seminário Irauçubense de Combate de Desertificação - Irauçuba/CE**, 25 e 26 de junho de 2009.
- SU, Y. Z.; ZHAO, H. L.; ZHANG, T. H.; ZHAO, X. Y. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. **Soil Tillage Res.**, v. 75, p. 27-36. 2004.

UNEP (1992) – United Nations Environment Program – World Atlas of Desertification. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/30300>. Acesso em: 2 fev 2021

VALONE, T. J.; SAUTER, P. Effects of long-term cattle enclosure on vegetation and rodents at a desertified arid grassland site. **Journal of Arid Environments**, v. 61, p. 167- 170, 2005.

VASSILEV, N.; FRANCO, I.; VASSILEVA, M.; AZCÓN, R. Improved plant growth with rock phosphate solubilized by *Aspergillus niger* grown on sugar-beet waste. **Bioresource Technology**, v. 55, p. 237-241, 1996.

VEEN, J. A. et al. Fate and activity of microorganisms introduced into soil. **Microbiology and molecular biology reviews**, MMBR v. 61, n. 2, p. 121-35, 1997.

YONG-ZHONG, S.; YU-LIN, L.; JIAN-YUAN, C.; WEN-ZHI, Z. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. **CATENA**, v. 59, p. 267-278, 2005.

WALI, M. et al. Assessing terrestrial ecosystem sustainability: Usefulness of regional carbon and nitrogen models. **Nature and Resources**. v. 35, p. 21-33, 1999.

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

WHITELAW, M. A. Growth Promotion of Plants Inoculated with Phosphate-Solubilizing Fungi. **Advances in Agronomy**, p. 99–151, 1999. DOI:10.1016/s0065-2113(08)60948-7

ZHAI, M. M. et al. The Bioactive Secondary Metabolites from *Talaromyces* species. **Natural Products and Bioprospecting**, v. 6, n. 1, p. 1–24, 2016. DOI:10.1007/s13659-015-0081-3

ZHAO, H. L., ZHOU, R. L., SU, Y. Z., ZHANG, H.; ZHAO, L. Y., DRAKE, S. Shrub facilitation of desert land restoration in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia. **Ecological Engineering**. v. 31, p. 1–8, 2007.

ZHAO, W. Z.; XIAO, H. L.; LIU, Z. M.; LI, J. Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China. **CATENA**, v. 59, n. 2, p. 173–186, 2005. DOI:10.1016/j.catena.2004.06.004