



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

**MARIA ALESSANDRA TEIXEIRA FRANCO**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA, SALINIDADE E pH NO CRESCIMENTO DE  
FUNGOS DA CAATINGA COM POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE  
CRESCIMENTO VEGETAL**

**FORTALEZA**

**2022**

MARIA ALESSANDRA TEIXEIRA FRANCO

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA, SALINIDADE E pH NO CRESCIMENTO DE  
FUNGOS DA CAATINGA COM POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO  
VEGETAL

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vânia Maria Maciel  
Melo.

FORTALEZA

2022

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)

---

- F896i Franco, Maria Alessandra Teixeira.  
Influência da temperatura, salinidade e Ph no crescimento de fungos da caatinga com potencial para promoção de crescimento vegetal / Maria Alessandra Teixeira Franco. – 2022.  
46 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Ciências Biológicas, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Profa. Dra. Vânia Maria Maciel Melo.
1. Bioinoculante. 2. Físico-química. 3. Degradação do solo. 4. Desertificação. 5. Irauçuba. I. Título.  
CDD 570
-

MARIA ALESSANDRA TEIXEIRA FRANCO

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA, SALINIDADE E pH NO CRESCIMENTO DE  
FUNGOS DA CAATINGA COM POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO  
VEGETAL

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vânia Maria Maciel  
Melo.

Aprovada em: 14/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. 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)

---

Dra. Talita Camila Evaristo da Silva Nascimento – Depto. de Biologia  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico esse trabalho aos meus pais, Francisco e Neuliana, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões e me ajudaram a realizar sonhos que eu não sabia que seria capaz de realizar. Aos meus familiares que participam efetivamente da minha vida, tornando-a mais leve e aos meus amigos que fizeram a caminhada da vida até aqui menos tempestuosa. Por fim uma dedicatória especial ao meu avô José Estênio que partiu em 2021, mas que com certeza estaria orgulhoso de mim por estar concluindo mais um capítulo da minha vida.

## RESUMO

Em ambientes áridos e semiáridos, os recursos, a vegetação e a diversidade de microrganismos passam por épocas de abundância variável. Essas áreas vivem um processo contínuo de degradação do solo e é nesse contexto que os fungos surgem apresentando adaptações que, além de lhes proporcionar maior taxa de sobrevivência, também podem beneficiar os organismos que estão ao seu redor. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo investigar o crescimento de fungos da isolados do bioma Caatinga sob diferentes condições físico-químicas para futuramente utilizá-los na produção de um consórcio para a formulação de um bioinoculante. Os experimentos realizados neste estudo foram conduzidos com fungos isolados de amostras de solo coletadas em maio de 2018, em áreas da Fazenda Aroeira, localizada no município de Irauçuba, no Ceará, Brasil. Sete morfotipos foram testados, cinco oriundos da amostra de solo da área de exclusão e os outros dois da área natural. Para o teste de termotolerância, as cepas foram incubadas em meio Batata Dextrose Agar – BDA, nas temperaturas de 15, 30, 35, 40 e 45°C. Para o teste de halotolerância, meio BDA foi suplementado com diferentes concentrações de NaCl (0, 0,9, 2, 4, 8 e 10%). E para avaliar a tolerância a pHs, o meio de cultura foi ajustado com NaOH 0,1M e HCl 0,1M para os valores de pH: 4,0, 5,6, 6,0, 7,0, e 8,0. Todos os morfotipos submetidos ao experimento de termotolerância cresceram nas temperaturas de 15, 30 e 35°C, sendo a última temperatura a que as colônias apresentaram áreas mais consideráveis, nenhuma cepa apresentou crescimento nas temperaturas de 40 e 45°C. Os sete fungos utilizados no teste de halotolerância cresceram em todas as diferentes porcentagens de NaCl, exceto NIRA 04 que não apresentou crescimento na concentração de 10%. Os microrganismos apresentaram tolerância frente todos os pHs avaliados, todavia, no pH 4 eles apresentaram colônias com as menores áreas. Os resultados mostram a influência que as três variáveis utilizadas neste estudo, temperatura, salinidade e pH, exercem sobre o crescimento radial de fungos de diferentes amostras de solo em uma área suscetível à desertificação na Caatinga. Contudo, mais estudos devem ser realizados para avaliar a influência de outras variáveis no crescimento desses microrganismos, *in vitro*, além de testar potencialidades dessas cepas, para selecionar as mais promissoras como bioinoculante aplicável na recuperação de solos degradados da Caatinga.

**Palavras-chave:** bioinoculante, físico-química; degradação do solo; desertificação; Irauçuba.

## ABSTRACT

In arid and semi-arid environments, resources, vegetation and the diversity of microorganisms go through times of variable abundance. These areas live a continuous process of soil degradation and it is in this context that fungi appear presenting adaptations that, in addition to providing them with a higher survival rate, can also benefit the organisms that are around them. In this sense, this study aimed to investigate the growth of Caatinga's fungi under different physicochemical conditions to use them in the future in the production of a consortium for the formulation of a bioinoculant. The experiments carried out in this study were conducted with fungi isolated from soil samples collected in may 2018, in areas of the Aroeira farm, located in the city of Irauçuba. Seven morphotypes were tested, five from the soil sample from the exclusion area and the other two from the natural area. For the thermotolerance test, the strains were incubated in PDA medium at 15, 30, 35, 40, and 45°C, for the halotolerance test, PDA + NaCl medium was prepared so that media with the following salt percentages were used: 0%, 0,9%, 2%, 4%, 8%, and 10%, finally, for the pH tolerance test, the PDA medium with adjusted pH to the following values was used: 4,0, 5,6, 6,0, 7,0, and 8,0. All morphotypes submitted to the thermotolerance experiment grew at 15, 30, and 35°C, the last temperature at which colonies presented the most considerable areas, no strain showed growth at temperatures of 40 and 45°C. The seven fungi used in the halotolerance test, except NIRA 04 which did not show growth at a concentration of 10%, grew in the six media with different percentages of NaCl. All strains submitted to the pH tolerance experiment grew at pHs 4,0, 5,6, 6,0, 7,0, and 8,0 , with pH 4 being the one in which the colonies presented the smallest areas. The results presented show the influence that the three variables used in this study, temperature, salinity, and pH, have on the radial growth of fungi from different soil samples in an area susceptible to desertification in the Caatinga. Finally, more studies must be carried out to evaluate the influence of other variables on the growth of these microorganisms, in addition to testing the potential properties of these strains, to select the most promising in the future and use them as a bioinoculant applicable in the recovery of degraded soils.

**Keywords:** bioinoculant, physicochemical; soil degradation; desertification; Irauçuba.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Áreas susceptíveis à desertificação e núcleos de desertificação .....   | 15 |
| Figura 2 - Impacto de Fungos Promotores de Crescimento em Plantas (FPCP) na promoção de crescimento de plantas e supressão de doenças..... | 24 |
| Gráfico 1 - Perfil de desenvolvimento das colônias fúngicas (em mm <sup>2</sup> ) submetidas ao teste de termotolerância .....             | 30 |
| Gráfico 2 - Perfil de desenvolvimento das colônias fúngicas (em mm <sup>2</sup> ) submetidas ao teste de halotolerância.....               | 31 |
| Gráfico 3 - Perfil de desenvolvimento das colônias fúngicas (em mm <sup>2</sup> ) submetidas ao teste de tolerância ao pH.....             | 32 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Classificação da susceptibilidade à desertificação, em função do Índice de Aridez<br>.....    | 12 |
| Tabela 2 - Classificação da susceptibilidade à desertificação, em função do Índice de Aridez<br>.....    | 13 |
| Tabela 3 - Áreas das colônias fúngicas (em mm <sup>2</sup> ) submetidas ao teste de termotolerância .... | 29 |
| Tabela 4 - Áreas das colônias fúngicas (em mm <sup>2</sup> ) submetidas ao teste de halotolerância ..... | 31 |
| Tabela 5 - Áreas das colônias fúngicas (em mm <sup>2</sup> ) submetidas ao teste de tolerância ao pH...  | 32 |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                    | 10 |
| 2     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                         | 12 |
| 2.1   | Desertificação .....                                       | 12 |
| 2.1.1 | <i>Desertificação no Brasil</i> .....                      | 13 |
| 2.1.2 | <i>Desertificação no nordeste brasileiro</i> .....         | 14 |
| 2.2   | Núcleo de Desertificação de Irauçuba .....                 | 16 |
| 2.3   | Ambientes áridos e semi-áridos e a microbiota do solo..... | 17 |
| 2.4   | Fungos e suas adaptações ao ambiente árido/semiárido ..... | 19 |
| 2.5   | Interações ecológicas .....                                | 20 |
| 2.6   | Potenciais biotecnológicos .....                           | 23 |
| 3     | <b>OBJETIVOS</b> .....                                     | 25 |
| 3.1   | Objetivo geral .....                                       | 26 |
| 3.2   | Específicos.....   | 26 |
| 4     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                           | 27 |
| 4.1   | Microrganismos utilizados no estudo .....                  | 27 |
| 4.2   | Reativação dos microrganismos .....                        | 27 |
| 4.3   | Ensaio de termotolerância .....                            | 27 |
| 4.4   | Ensaio de halotolerância .....                             | 28 |
| 4.5   | Ensaio de tolerância ao pH.....                            | 28 |
| 4.6   | Análise de crescimento .....                               | 28 |
| 5     | <b>RESULTADOS</b> .....                                    | 28 |
| 6     | <b>DISCUSSÃO</b> .....                                     | 32 |
| 7     | <b>CONCLUSÃO</b> .....                                     | 38 |
|       | REFERÊNCIAS .....  | 39 |

## 1 INTRODUÇÃO

Conhecido como um domínio morfoclimático muito desgastado, a Caatinga é considerada o ecossistema brasileiro menos estudado, conhecido cientificamente e conservado. Esse ambiente apresenta uma imensa variedade de vida e um acentuado grau de endemismo e é considerado extremamente frágil (ALVES, DE ARAÚJO e DO NASCIMENTO, 2009). Resultados de mudanças naturais e antrópicas, a degradação da terra e a sua conseqüente desertificação apresentam conseqüências graves e, por vezes, de difícil recuperação gerando custos sociais, econômicos e ambientais. (OLIVEIRA SANTANA *et al.*, 2007).

Em seu trabalho pioneiro na área, Vasconcelos Sobrinho (1978) caracterizou quatro áreas que se encontram em alto risco de desertificação, sendo então conhecidas como Núcleos de Desertificação de Gilbués (PI), de Irauçuba (CE), do Seridó (PB) e de Cabrobó (PE). Atualmente, sabe-se que esses quatro núcleos estão inseridos no que se conhece como Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil (ASD) e a Caatinga é considerada um bioma característico dessas ASD, compreendendo cerca de 62% da sua área. (OLIVEIRA SANTANA *et al.*, 2007).

O Núcleo de Irauçuba encontra-se no noroeste do Estado do Ceará abrangendo uma área de 4.000 km<sup>2</sup> incluindo os municípios de Irauçuba, Forquilha e Sobral (LANDIN, SILVA e ALMEIDA, 2011). Esse núcleo apresenta diversos problemas, mas é possível citar como principais a degradação dos solos e do recobrimento vegetal primário, a biodiversidade empobrecida, o sobrepastoreio, a baixa frequência de espécies lenhosas da caatinga e as paisagens com marcas configuradas da desertificação (CEARÁ, 2010)

Em ambientes como esses, onde o solo é privado de nutrientes o carbono e o nitrogênio, em conjunto com o fósforo e o pH do solo, são os principais fatores que podem determinar o funcionamento desses locais (SINGH e GUPTA, 2018). Guimarães *et al.* (2017) ainda destacaram em seu trabalho que depois do nitrogênio, o fósforo é o elemento que mais limita o crescimento dos vegetais na maioria dos solos. Outro fator importante quando o assunto é solo é a sua biota, pois ela é fundamental para a qualidade da terra e reduz os riscos de degradação e desertificação por também desempenhar papéis críticos nas funções-chave do ecossistema (LAL, 2015).

Segundo Cardoso e Estrada-Bonilla (2019) atualmente, um dos maiores desafios quando se fala de terra é desenvolver sistemas sustentáveis que possam se desenvolver com qualidade e é nesse cenário que surge a necessidade de buscar formas de recuperar ambientes

danificados, visando minimizar o uso de produtos químicos como adubos nitrogenados (FERREIRA *et al.*, 2003; MANFREDINI *et al.*, 2021). Nesse sentido, uma alternativa seria recuperar o solo utilizando técnicas como a arborização utilizando plantações mistas em associação com bioinoculantes. (SINGH e GUPTA, 2018).

Os bioinoculantes referem-se a um produto a base de microrganismos vivos, capaz de promover o crescimento vegetal de forma direta ou indireta, através de diferentes mecanismos (REIS, 2007). Eles incluem a produção de hormônios, melhoramento da nutrição da planta, principalmente em relação ao nitrogênio e ao fósforo, redução dos níveis de etileno e indução sistemática da resistência a doenças. (OWEN *et al.*, 2015). Dessa forma, esses microrganismos podem ser considerados como um grande impulso ecológico no controle das funções ecossistêmicas (SINGH e GUPTA, 2018). Em complemento, por apresentarem tamanho domínio sobre tais nutrientes, esses organismos acabam apresentando um grande impacto na vegetação em terras áridas, semi-áridas e outros sistemas ecológicos (ARONSON *et al.*, 1993).

Muitos estudos destacam as Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP) como os principais microrganismos utilizados para a produção de bioinoculantes (CATTELAN, 1999; FERREIRA, JOILSON SILVA *et al.*, 2003; ARAUJO, 2010; SOUSA, 2020), mas é fundamental destacar também o papel dos Fungos Promotores de Crescimento de Plantas (FPCP) pouco citados na literatura quando comparados com as bactérias que executam uma função similar. Hossain *et al.* (2017), em seu trabalho destacaram que a associação entre plantas e FPCP tem se mostrado extremamente benéfica para as plantas e, por vezes, esses microrganismos mimetizam os mecanismos utilizados pelas bactérias para propiciar o melhor desenvolvimento do organismo vegetal.

A vegetação da caatinga é extremamente diversificada, porém de um modo geral a área da cobertura vegetal original está em um grande nível de devastação (ALVES, DE ARAÚJO e DO NASCIMENTO, 2009) e a fertilidade dos solos encontra-se muito alterada (SOUZA, ARTIGAS e LIMA, 2015). Nesse sentido, com a constante degradação no bioma da caatinga, é fundamental o desenvolvimento de estratégias para aperfeiçoar a recuperação dessas áreas, de modo natural. Logo, é perceptível que a prospecção de fungos com características relevantes para aplicação biotecnológica na recuperação de ambientes desgastados é uma alternativa para a promoção do crescimento vegetal de forma natural, sem alterar o microbioma do solo.

Tendo em vista o exposto, o objetivo deste trabalho foi investigar o crescimento de fungos da Caatinga em diferentes condições físico-químicas a fim de caracteriza-los para uma possível aplicação na formulação de um consórcio para um bioinoculante.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Desertificação

A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) em 1994 definiu a desertificação como a degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas como resultado de vários fatores, incluindo mudanças climáticas e atividades humanas. (ZOON, KUST e ANDREEVA, 2017). Dentre as ações antrópicas é possível citar o aumento da agricultura extensiva e intensiva, desmatamento, sobrepastoreio, uso inadequado da terra, pressões populacionais principalmente em terras frágeis e sujeitas ao uso excessivo (MBOW *et al.*, 2017).

Thornthwaite (1948) desenvolveu o Índice de Aridez (IA) que é determinado por dois elementos principais, a precipitação e a evapotranspiração potencial de referência. De acordo com o IA, quando a razão entre essas duas variáveis estiver entre 0,05 e 0,20 o clima é considerado árido. Na faixa entre 0,21 e 0,50 o clima é semi-árido e quando estiver entre 0,51 e 0,65 é considerado subúmido seco e, finalmente, acima desse valor é subúmido úmido ou úmido (Tabela 1) (OLIVEIRA SANTANA *et al.*, 2007).

Tabela 1 – Classificação da susceptibilidade à desertificação, em função do Índice de Aridez

| Clima         | Índice de aridez |
|---------------|------------------|
| Hiperárido    | < 0,05           |
| Árido         | 0,05 a 0,20      |
| Semi-árido    | 0,21 a 0,50      |
| Subúmido seco | 0,51 a 0,65      |

Fonte: Thornthwaite (1948).

Ressalta-se que esse índice tem sido muito utilizado para avaliar áreas que podem ser sensíveis ao processo de desertificação (DENIZ, TOROS e INCECIK, 2011). As Áreas vulneráveis ao processo de desertificação são aquelas nas quais o IA varia entre 0,05 e 0,65,

essa vulnerabilidade pode ser classificada desde moderada até muito alta (Tabela 2) (MATALLO, 1999).

Tabela 2 - Classificação da susceptibilidade à desertificação, em função do Índice de Aridez

| <b>Índice de aridez</b> | <b>Susceptibilidade à desertificação</b> |
|-------------------------|--|
| 0,05 a 0,20             | Muito alta                               |
| 0,21 a 0,50             | Alta                                     |
| 0,51 a 0,65             | Moderada                                 |

Fonte: Mattalo (1999).

De acordo com Junior (2001), as regiões áridas e semi-áridas espalham-se por todos os continentes do globo, ocupando 1/3 de toda a superfície da terra e abrigando cerca de 1/6 de toda a população. Cientistas consideram que o aumento das áreas afetadas pela seca possui alguma relação com o fenômeno El Niño. Durante os eventos do El Niño, a seca é endêmica na Austrália, Indonésia, sudeste da Ásia, Nordeste do Brasil, e partes da África. Mas durante o evento La Niña, as localizações preferenciais de seca mudam para outras partes do mundo, incluindo a América do Norte e a América do Sul (BRASIL, 2005).

Em ecossistemas áridos e semiáridos recursos como água, nutrientes do próprio solo, a biomassa vegetal e a diversidade de microrganismos passam por períodos de alta e baixa abundância. Os períodos de grande abundância normalmente são desencadeados por chuvas que podem saturar a demanda de recursos de alguns processos biológicos por algum tempo. (SCHWINNING e SALA, 2004). Ademais, é fundamental ressaltar que a desertificação e a degradação da terra é um assunto complexo e que apresenta quatro componentes: a degradação do solo, da vegetação, dos recursos hídricos e, finalmente, a redução da qualidade de vida da população. Esses elementos pertencem às áreas de conhecimentos físico, biológicos, hídricos e socioeconômicos. (JUNIOR 2001).

### ***2.1.1 Desertificação no Brasil***

Por muito tempo o conhecimento acerca da temática desertificação foi considerado precário e precisou ser aprimorado no território brasileiro (BRASIL, 2005), Em 2004 foi lançado o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos

Efeitos da Seca (PAN – Brasil) e a partir disso a temática ganhou certo destaque e ações do governo e da sociedade de forma organizada (OLIVEIRA SANTANA *et al.*, 2007).

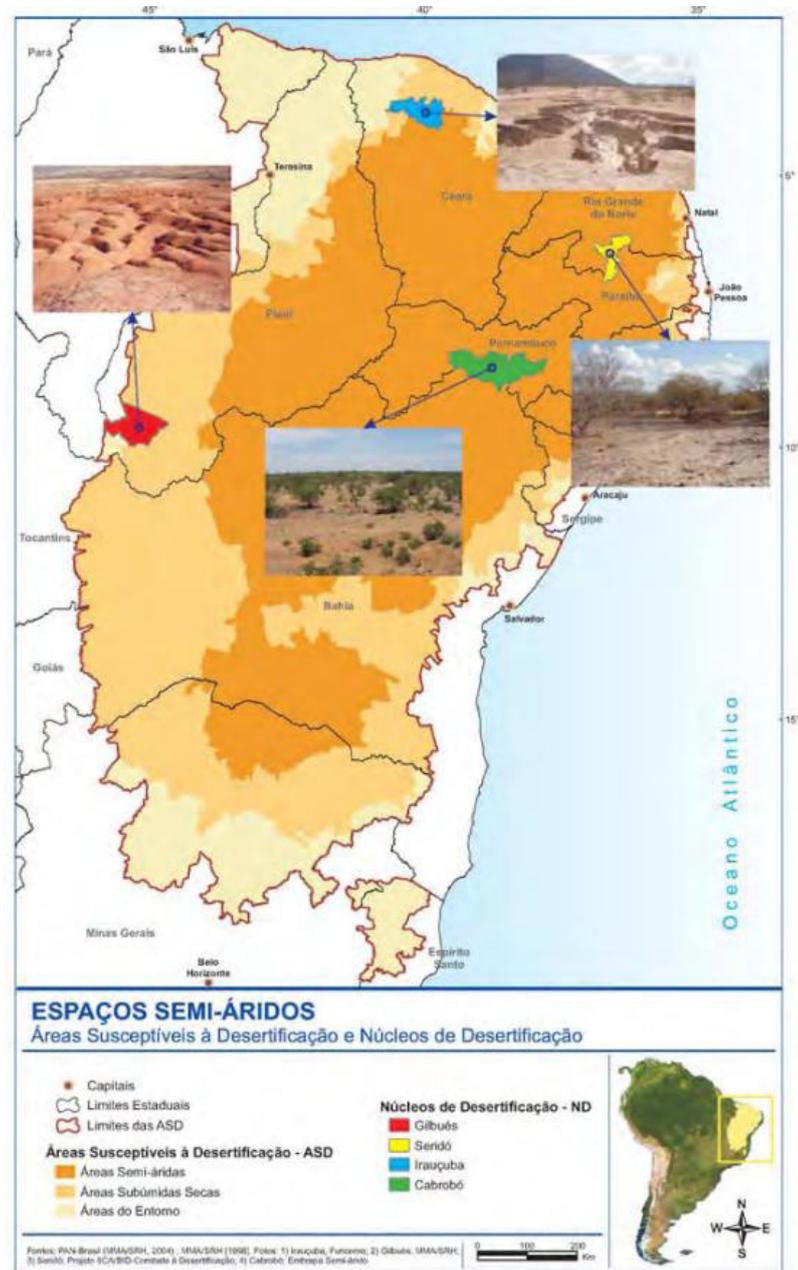
Oliveira Santana *et al.* (2007) relatam ainda em seu trabalho que as Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) no Brasil englobam o trópico semi-árido, subúmido seco e áreas de entorno, ocupando cerca de 1.340.000km<sup>2</sup>. Desse total, 180 mil quilômetros já estão em estado grave ou muito grave de desertificação. As ASD compreendem todos os estados do Nordeste, o Norte do estado de Minas Gerais e o Noroeste do estado do Espírito Santo (ELOI *et al.*, 2014).

### ***2.1.2 Desertificação no nordeste brasileiro***

Sabe-se que as áreas mais afetadas pelas secas (anuais ou plurianuais) estão localizadas na região Nordeste, onde se observa a ocorrência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A variabilidade climática que ocorre através da ZCIT é, também, combinada com fatores que ocasionam o regime pluviométrico da zona da mata e no nordeste meridional. Isso acaba gerando secas de imensa relevância como as de 1951, 1958, 1970 (anuais) e a de 1979-1983 (plurianual) (BRASIL, 2010).

No Nordeste, Vasconcelos (1971) realizou os primeiros trabalhos que apresentaram o conceito de desertificação como a degradação das terras produtivas no semiárido. Ele foi um dos pioneiros no estudo da desertificação no Brasil, dos seus estudos foram caracterizadas quatro áreas com alto risco de desertificação, sendo conhecidas como Núcleos de Desertificação de Gilbués (PI), de Irauçuba (CE), do seridó (PB) e de Cabrobó (PE) (Figura 1) (VASCONCELOS, 1978). Ressalta-se que Vasconcelos (2002) afirmava que o semiárido brasileiro é um deserto em potencial, um deserto em formação, em função da ruptura do equilíbrio instável desse ambiente, ruptura esta provocada pelas atividades antrópicas.

Figura 1 - Áreas susceptíveis à desertificação e núcleos de desertificação



Fonte: Oliveira Santana *et al.* (2007).

Todos os Núcleos de Desertificação, exceto o de Gilbués (PI) que está em uma região do Piauí onde o bioma presente é o Cerrado, estão localizados dentro da Caatinga, um bioma que tem vivido e ainda vive um processo de desertificação, ele compreende grande parte do nordeste do país e uma pequena porção do sudeste (FREITAS *et al.*, 2010). Segundo o IBGE (2004), a Caatinga ocupa uma área aproximada de 10% do território nacional. Os tipos de vegetação desse ambiente encontram-se bastante alterados, com a substituição de

espécies vegetais nativas por pastagens e agricultura. Além disso, o extrativismo vegetal indiscriminado, a pecuária extensiva, a agricultura praticada com tecnologias rudimentares são, dentre outros fatores, os principais agentes das transformações que prejudicam a manutenção de animais silvestres, a qualidade da água e o equilíbrio do clima e do solo.

Ab'Saber (1977) em seu trabalho apontou que todos os fatos pontuais, mas suficientemente radicais para criar uma degradação irreversível nas paisagens semi-áridas são processos de desertificações parciais e tendem a ser progressivos. Com isso, é possível constatar que o uso e ocupação da terra degradaram e ainda degradam os recursos naturais e a qualidade ambiental em sua essência, uma vez que não há compatibilidade entre uso e ocupação com o regime pluviométrico regional e nem com as condições dos solos e da biodiversidade (HAUFF, 2010).

## **2.2 Núcleo de Desertificação de Irauçuba**

Adentrando ainda mais na Caatinga, destaca-se como foco deste estudo o núcleo de desertificação de Irauçuba, este que se situa na região do sertão norte do Ceará, a 150 km ao norte de Fortaleza, tendo como centro a cidade de Irauçuba. Este município compreende uma área de, aproximadamente, 1.461km<sup>2</sup> e população humana de 22.347 habitantes (OLIVEIRA e SALES, 2015). A região tem a desertificação como o principal problema ambiental, através de consecutivos anos de manejo incorreto do solo esse processo tem sido acelerado. Considerando isso, Irauçuba foi a primeira cidade do país a criar um plano de ação municipal de combate à desertificação (DA SILVA e PACHECO, 2016).

O Núcleo de Irauçuba possui clima semiárido com uma curta estação chuvosa que concentra as suas precipitações nos meses de março e abril. Essa área apresenta um dos níveis pluviométricos mais baixos do estado, com uma média anual de 473,8 mm (FUNCEME 2015). Uma das razões para que isso aconteça é que a área se encontra a sota-vento da Serra de Uruburetama, sendo uma “sombra de chuva” por conta da interceptação da serra e dos ventos úmidos vindos do oceano (DE ARAÚJO FILHO e DA SILVA, 2015).

Historicamente, a região tem na pecuária a mais importante atividade, dentro de um sistema de transumância, servindo de estação na época das chuvas para os rebanhos criados na região litorânea. (OLIVEIRA e SALES, 2015) Isto porque a área do núcleo apresenta extensas áreas recobertas por planossolos, que, segundo De Sousa, Romero e Ferreira (2015), são caracterizados por uma camada superficial arenosa, geralmente de pequena profundidade, sobreposta a camadas muito argilosas, compactas e de baixa

permeabilidade e difícil penetração pelas raízes, o que limita o crescimento das plantas e impõe restrição ao estabelecimento de espécies de maior porte.

Além da pecuária, outra problemática de Irauçuba é a devastação da caatinga para dar espaço às atividades agropastoris e à exploração de produtos florestais. O desmatamento por vezes é utilizado como ferramenta para aumentar a produção das forrageiras e para formação de novas pastagens, que são usadas em condições de sobrepastejo e pastejo contínuo (SAMPAIO *et al.*, 2003).

Esses problemas aliados às condições de solo e clima locais, não permitem o desenvolvimento de uma densa vegetação de porte arbóreo e somente contribuem para uma degradação completa da região. Uma das alternativas para tentar recuperar as terras em Irauçuba é a formação de áreas de exclusão, através do uso de cercas, fazendo com os animais não tenham acesso aos locais cercados. Essa técnica vem sendo considerada uma ferramenta válida para a recuperação de áreas degradadas, mesmo que esse seja um processo que leva tempo para acontecer (MEKURIA *et al.*, 2007; LIPPER *et al.*, 2010).

### **2.3 Ambientes áridos e semi-áridos e a microbiota do solo**

As mudanças ambientais degradam diversos habitats, principalmente aqueles que se encontram em zonas áridas e semiáridas, onde o que se encontra é principalmente o clima severo e a escassez de nutrientes fundamentais desse local. (CARAVACA *et al.*, 2005). As principais perturbações encontradas em solos desgastados incluem a perda da cobertura vegetal, erosão, seca, perda de nutrientes, salinização, aumento da concentração de metais pesados, e diminuição da microbiota (AL-KARAKI, 2013).

A rizosfera é um ambiente físico, químico e biológico claramente distinto da massa do solo (KENNEDY e SMITH, 1995), essa área é definida por Lynch, Brimecombe e De Leij (2001) como a zona de ação ou influência de uma raiz. A rizosfera é geralmente considerada uma zona estreita do solo sujeita a influência das raízes vivas, onde os exsudatos das raízes estimulam ou inibem as populações microbianas e suas atividades. A biodiversidade do solo é altamente importante para manter a sua qualidade. Com a crescente alteração desses ambientes pelas mudanças globais e a perda de biodiversidade associada, há uma preocupação sobre uma perda de organismos que poderiam auxiliar na recuperação desses solos e também de possíveis fontes de bioativos necessários para prevenir uma série de doenças, por exemplo. (WALL, NIELSEN e SIX, 2015).

No trabalho de Oehl (2010), a composição do solo em ambientes estressados foi relatada com um fator-chave para determinar a composição de diversas comunidades de microrganismos, mas principalmente de Fungos Micorrizicos Arbusculares (FMA), organismos que estão sendo utilizados para a recuperação de solos degradados, uma estimativa conservadora sugere que os FMA representam 5-10% da biomassa microbiana do solo global (LANFRANCO e YOUNH, 2012). Além dos FMA, fungos de gêneros bastante conhecidos como *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Piriformospora*, *Phoma* e *Trichoderma* também têm se mostrado fundamentais para a recuperação de zonas degradadas, especialmente por fazerem parte do grupo de Fungos promotores de crescimento de plantas (FPCP), um grupo heterogêneo de fungos não patogênicos que estão associados a plantas e mediam melhorias no crescimento e saúde das plantas (HOSSAIN *et al.*, 2017). No ambiente semiárido, durante seu período seco, a microbiota encontra-se dormente ou em redução do tamanho da população. Em contrapartida, com o aumento da umidade essa comunidade retorna desse estado (BARNARD, ORBORNE e FIRESTONE, 2013).

As condições extremas encontradas em ambientes semiáridos impõem condições que selecionam certos grupos que apresentam características que os tornam capazes de suportar situações de altas temperaturas, calor e radiação solar extrema. Diversos estudos indicam que a seleção que ocorre nesses locais, por vezes, filtra o mesmo grupo de organismos (TAKETANI, KAVAMURA e DOS SANTOS, 2017). Tais condições podem favorecer o crescimento das populações de fungos em relação às bactérias, devido à presença de características que privilegiam o primeiro grupo. As principais adaptações incluem esporulação para aumentar a taxa de sobrevivência (COUSINS *et al.*, 2003) e a associação com produtores primários para maior captação de nutrientes (GREEN, PORRAS-ALFARRO e SINSABAUGH, 2008).

A capacidade de aproveitar o potencial das diversas estratégias de sobrevivência dos microrganismos, dando ênfase aos fungos e outros organismos que podem formar associações com esses, e convertê-las em diferentes tecnologias tem um grande potencial para a descoberta de novos bioprodutos que podem ser utilizados na agricultura, na indústria, nas ciências da saúde e principalmente na restauração de solos degradados (TAKETANI, KAVAMURA e DOS SANTOS, 2017).

O estudo de Sharma e Jha (2017) apontam os microrganismos como ferramentas verdes e reforça o seu papel no aumento da captação de nutrientes como na absorção de fósforo, fixação de nitrogênio e fala sobre algo novo que é a degradação de pesticidas residuais. Bactérias e fungos atuam como promotores de crescimento e agentes de biocontrole

(BAREA *et al.*, 2005). A relação entre fungos e plantas é um mecanismo fundamental e que apenas recentemente está recebendo a devida atenção, essa interação é encontrada em quase todos os ecossistemas do mundo para melhorar a aptidão das plantas e a qualidade do solo por meio de processos ecológicos essenciais (SMITH e READ, 2010).

#### **2.4 Fungos e suas adaptações ao ambiente árido/semiárido**

As populações de fungos variam muito de distribuição e isso pode ser influenciado por fatores como composição do solo, plantas presentes no ambiente, condições ambientais e práticas agrícolas (MOHAMMAD, HAMAD e MALKAWI, 2003). Trazendo essa informação para solos degradados como os de regiões áridas e semiáridas, fungos micorrízicos e não micorrízicos precisam esperar por oportunidades, como chuvas, por exemplo, para se multiplicarem e ocuparem esses ambientes (FERROL *et al.*, 2004).

Da Silva *et al.* (2014) realizaram um estudo onde foi avaliada a riqueza e a diversidade de espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) ao longo de um gradiente de vegetação e seus resultados mostraram que esses fungos estão correlacionados com atributos do solo e à vegetação propriamente dita. Esses dois aspectos afetam a estrutura da comunidade mesmo em áreas próximas geograficamente, ademais também foi mostrado que FMA ocorrem mais na estação seca.

Uma das características mais citadas como adaptação de fungos em ambientes degradados foi a produção de esporos. Estes possibilitam a resiliência dos microrganismos em condições extremas, onde pode haver falta de água, altas temperaturas e altos níveis de radiação ultravioleta (TAKETANI, KAVAMURA e DOS SANTOS, 2017). Em relação a isso, Souza *et al.* (2016), realizaram um estudo no semiárido brasileiro e apontaram como resultado que os fungos exibem alta esporulação durante a estação seca, nesta condição eles estavam associados com *Mimosa tenuiflora* evidenciando a importância da associação entre fungos e plantas, assunto que será abordado mais a frente.

Os estudos sobre abundância e distribuição de fungos tradicionalmente são feitos por meio da extração de esporos do solo e a identificação com base na sua morfologia e ontogênese (ALGUACIL *et al.*, 2016). Os esporos de fungos são grandes e ricos em lipídios, estes que provavelmente são utilizados como reserva principalmente em solos áridos e com baixo conteúdo de matéria orgânica (CHAUDHARY *et al.*, 2014).

Um ponto importante a ser destacado é a relação dos esporos fúngicos com a salinidade do solo. Bencherif *et al.* (2015) mostraram em seu trabalho que em condições de

estresse salino a esporulação é estimulada, sendo isso considerado uma estratégia de sobrevivência dos fungos em solos salinos. Porém a salinidade pode ter efeitos negativos sobre a germinação destes esporos e isso acaba causando uma diminuição da colonização de FMA em algumas plantas. Essa característica do solo também pode interferir no crescimento das hifas e sua proliferação. Em contrapartida, esses mesmos fungos podem aliviar o estresse salino em plantas (KUMAR *et al.*, 2015). Este artigo não deixa claro quais são as adaptações necessárias para que os fungos resistam ao ambiente salino. Apenas indica de forma sucinta que o alívio do estresse salino em plantas está relacionado com a melhoria de processos fisiológicos desses organismos vegetais.

Os fungos também podem desenvolver mecanismos de adaptação que envolve a alteração de características físico-químicas do solo, o potencial hidrogeniônico (pH) foi o fator mais citado nos estudos com essa temática. FMA modificam o pH da rizosfera de modo que isso acaba alterando a disponibilidades de alguns nutrientes de interesse que não foram evidenciados (GIRI, KAPOOR e MUKERJI, 2005; ALGUACIL *et al.*, 2016). Além disso, fungos também podem apresentar preferência por certos nutrientes presentes no solo dependendo da sua disponibilidade, Rodríguez-Caballero *et al.* (2017) observaram que os FMA estavam dando preferência pela obtenção da amônia ao invés de nitrato como fonte de nitrogênio.

Outras adaptações citadas, porém com baixa frequência foram a presença de pigmentos em fungos como fator de proteção contra radiação e altas temperaturas (BEZERRA, AZEVEDO e SOUZA-MOTTA, 2017), a expressão e regulação apenas de genes necessários para a sobrevivência (SOUSSI *et al.*, 2016) e, finalmente, a formação de biocrostas para obtenção de nutrientes produzidos por produtores primários (GREEN, PORRAS-ALFARRO e SINSABAUGH, 2008; MARUSENKO, HUBER e HALL, 2013).

## **2.5 Interações ecológicas**

Quando se fala sobre as relações desenvolvidas por fungos na natureza os destaques são os Fungos Micorrizicos Arbusculares (FMA). Os principais grupos de microrganismos que interagem com fungos micorrízicos no ambiente da rizosfera são os saprófitos e simbiontes. Ambos compreendem bactérias prejudiciais, neutras e benéficas aos fungos (BAREA, AZCÓN e AZCÓN-AGUILAR, 2002).

Quando se refere a bactérias benéficas e relação ecológica positiva é destacável o papel dos fungos e das Bactérias Auxiliares de Micorrizas, elas atuam estimulando o

crescimento dos micélios fúngicos, pois essas bactérias aumentam a taxa de exsudato radicular, isso estimula os micélios e facilitam a penetração do fungo na raiz das plantas (BAREA *et al.*, 2005). Yadav e Tarafdar (2011) destacaram em seu trabalho que a maior exsudação radicular na rizosfera em conjunto com o maior acúmulo microbiano resultou em maior atividade enzimática no solo. Outra interação benéfica é a associação de fungos com Rhizobactérias Promotoras de crescimento de plantas (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria - PGPR*) esse conjunto auxilia na melhoria no estado da água no solo, pois a inoculação de FMA e PGPR podem modular as aquaporinas e o condicionamento hidráulico da raiz das plantas colonizadas. Essa modulação pode tanto estimular quanto inibir as aquaporinas (AZCON *et al.*, 2013).

Interações com organismos adaptados a situações extremas também são citadas na literatura. Bencherif *et al.* (2015) sugerem em seu estudo que uma associação entre *Pseudomonas* spp. e Fungos Micorrizicos Arbusculares (FMA) pode promover o crescimento de culturas em solos salinos, uma vez que a maioria das espécies bacterianas que toleram o solo salino pertencem ao grupo das bactérias Gram-negativas, especialmente ao gênero *Pseudomonas*.

Finalizando as interações entre fungos e bactérias é importante destacar que muitos ambientes degradados do semiárido sofrem com o acúmulo de metais pesados em seus solos. Acerca disso, alguns escritores descrevem mecanismos pelos quais FMA em associação com Bactérias Resistentes a Metais podem reduzir a disponibilidade desses metais no solo, beneficiando a rizosfera. Azcon *et al.* (2013) citam como mecanismos a imobilização por subquelação, ligação de metais a biopolímeros como a glomalina e a quitina presentes na parede celular dos microrganismos, confinamento de metais nos vacúolos e a produção de sideróforos. Alguns desses mecanismos serão novamente abordados no próximo tópico.

Apenas um estudo apresentou uma associação entre fungos e vírus. Bezerra, Azevedo e Souza-Motta (2017) abordaram brevemente a simbiose entre um vírus, o endófito *Curvularia protuberata* e o capim *Dichantherium lanuginosum* e relataram que essa combinação contribuiu para a sobrevivência da planta no calor. Fungos pertencentes aos gêneros *Fusarium* e *Penicillium* também foram relatados como associados com alguns vírus.

Além da interação com outros microrganismos os fungos também interagem com as plantas. Os FMA são simbiontes obrigatórios, logo eles não completam o seu ciclo de vida sem colonizar uma planta hospedeira. Esses microrganismos formam um micélio ao redor das raízes das plantas que serve como uma ponte entre a raiz e o micro-habitat do solo ao seu redor. (AL-KARAKI, 2013).

A formação de micorrizas é fundamental, pois auxilia na melhoria do estado nutricional das plantas por captar, através da difusão, nutrientes com baixa mobilidade ou que estão presentes em baixa concentração no solo. (BAREA *et al.*, 2011), essa associação também ocasiona mudanças fisiológicas nos organismos vegetais como o aumento da troca de dióxido de carbono (KUMAR *et al.* 2015). Ademais o efeito sinérgico da relação com entre fungos é essencial para a supressão de patógenos em plantas (RODRIGUEZ-CABALLERO *et al.*, 2017).

Espécies dos gêneros, *Archaeospora*, *Acaulospora*, *Glomos*, *Gigaspora* e *Scutellospora* frequentemente formam simbiose com espécies de plantas. Organismos vegetais fornecem aos FMA produtos resultantes da fotossíntese, fazendo com que eles cresçam e sejam mantidos na rizosfera, enquanto isso FMA fornece nutrientes minerais como fósforo e nitrogênio para as plantas. (SOUZA *et al.*, 2016). Essa simbiose influencia o ciclo dos nutrientes do solo, entre eles as formas iônicas em baixas concentrações de amônia, zinco, cobre e principalmente de fosfato (BAREA *et al.*, 2005).

Quando se fala sobre a formação de micorrizas o principal tópico encontrado na literatura é a influência dessa associação em relação ao Ciclo do Nitrogênio. Este nutriente, por ser um constituinte dos ácidos nucleicos e de proteínas, moléculas fundamentais para todos os processos biológicos é o componente requerido em maior quantidade pelas plantas. Convencionalmente o ciclo desse nutriente é controlado por bactérias conhecidas como fixadoras de nitrogênio ou diazotróficas (HUNGRIA, CAMPO e MENDES, 2007). Recentemente, com o desenvolvimento de novas técnicas moleculares, foi possível identificar novas transformações do nitrogênio e destacar o papel de outros grupos de microrganismos, como fungos, no ciclo desse elemento (MARUSENKO, HUBER e HALL, 2013). A interação através da formação de micorrizas melhora a nodulação e a fixação de nitrogênio, além disso, elas realizam uma estimulação generalizada de nutrição do hospedeiro. Ademais ela melhora a nodulação e a fixação de nitrogênio em baixos níveis de água e compensa o efeito negativo da salinidade na nodulação e fixação de nitrogênio (BAREA *et al.*, 2005).

O aumento da tolerância das plantas a seca, salinidade e estresse devido ao acúmulo de metais pesados, além de estar relacionado com a nutrição pode também ocorrer através de mudanças hormonais (SHARMA e JHA, 2017). Fungos podem induzir as plantas a tolerar ao calor ao produzirem substâncias dentro do tecido vegetal, substâncias essas que podem funcionar como eliminadores de espécies reativas de oxigênio e moléculas de sinalização que promovem o crescimento das plantas e aumentam a sua tolerância a temperaturas altas (ALI *et al.*, 2018).

## 2.6 Potenciais biotecnológicos

Processos de degradação são acompanhados ou precedidos de perda de propriedades físico-químicas e biológicas do solo, a sua estrutura é comprometida, a disponibilidade dos nutrientes do solo diminui, assim como a matéria orgânica e a atividade microbiana (BAREA *et al.*, 2005). Na década de 1980, cresceu o interesse pela restauração dos ecossistemas e resultou no desenvolvimento de um campo ecológico denominado Ecologia de restauração. Esta área de conhecimento pode ser definida como o estudo científico que apoia a prática da restauração ecológica por meio da renovação e restauração de ecossistemas degradados, danificados ou destruídos no meio ambiente por intervenção humana ativa (SHARMA e JHA, 2017).

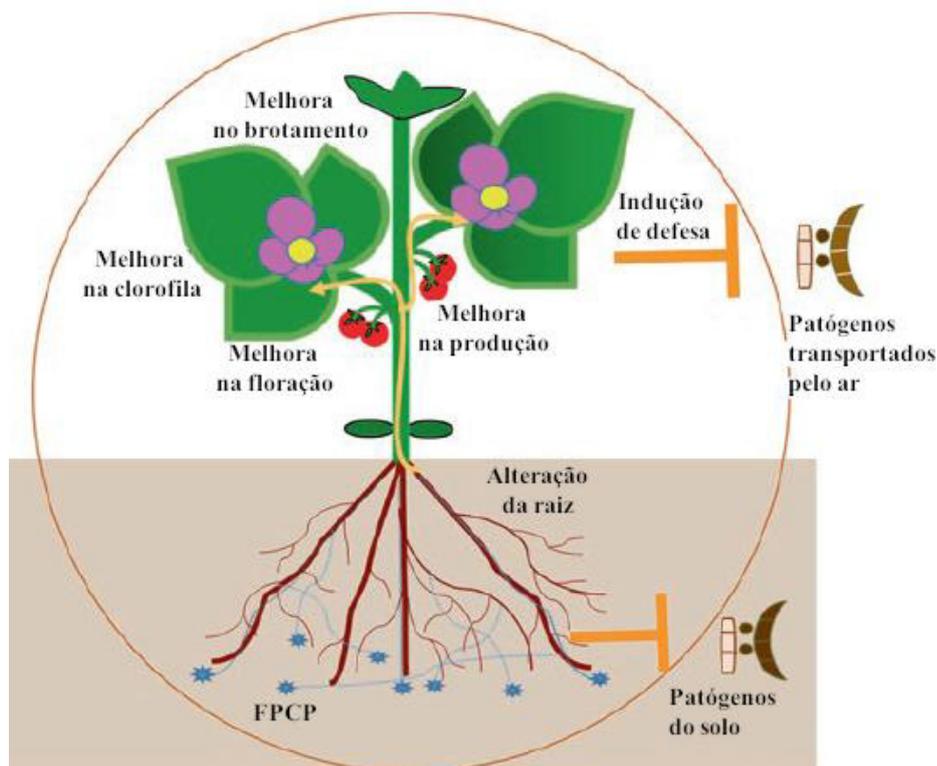
Os principais organismos envolvidos na biorremediação através da fitorremediação, técnica que tem como base o uso de plantas para a remediação do solo, são os Fungos Micorrizicos Arbusculares (FMA). Como já foi falado no tópico anterior, a simbiose entre fungos e plantas permite que os organismos vegetais se tornem mais resistentes aos diversos estresses presentes em solos degradados, isso possibilita o sucesso desenvolvimento da planta e sua estabilização nesses ambientes (BAREA *et al.*, 2005). Um aspecto importante apontado por Alguacil *et al.* (2011) é que a seleção de espécies vegetais capazes de promover a diversidade de fungos na sua rizosfera é um ponto importante na restauração de ambientes semiáridos, uma vez que a espécie hospedeira apresenta influência sobre as comunidades ao seu redor.

Diversos estudos apresentaram a problemática acerca da agregação do solo e da prevenção da erosão no contexto de restauração de terras perturbada. A Glomalina foi a substância citada como fundamental para a resolução desses problemas, ela é uma glicoproteína produzida por FMA e por conta da sua natureza hidrofóbica acaba atuando como uma cola, participando assim da estabilização de agregados do solo (CARAVACA *et al.*, 2003; BAREA *et al.*, 2005). Mucilagens, polissacarídeos e outros compostos extracelulares tem menos importância nesse processo (RILLING e MUMMEY, 2006). Além da sua importância na melhoria da agregação do solo, a glomalina também possui a propriedade de ligar metais pesados (NADEEM *et al.*, 2014) e pode estar responsável pela presença de 30-60% do carbono presente em solos não perturbados (AL-KARAKI, 2013).

Produtos como Bioinoculantes, já definidos anteriormente, também têm se mostrado fundamentais para a recuperação de terras desgastadas, pois o seu uso generalizado para o processo de remediação mostra muito potencial para a redução de poluentes tóxicos

(CHAUDHARY e SHUKLA, 2019). Esses insumos podem conter tanto linhagens individuais, quanto consórcio de microrganismos conhecidos, é importante destacar que inóculos compostos por uma mistura de microrganismos têm se mostrado mais flexíveis e produtivos dentro de ambientes com características variáveis (OWEN et. al., 2015). É nesse contexto que os FPCP surgem com a sua capacidade de proporcionar uma melhora significativa na germinação, no vigor de plântulas, na produção de biomassa, no desenvolvimento de pelos radiculares, na eficiência fotossintética e na floração, ademais, algumas cepas têm a capacidade de melhorar a composição bioquímica da planta (Figura 2). Sabe-se agora que o FPCP também pode controlar numerosos patógenos foliares e radiculares (HOSSAIN et al., 2017).

Figura 2 - Impacto de Fungos Promotores de Crescimento em Plantas (FPCP) na promoção de crescimento de plantas e supressão de doenças



Fonte: Adaptado de Hossain et al. (2017).

Nesse sentido, produção de inoculantes de baixo custo com micro-organismos promotores de crescimento de plantas é uma alternativa para diminuir os riscos ambientais causados pela utilização inadequada, e às vezes excessiva, de insumos e agrotóxicos (CHAGAS et al., 2017). Recentemente, pesquisas empregando métodos

moleculares revelaram que não apenas os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, mas também as cepas de *Mortierella* são os fungos filamentosos mais abundantes nos solos de todo o mundo (SMIT *et al.*, 1999; GRZADZIEL e GALAZKA, 2019; QIAO *et al.*, 2019).

Após tudo o que foi exposto é possível destacar que uso da tecnologia de um biofertilizante a base de fungos pode ser uma forma interessante para o manejo da flora nativa e restauração de habitat naturais com insumos químicos mínimos (BENCHERIF *et al.*, 2015).

Alguns estudos têm mostrado a capacidade biotecnológica de endófitos de áreas secas brasileiras para a produção de biomoléculas de interesse industrial, como agentes antibacterianos e enzimas. Pele *et al.* (2018) evidenciaram em seu trabalho de forma sucinta alguns estudos que visavam explorar o potencial biotecnológico do gênero *Rhizopus*, foi demonstrado que espécies deste gênero são capazes de produzir diferentes tipos de compostos de enorme importância industrial como enzimas, ácidos orgânicos, quitina e quitosana, incluindo biossurfactante. Fungos endofíticos podem se tornar um novo e importante recurso para a degradação de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, uma classe tóxica de poluentes ambientais (BEZERRA *et al.* 2012).

A L-asparaginase é uma enzima amplamente utilizada no tratamento do câncer, e é conhecida como um biofármaco antileucêmico (ALI *et al.*, 2018). Essa substância pode ser produzida por bactérias, mas quando produzida por fungos apresenta menos efeitos colaterais nos pacientes. Na caatinga os microrganismos pertencentes aos gêneros, *Aspergillus* *Fusarium* e *Penicillium* foram os mais indicados para a produção dessa enzima (BEZERRA, AZEVEDO e SOUZA-MOTTA, 2017; PÁDUA *et al.*, 2018). Outro composto de grande importância na medicina é o anticâncer Taxol, relatou-se que essa substância pode ser produzida por fungos endofíticos isolados de uma planta medicinal nos Estados Unidos (BEZERRA, AZEVEDO e SOUZA-MOTTA, 2017; ALI *et al.*, 2018).

Na área indústria, a Tanase é uma enzima de ampla utilização na produção de bebidas, cosméticos e nas indústrias farmacêuticas e químicas, ela pode ser produzida por microrganismos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (CRUZ *et al.*, 2013). Além do seu uso industrial a sua produção pode ser considerada parte de um mecanismo antipatógenos, uma vez que os taninos são parte do sistema de defesa vegetal (PINTO *et al.*, 2005).

Outras enzimas importantes produzidas por Fungos, com destaque aos pertencentes aos gêneros, *Aspergillus* e *Penicillium* são as pectinases, celulases, xilanases, proteases e enzimas pectinolíticas (BEZERRA *et al.*, 2012; SILVA, COEL e SILVA, 2015; BEZERRA, AZEVEDO e SOUZA-MOTTA, 2017; ALI *et al.*, 2018).

### **3 OBJETIVO**

### **3.1 Objetivo Geral**

Investigar o crescimento de fungos da Caatinga em diferentes condições físico-químicas a fim de caracteriza-los para uma possível aplicação na formulação de um consórcio para um bioinoculante

### **3.2 Objetivos específicos**

- Verificar a capacidade de crescimento dos fungos em diferentes temperaturas;
- Verificar a capacidade de crescimento dos fungos em um gradiente com diferentes concentrações de sal;
- Verificar a capacidade de crescimento dos fungos em um gradiente com diferentes pHs.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Microrganismos utilizados no estudo

O estudo foi conduzido com fungos isolados a partir de amostras de solos coletados em maio de 2018, em áreas da fazenda Aroeira, localizada na cidade de Irauçuba, Ceará, Brasil (3.7476° S, 39.7827° O). Sete diferentes estirpes de fungos foram selecionadas com base nos resultados dos testes de solubilização de fósforo e de produção de sideróforos apresentados por Costa (2021). Cinco morfotipos são pertencentes à coleção EIRA (prospectados de amostras de solo da área de exclusão) sendo eles: EIRA 01, EIRA 02, EIRA 03, EIRA 05 e EIRA 06 e os outros dois morfotipos são da coleção NIRA (isolados de amostras de solo da área natural), NIRA 02 e NIRA 04. Todos estes microrganismos estão depositados na coleção de culturas do Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia (LEMBIOTECH).

Os isolados estão preservados através do método de Castellani (1967), no qual discos de 6 mm de diâmetro da cultura pura são acondicionados em tubos contendo água destilada estéril. Esta técnica é considerada uma forma simples e com bons resultados para sua utilização no armazenamento de micro-organismos (SILVA *et al.*, 2019).

### 4.2 Reativação dos microrganismos

Diretamente dos tubos onde cada fungo está preservado foram retirados discos com 6 mm de diâmetro dos isolados EIRA 01, EIRA 02, EIRA 03, EIRA 05 EIRA 06, NIRA 02 e NIRA 04, esses discos foram colocados no centro de placas de *Petri* estéreis contendo o meio BDA (Batata dextrose ágar – HIMEDIA - pH 5,6) esterilizado a 121 °C, 1 ATM, por 15 minutos, com o auxílio de alças estéreis e foram incubados por sete dias em temperatura ambiente ( $28 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

### 4.3 Ensaio de termotolerância

O cultivo dos microrganismos se deu utilizando a técnica de repique pontual (ALMEIDA, 2019) com agulha estéril com 1 mm de diâmetro, os fungos foram semeados no centro de placas de *Petri* contendo o mesmo meio de cultura citado no tópico 4.2. Essas placas foram incubadas a 15, 30, 35, 40 e 45°C, durante sete dias. Ressalta-se que esse

experimento foi realizado em duplicata, logo em cada temperatura cada morfotipo teve duas placas sendo submetidas ao teste.

#### **4.4 Ensaio de halotolerância**

Para o teste de halotolerância o meio BDA foi preparado contendo diferentes porcentagens de NaCl: 0.9%; 2%; 4%; 8%; e 10%, esterilizado a esterilizado a 121 °C, 1 ATM, por 15 minutos, e disposto em placas de *Petri* estéreis . O crescimento controle foi realizado nas mesmas condições, na ausência de NaCl. As placas foram incubadas em temperatura ambiente ( $28 \pm 2^\circ\text{C}$ ) por sete dias. Os ensaios foram conduzidos em duplicata.

#### **4.5 Ensaio de tolerância ao pH**

A tolerância fúngica a diferentes pHs foi testada em placas de *Petri* contendo meio BDA esterilizado a 121 °C, 1 ATM, por 15 minutos. Foram testados os pHs: 4,0, 5,6, 6,0, 7,0 e 8,0. O ajuste foi realizado por adição de HCl 0,1M para acidificar os meios e NaOH 0,1M para obter pHs alcalinos. As placas foram incubadas em temperatura ambiente ( $28 \pm 2^\circ\text{C}$ ) durante sete dias. Os testes foram conduzidos em duplicata.

#### **4.6 Análise de crescimento**

As análises do crescimento fúngico foram realizadas utilizando o *software* ImageJ, para isso, após o período de incubação as placas foram escaneadas e a área das colônias foi mensurada. Foi calculada a área média de cada fungo oriundos dos testes de termotolerância, halotolerância e tolerância ao pH. Também foi calculada a média de crescimento total de cada morfotipo e o desvio padrão, todos esses valores estão em  $\text{mm}^2$ .

## **5 RESULTADOS**

Todos os morfotipos submetidos ao experimento de termotolerância cresceram a 15, a 30 e a 35°C, todavia, em 35 °C foi observado o maior crescimento das colônias. Nenhuma estirpe apresentou crescimento nas temperaturas de 40 e 45°C como é possível observar na Tabela 3 e no Gráfico 1.

EIRA 01 foi o morfotipo que apresentou melhor crescimento a 15°C, enquanto NIRA 04 foi o que cresceu menos nesta temperatura. Na temperatura 30°C, a cepa NIRA 02 demonstrou melhor crescimento, seguido da EIRA 05, em contraponto EIRA 03 foi o que menos se beneficiou com essa temperatura. Por fim, a temperatura de 35 °C foi a mais benéfica em relação ao crescimento das colônias fúngicas como é possível observar na Tabela 1 e no Gráfico 1, sendo NIRA 02 o morfotipo que apresentou a maior área de crescimento, seguido de EIRA 01 e EIRA 05.

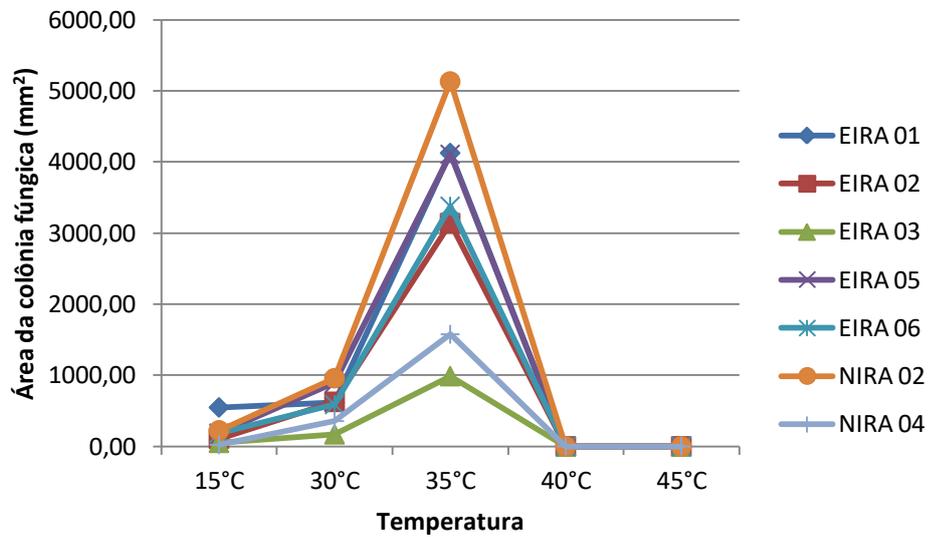
Analisando o desvio padrão das áreas médias obtidas, EIRA 03 foi o que obteve o menor desvio padrão, enquanto NIRA 02 apresentou o maior.

Tabela 3 - Área das colônias fúngicas (em mm<sup>2</sup>) submetidas ao teste de termotolerância

| <b>Morfotipos</b> | <b>15°C</b> | <b>30°C</b> | <b>35°C</b> | <b>40°C</b> | <b>45°C</b> |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| EIRA 01           | 548,21      | 614,85      | 4127        | 0           | 0           |
| EIRA 02           | 109,55      | 626,40      | 3139,85     | 0           | 0           |
| EIRA 03           | 49,95       | 169,65      | 987,85      | 0           | 0           |
| EIRA 05           | 182,90      | 892,20      | 4109,05     | 0           | 0           |
| EIRA 06           | 185,65      | 588,05      | 3379,05     | 0           | 0           |
| NIRA 02           | 225,45      | 959,20      | 5132,55     | 0           | 0           |
| NIRA 04           | 22,50       | 355,70      | 1577,05     | 0           | 0           |

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 1 – Perfil de desenvolvimento das colônias fúngicas (em mm<sup>2</sup>) submetidas ao teste de termotolerância



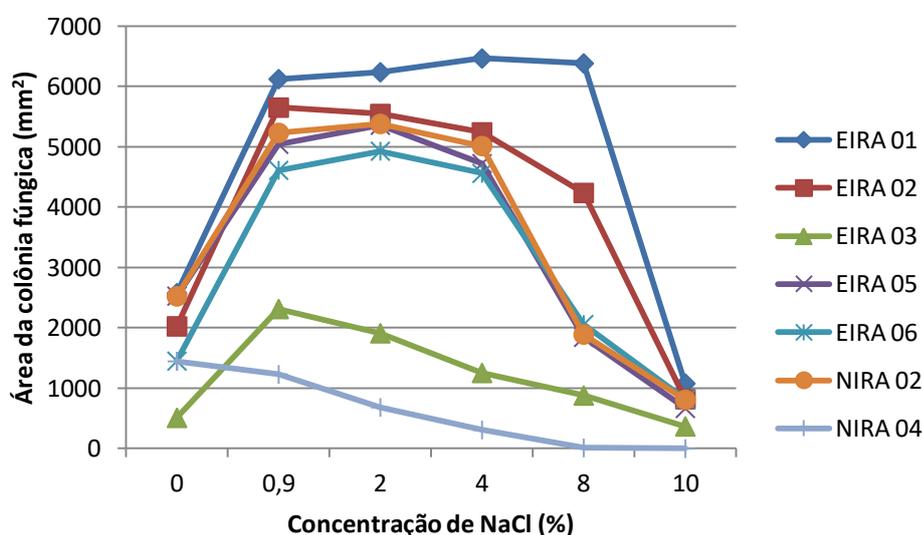
Fonte: Elaborado pela autora.

Todos os fungos utilizados no teste de halotolerância, cresceram nos seis meios com diferentes porcentagens de NaCl (cloreto de sódio), como é apresentado na Tabela 4 e no Gráfico 2, com exceção de NIRA 04 que não apresentou crescimento na concentração de 10%. É importante destacar que na concentração de 10% de NaCl, todos os morfotipos se desenvolveram menos em relação às as demais concentrações do sal testadas. EIRA 01 foi a única estirpe que apresentou melhor crescimento no meio com 4% de NaCl e NIRA 04 foi o único que teve crescimento máximo no controle (meio BDA sem sal). Os fungos EIRA 02 e EIRA 03 apresentaram uma maior área de desenvolvimento no meio com concentração de 0,9% de sal, enquanto EIRA 05, EIRA 06 e NIRA 02 cresceram mais em 2% de NaCl.

Tabela 4 - Áreas das colônias fúngicas (em mm<sup>2</sup>) submetidas ao teste de halotolerância

| Morfotipos     | 0%       | 0,9%     | 2%       | 4%       | 8%      | 10%      |
|----------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| <b>EIRA 01</b> | 2575,14  | 6121,71  | 6234,85  | 6463,575 | 6381,9  | 1077,75  |
| <b>EIRA 02</b> | 2025,795 | 5650,018 | 5544,175 | 5239,32  | 4235,74 | 818,3195 |
| <b>EIRA 03</b> | 510,715  | 2313,105 | 1911,42  | 1254,225 | 879,71  | 367,985  |
| <b>EIRA 05</b> | 2527,052 | 5042,14  | 5357,19  | 4722,955 | 1843,93 | 666,46   |
| <b>EIRA 06</b> | 1450,465 | 4610,74  | 4928,1   | 4560,23  | 2056,51 | 815,325  |
| <b>NIRA 02</b> | 2523,34  | 5230,58  | 5379,355 | 5013,685 | 1891,06 | 809,405  |
| <b>NIRA 04</b> | 1445,79  | 1230,21  | 683,31   | 309,13   | 12      | 0        |

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 2 - Perfil de desenvolvimento das colônias fúngicas (em mm<sup>2</sup>) submetidas ao teste de halotolerância

Fonte: Elaborado pela autora.

Todos os morfotipos submetidos ao experimento de tolerância ao pH cresceram nos pHs 4, 5,6, 6, 7 e 8 sendo no pH 4 o que as colônias apresentaram as menores áreas de desenvolvimento. Observando a Tabela 5 e o Gráfico 3 é possível perceber que EIRA 01 e EIRA 05 foram os morfotipos que apresentaram melhor crescimento no pH 8, enquanto EIRA 02, EIRA 06 e NIRA 02 exibiram o mesmo resultado no pH 7. O fungo EIRA 03 se desenvolve de forma mais eficiente no pH 6, e o NIRA 04 foi o único que teve melhor crescimento no pH 5,6, sendo esse o pH recomendado para uso pelo fabricante do meio de cultura BDA – HIMEDIA. É importante ressaltar que EIRA 05 e NIRA 02 apresentaram crescimento no meio com pH 4 porém não foi possível mensurar a área desses microrganismos por conta do crescimento em vários locais da placa. O mesmo ocorreu com

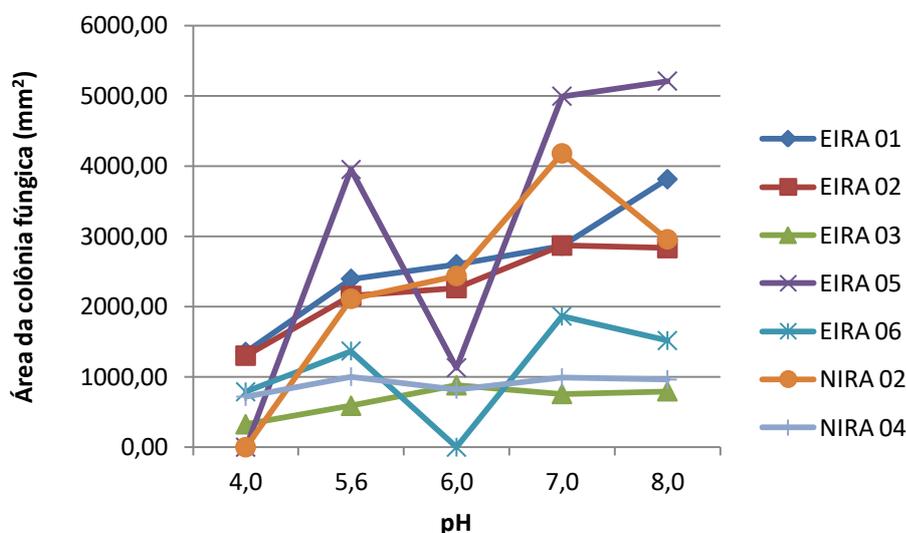
EIRA 06 no pH 6, por esta razão na Tabela 3 aparece o símbolo +, indicando que houve crescimento nos pHs indicados e no Gráfico 3 esses dados aparecem zerados.

Tabela 5 - Áreas das colônias fúngicas (em mm<sup>2</sup>) submetidas ao teste de tolerância ao pH

| Morfotipos     | pH 4,0  | pH 5,6  | pH 6,0  | pH 7,0   | pH 8,0  |
|----------------|---------|---------|---------|----------|---------|
| <b>EIRA 01</b> | 1354,51 | 2395,50 | 2602,39 | 2865,30  | 3813,21 |
| <b>EIRA 02</b> | 1302,10 | 2151,98 | 2264,46 | 2868,41  | 2832,63 |
| <b>EIRA 03</b> | 325,80  | 589,32  | 881,01  | 757,43   | 795,62  |
| <b>EIRA 05</b> | +       | 3950,78 | 1130,71 | 4993,81  | 5209,18 |
| <b>EIRA 06</b> | 788,65  | 1368,66 | +       | 1865,37  | 1517,08 |
| <b>NIRA 02</b> | +       | 2111,41 | 2436,39 | 4179,865 | 2957,52 |
| <b>NIRA 04</b> | 719,00  | 1003,23 | 822,17  | 989,795  | 962,63  |

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 3 - Perfil de desenvolvimento das colônias fúngicas submetidas ao teste de tolerância ao pH



Fonte: Elaborado pela autora.

## 6 DISCUSSÃO

O fato de que os microrganismos submetidos ao teste cresceram nas temperaturas de 15, 30 e 35°C, porém não nas de 40 e 45°C indica que eles são fungos mesófilos, e possuem o seu ponto ótimo em temperaturas medianas. Os mesófilos são amplamente distribuídos na natureza e são os mais comumente estudados. Eles são encontrados em

animais de sangue quente, assim como em ambientes terrestres e aquáticos de latitudes temperadas e tropicais (MADIGAN *et al.*, 2016).

Costa (2020) realizou um teste de termotolerância semelhante ao descrito nesse trabalho, no qual a autora submeteu 21 fungos ao ensaio, eles eram provenientes de diferentes localidades e amostras, incluindo amostras de solo. Foi relatado que 19 dos morfotipos apresentaram crescimento a 30°C. Enquanto a 35 °C, apenas 11 estirpes cresceram, e 10 delas demonstraram estar na sua temperatura ótima. No estudo 5 morfotipos foram tolerantes a 40 °C, e nenhum a 45 °C.

Outro trabalho interessante sobre termotolerância foi o realizado por Sterflinger (1998) com microrganismos do solo de superfícies rochosas, e o estudo destacou que esse ambiente proporciona condições de vida incomum para esses organismos. Nesse estudo 16 fungos isolados tiveram seu crescimento avaliado nas seguintes temperaturas: 18,5, 27, 32 e 37°C. Como resultado, 15 estirpes tiveram como temperatura ótima 18,5°C, dos 16 fungos 7 morfotipos tiveram como temperatura máxima de crescimento 32°C, enquanto os outros 9 fungos cresceram melhor a 27°C e nenhum dos fungos foi capaz de crescer a 37°C.

A pesquisa de Barcenas-Moreno *et al.* (2009), onde os ensaios se deram com microrganismo do solo, apresentou também uma resposta das comunidades fúngicas do solo semelhante ao que tem sido mostrado nesse estudo quando se fala de temperatura. O grupo de organismos que os pesquisadores submeteram ao teste de termotolerância tiveram suas taxas de crescimento decaindo com o aumento da temperatura, não apresentando crescimento significativo em 45°C e acima.

Ambientes como este apresentam como características temperaturas extremas, mudanças rápidas na atividade da água e alta radiação UV, por conta desses fatores esses espaços são frequentemente considerados extremos, em semelhança com o solo de áreas áridas e semiáridas (STERFLINGER, 1998).

Traçar esse paralelo entre diferentes estudos torna possível perceber que as mudanças climáticas globais têm impactos potenciais sobre a estrutura e funcionamento dos solos através da modificação da atividade de fungos que desempenham papéis centrais nesse ambiente (OSONO, 2007). Nesse sentido, considerando as mudanças de temperatura globais, ressalta-se que há pouco conhecimento sobre a extensão em que a microbiota do solo se adapta às mudanças deste fator, porém é notório que resposta da comunidade microbiana do solo mudará se a temperatura for alterada (BARCENAS-MORENO *et al.*, 2009). Por fim, segundo Inskeep *et al.* (2007) extensas pesquisas mostraram que as comunidades microbianas

sob circunstâncias anormais são significativamente diferentes da microbiota de outros ambientes que não apresentam nenhum estresse.

Além da temperatura, na natureza, os efeitos osmóticos são importantes, principalmente em habitats com altas concentrações de sal. Sabe-se que o crescimento de organismos halófilos requer uma determinada quantidade de NaCl, porém o valor ótimo varia conforme o organismo e seu habitat dependentes. Já os organismos halotolerantes podem tolerar algum grau de solutos dissolvidos, mas crescem melhor na ausência do soluto adicionado (MADIGAN *et al.*, 2016).

Atualmente, a salinidade é um dos problemas mais prevalentes nos solos de regiões áridas e semiáridas do mundo, afetando aproximadamente 1 bilhão de hectares de terra (LATEF e CHAOXING, 2011). Além de ter efeitos deletérios sobre as propriedades físico-químicas do solo e seus processos microbiológicos, o aumento da salinidade também afeta seriamente o crescimento e a produtividade das plantas (KUMAR *et al.*, 2015). Em particular, a alta concentração de sal no solo tem se mostrado como um importante na regulação da composição e diversidade bacteriana em muitos habitats diferentes (BERNHARD *et al.*, 2005; LOZUPONE e KNIGHT, 2007) e, portanto, um gradiente de salinidade provavelmente influenciará a diversidade fúngica (MOHAMED e MARTINY, 2011).

De Azevedo Santiago (2004) realizou em sua dissertação um experimento de halotolerância que se deu em meio de cultura contendo 0, 2, 4, 6 e 8% de NaCl. O morfotipo utilizado no estudo foi retirado de sedimentos de manguezal e ele apresentou crescimento máximo no meio controle (0% NaCl) e no meio contendo 2% de NaCl, a partir da concentração de 4% foi perceptível uma diminuição no crescimento, sendo que na concentração de 8% de NaCl foi registrado o menor crescimento radial.

González Martínez (2019) realizou um experimento similar ao realizado nesse estudo, a cepa de interesse foi submetida ao teste de halotolerância e as concentrações de NaCl utilizadas no teste foram 0, 4, 15 e 25%. O microrganismo do estudo não apresentou crescimento em meio sem NaCl. A colônia apresentou crescimento ótimo com NaCl 15% e a 4% NaCl a colônia apresentou metade do crescimento apresentado a 15%. A 25% de NaCl a colônia apresentou crescimento lento e só obteve um tamanho similar ao da colônia que cresceu a 15% com o dobro do tempo de teste.

Microrganismos que suportam altas concentrações de sal são importantes por apresentarem uma ampla gama de adaptações que permitem suportar a salinidade, estas podem ser tanto morfológicas como bioquímicas (TASTER e DAVENPORT, 2003). As

adaptações mais recorrentes são a presença de compartimentos de hifas espessos e curtos e grânulos miceliais longos que ajudam a minimizar o contato com o sal. Esses microrganismos podem, também, produzir polissacarídeos extracelulares muito pronunciados e pode ser observado também um aumento na espessura da parede celular (GONZÁLEZ MARTÍNEZ, 2019).

Em relação ao pH é elementar lembrar que a acidez ou alcalinidade de uma solução é expressa por seu pH (potência hidrogeniônica) em uma escala em que a neutralidade corresponde a pH 7. Em analogia as faixas de temperatura, cada microrganismo possui uma faixa de pH, geralmente entre 2 e 3 unidades de pH, dentro da qual o crescimento é possível. Além disso, cada organismo exibe um pH ótimo bem definido, onde ocorre melhor crescimento. A maioria dos ambientes naturais apresenta valores de pH entre 3 e 9, e os organismos cujos valores ótimos situam-se nessa faixa são os mais comuns. Os organismos que apresentam um crescimento ótimo em um valor de pH na faixa do termo *circum-neutro* (pH 5,5-7,9) são chamados de neutrófilos (MADIGAN *et al.*, 2016).

Gock *et al.*, (2003) realizaram um estudo com sete fungos xerofílicos de importância, estes que foram cultivados em uma faixa de pH assim como nesse trabalho. Os valores finais de pH do meio utilizados no experimento foram 4,5, 5,5, 6,5 e 7,5. Dos sete morfotipos, dois cresceram melhor no pH 4,5, outros dois em pH 5,5 e mais outros dois em pH 6,5, enquanto apenas um apresentou bom crescimento em pH 7,5. Outro trabalho com a mesma temática foi realizado por Silva-Junior e Pereira (2007). Dezoito morfotipos de fungos retirados de solo contaminado por metais pesados foram submetidos ao teste de tolerância ao pH. Os pHs utilizados no meio de cultura foram 6, 7, 8 e 9. De uma maneira geral, os fungos em estudo apresentaram aumento significativo no crescimento em meio com pH 9,0.

Muitos fungos e bactérias crescem melhor em pH 5 ou inferior, ao passo que um número mais restrito cresce melhor em pH 3. Um número ainda mais restrito cresce melhor em pH 2, e aqueles com um pH ótimo abaixo de 1 são extremamente raros (MADIGAN *et al.*, 2016). Estudos clássicos sobre a tolerância ácida de fungos (STARKEY e WAKSMAN 1943, SIGLER e CARMICHAEL 1974, LANGWORTHY, 1978) apoiam a visão geral de que as condições ácidas do solo melhoram o desenvolvimento e a atividade dos fungos do solo em relação às bactérias desse ambiente (ORTEGA, 2004).

Assim como a temperatura e a salinidade, o pH do solo tem se mostrado um dos fatores ambientais mais determinantes para a composição da comunidade microbiana (KAMBLE, 2014). Nos fungos, vários mecanismos evoluíram para garantir que a célula detecte e responda a mudanças extracelulares repentinas de maneira eficiente. A adaptação do

pH é necessária para a sobrevivência e proliferação de fungos em uma vasta gama de interações fungo-hospedeiro-patógeno (BIGNELL, 2012). Muitos microrganismos, particularmente se forem capazes de crescer em uma ampla faixa de pH, adaptam a expressão gênica ao pH de seu ambiente de crescimento. Os genes cuja expressão provavelmente é influenciada pelo pH do ambiente incluem aqueles envolvidos no fornecimento de enzimas secretadas, permeases e metabólitos exportados, todos os quais devem funcionar em pH ambiente, e provavelmente também aqueles envolvidos na homeostase do pH interno (PENÁLVA e ARST JR, 2002).

O estudo de Pereira *et al.* (2021) foi baseado em uma pesquisa de campo em andamento no Município de Irauçuba. Foi realizada uma caracterização química e física do solo da área nativa, da área de exclusão, cercada para evitar a entrada de animais e consequentemente o pastejo nesse ambiente, e na área que ainda sofre com o sobrepastejo e tem passado pelo processo de desertificação. Com os resultados constatou-se que todos os solos apresentaram acidez e os valores de pH não diferiram entre as áreas. A área pastoreada, que passa pelo processo de desertificação, foi a que apresentou os maiores valores de condutividade elétrica, porém os valores encontrados não foram suficientes para incluir os solos analisados na classe de solos salinos, sendo então classificados como normais nesse parâmetro segundo o trabalho de Castro e Santos (2020). É fundamental destacar a importância desse estudo, pois ele retrata as condições do solo de onde os fungos utilizados nesta pesquisa foram retirados.

Um ambiente em mudança cria condições que podem ser estressantes para os microrganismos, e eles não são imortais nem imunes ao estresse. Logo, devem ter mecanismos de aclimação fisiológica para sobreviver e permanecer ativos diante do estresse ou morrerão (SCHIMEL *et al.*, 2007). Este mesmo autor ainda argumenta que na escala do ecossistema, o "estresse" geralmente é considerado ser um desafio crônico (por exemplo, seca, toxinas, etc.) que impõe custos fisiológicos, enquanto "perturbação" é geralmente visto como um evento imprevisível que principalmente envolve ruptura física e mortalidade direta (incêndio, vendavais, colheitas, etc.).

Barcenas-Moreno *et al.*, (2009) apontou três mecanismos que podem explicar a mudança na resposta da comunidade microbiana à temperatura e estendendo para a temática desse estudo, inclui-se aqui também as mudanças de salinidade e de pH de um ambiente: a aclimação, onde o crescimento a uma certa condição dá uma vantagem fenotípica sem qualquer alteração genotípica; a adaptação genotípica dentro de uma espécie e a seleção de espécies, onde espécies já geneticamente melhor adaptadas a um determinado regime irão

competir com outras espécies menos adaptadas. Embora seu estudo não tenha sido desenhado para diferenciar esses três mecanismos, é provável que o último, a seleção de espécies, seja o mais importante dentro do período de tempo longo (BARCENAS-MORENO *et al.*, 2009). Corroborando com isso, Schimel *et al.*, (2007) evidenciou que é provável que processos fisiológicos, como aclimação, apenas regulará a curto prazo a resposta das comunidades do solo, enquanto as mudanças na composição da comunidade serão mais importantes ao longo prazo.

Fungos que se adaptaram para crescer em ambientes que sofrem condições como em condições de alta salinidade, temperaturas relativamente altas e diferenças de pH por sua vez, podem refletir sua influência em seus parceiros simbióticos para adaptam-se na mesma gama de ambientes (DASTOGEER, *et al.*, 2018), essas características são de grande interesse quando se fala na produção de bioinoculantes, por exemplo, pois desenvolver uma conexão mais forte entre ecologia microbiana e ecossistêmica, ter uma melhor compreensão das respostas fisiológicas microbianas ao estresse pode ser tão importante quanto tem sido na compreensão da ecologia das plantas (SCHIMEL *et al.*, 2007).

Outro uso para esses microrganismos é a produção de enzimas. Por vezes o microrganismo de interesse deve apresentar algumas características como capacidade de suportar condições adversas (BON *et al.*, 2008), a aptidão de crescer em diferentes temperaturas é fundamental, uma vez que já foi comprovado que enzimas produzidas por fungos termofílicos são mais estáveis que as produzidas por fungos mesofílicos (ORTEGA *et al.*, 2004). Logo, o mesmo pode se aplicar a fungos tolerantes a alterações de pH, pois além da estabilidade em altas temperaturas, com o aumento na faixa de estabilidade de pH essas enzimas mostram-se mais tolerantes à ação de agentes químicos (GOMES, 2013). Finalmente, há estudos que mostraram que fungos halofílicos também têm potencial na indústria como produtores de antibióticos e antioxidantes, na fermentação de produtos com alto teor de sais, biosurfactantes e corantes (ALI *et al.*, 2014).

## 7 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados mostram que foi possível verificar o crescimento dos fungos nas três variáveis utilizadas neste estudo, temperatura, salinidade e pH, e como elas afetam o desenvolvimento desses morfotipos oriundos de diferentes amostras de solo de uma área suscetível à desertificação da Caatinga. É essencial mais estudos devem ser realizados para avaliar a influência de outras variáveis no crescimento desses microrganismos, *in vitro*, além de testar potencialidades dessas cepas, para selecionar as mais promissoras como bioinoculante aplicável na recuperação de solos degradados da Caatinga.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. *Geomorfologia*, 53. São Paulo: **Instituto de Geografia**, 1977.
- ALGUACIL, M. M. *et al.* Plant type differently promote the arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity in the rhizosphere after revegetation of a degraded, semiarid land. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 1, p. 167-173, 2011.
- ALGUACIL, M. M. *et al.* Soil characteristics driving arbuscular mycorrhizal fungal communities in semiarid Mediterranean soils. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 82, n. 11, p. 3348-3356, 2016.
- ALI, A. H. *et al.* Desert plant-fungal endophytic association: the beneficial aspects to their hosts. In: **Biological Forum-An International Journal**, p. 138-145, 2018.
- ALI, I. *et al.* Screening of potential biotechnological applications from obligate halophilic fungi, isolated from a man-made solar saltern located in Phetchaburi province, Thailand. **Pak. J. Bot**, v. 46, n. 3, p. 983-988, 2014.
- AL-KARAKI, G. N. The role of mycorrhiza in the reclamation of degraded lands in arid environments. In: **Developments in Soil Classification, Land Use Planning and Policy Implications**. Springer, Dordrecht, p. 823-836, 2013.
- ALMEIDA, A. C. Bioprospecção de fungos amilolíticos e caracterização bioquímica da amilase de *Mucor* sp. AD742 visando aplicação na hidrólise do amido. Dissertação. 2019.
- ALVES, J. J. A.; DE ARAÚJO, M. A.; DO NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- ARAÚJO, F. F.; GUERREIRO, R.T. Bioprospecção de isolados de *Bacillus* promotores de crescimento de milho cultivado em solo autoclavado e natural. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 837-844, 2010.
- ARONSON, J. *et al.* Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the south. **Restoration ecology**, v. 1, n. 1, p. 8-17, 1993.
- AZCÓN, R. *et al.* Abiotic stress remediation by the arbuscular mycorrhizal symbiosis and rhizosphere bacteria/yeast interactions. **Molecular microbial ecology of the rhizosphere**, v. 1, p. 991-1002, 2013.
- BÁRCENAS-MORENO, G. E. M. A. *et al.* Adaptation of soil microbial communities to temperature: comparison of fungi and bacteria in a laboratory experiment. **Global Change Biology**, v. 15, n. 12, p. 2950-2957, 2009.
- BAREA, J. M. *et al.* Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. **Journal of arid environments**, v. 75, n. 12, p. 1292-1301, 2011.

BAREA, J. M. *et al.* Microbial co-operation in the rhizosphere. **Journal of experimental botany**, v. 56, n. 417, p. 1761-1778, 2005.

BAREA, BAREA, J. M.; AZCÓN, R.; AZCÓN-AGUILAR, Concepción. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. **Antonie van leeuwenhoek**, v. 81, n. 1, p. 343-351, 2002.

BARNARD, R. L.; OSBORNE, C. A.; FIRESTONE, M. K. Responses of soil bacterial and fungal communities to extreme desiccation and rewetting. **The ISME journal**, v. 7, n. 11, p. 2229-2241, 2013.

BENCHERIF, K. *et al.* Impact of soil salinity on arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity and microflora biomass associated with *Tamarix articulata* Vahl rhizosphere in arid and semi-arid Algerian areas. **Science of the Total Environment**, v. 533, p. 488-494, 2015.

BERNHARD, A. E. *et al.* Loss of diversity of ammonia-oxidizing bacteria correlates with increasing salinity in an estuary system. **Environmental Microbiology**, v. 7, n. 9, p. 1289-1297, 2005.

BEZERRA, J. D. P. *et al.* Richness of endophytic fungi isolated from *Opuntia ficus-indica* Mill. (Cactaceae) and preliminary screening for enzyme production. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, n. 5, p. 1989-1995, 2012.

BEZERRA, J. D. P.; DE AZEVEDO, J. L.; SOUZA-MOTTA, C. M. Why study endophytic fungal community associated with cacti species?. In: **Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics**. Springer, Cham, p. 21-35, 2017.

BON, E. P. S. *et al.* Bioprocessos para produção de enzimas. In: BON, E. P. S.; FERRARA, M. A.; CORVO, M. L. (Org.) **Enzimas em biotecnologia: Produção, aplicações e mercado**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Mudanças climáticas e suas implicações para o Nordeste. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. 2005.

CARAVACA, F. *et al.* Establishment of shrub species in a degraded semiarid site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied Soil Ecology**, v. 22, n. 2, p. 103-111, 2003.

CARAVACA, F. *et al.* Survival of inocula and native AM fungi species associated with shrubs in a degraded Mediterranean ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 2, p. 227-233, 2005.

CARDOSO, E. J. B. N.; ESTRADA-BONILLA, G. A. Inoculantes agrícolas. **Biociencia Industrial-Vol. 3: Processos fermentados e enzimáticos**, v. 3, p. 305, 2019.

CASTELLANI, A. Maintenance and cultivation of common pathogenic fungi of man in sterile distilled water. Further researches. **Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 70, n. 8, p. 181-&, 1967.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Mercator (Fortaleza)**, v. 19, 2020.

CATTELAN, A. J. Métodos quantitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 1999.

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.

CHAGAS, L. F. B. *et al.* Trichoderma na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 97-102, 2017.

CHAUDHARY, Twinkle; SHUKLA, Pratyosh. Bioinoculants for bioremediation applications and disease resistance: innovative perspectives. **Indian journal of microbiology**, v. 59, n. 2, p. 129-136, 2019.

CHAUDHARY, V. B. *et al.* Multiscale patterns of arbuscular mycorrhizal fungal abundance and diversity in semiarid shrublands. **Fungal Ecology**, v. 12, p. 32-43, 2014.

CICCARONE, C.; RAMBELLI, A. A study on micro-fungi in arid areas. Notes on stress-tolerant fungi. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 132, n. 1, p. 17-20, 1998.

\*COSTA, T. P. Padronização do cultivo do fungo filamentosso isolado A4 para produção de lipases. Dissertação. 2020.

COSTA, V. A. S. Fungos da caatinga e seu potencial na promoção da fertilidade do solo de áreas em processo de desertificação. 2021. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

COUSINS, J. R. *et al.* Preliminary assessment of arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community structure in an urban ecosystem. **Mycorrhiza**, v. 13, n. 6, p. 319-326, 2003.

CRUZ, R. *et al.* Diversity of filamentous fungi of area from Brazilian Caatinga and high-level tannase production using mango (*Mangifera indica* L.) and surinam cherry (*Eugenia uniflora* L.) leaves under SSF. **Advances in Microbiology**, v. 2013, 2013.

DA SILVA, F.G. C.; PACHECO, J.S. Processo de desertificação: estudo de caso em Irauçuba-CE. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 9, n. 1, p. 47-51, 2016.

DA SILVA, I. L.; COEL, L. C. B. B.; DA SILVA, L. A. O. Biotechnological potential of the Brazilian Caatinga biome. **Advances in Research**, p. 1-17, 2015.

DA SILVA, I. R. *et al.* Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along an environmental gradient in the Brazilian semiarid. **Applied Soil Ecology**, v. 84, p. 166-175, 2014.

DA SILVA-JÚNIOR, F. M. R.; PEREIRA, S. V. Ecologia e fisiologia de fungos filamentosos isolados de solo contaminado por metais pesados. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S2, p. 903-905, 2007.

DASTOGEER, K. M. G. *et al.* In vitro salt and thermal tolerance of fungal endophytes of *Nicotiana* spp. growing in arid regions of north-western Australia. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 51, n. 11-12, p. 602-616, 2018.

DE ARAÚJO FILHO, J. A.; DA SILVA, N. L. Impactos e mitigação do antropismo no núcleo de desertificação de Irauçuba, CE. **Embrapa Caprinos e Ovinos-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.

DE ARAUJO PEREIRA, A. P. *et al.* Grazing exclusion regulates bacterial community in highly degraded semiarid soils from the Brazilian Caatinga biome. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 6, p. 2210-2225, 2021.

DE AZEVEDO SANTIAGO, L. C. M. *et al.* **Efeitos da salinidade e da temperatura na germinação, no crescimento radial e na morfologia de *Cunninghamella elegans* Lendner.** 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

DE SOUSA, F. P.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O. Efeitos do sobrepastejo e da exclusão de animais em solos sob processo de desertificação no semiárido cearense. 2015.

DENIZ, A.; TOROS, H.; INCECIK, S. Spatial variations of climate indices in Turkey. **International Journal of climatology**, v. 31, n. 3, p. 394-403, 2011.  
desertificação: manual de indicadores. Recife: **SUDENE**, 1978.

ELOI, C. M. A. *et al.* Índice de Aridez como indicador de áreas suscetíveis à desertificação no estado do Maranhão, Brasil, 2014.

FERREIRA, J. S. *et al.* Seleção de veículos para o preparo de inoculante com bactérias diazotróficas para arroz inundado. **Agronomia**, v. 37, n. 92, p. 06-12, 2003.

FERROL, N. *et al.* Analysing arbuscular mycorrhizal fungal diversity in shrub-associated resource islands from a desertification-threatened semiarid Mediterranean ecosystem. **Applied Soil Ecology**, v. 25, n. 2, p. 123-133, 2004.

FREITAS, A. D. S. *et al.* Biological nitrogen fixation in tree legumes of the Brazilian semi-arid caatinga. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 3, p. 344-349, 2010.

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Zoneamento ecológico-econômico das áreas suscetíveis à desertificação do estado do Ceará – Núcleo I – Irauçuba/Centro-norte, 2015.

GIRI, B.; KAPOOR, R.; MUKERJI, K. G. Effect of the arbuscular mycorrhizae *Glomus fasciculatum* and *G. macrocarpum* on the growth and nutrient content of *Cassia siamea* in a semi-arid Indian wasteland soil. **New forests**, v. 29, n. 1, p. 63-73, 2005.

GOCK, M. A. *et al.* Influence of temperature, water activity and pH on growth of some xerophilic fungi. **International journal of food microbiology**, v. 81, n. 1, p. 11-19, 2003.

GOMES, T. G. *et al.* Caracterização da  $\beta$ -glicosidase produzida pelo fungo termofílico *Thermomyces lanuginosus*, isolado de material vegetal em decomposição. 2013.

GONZÁLEZ MARTÍNEZ, S. Búsqueda de genes que le confieren halotolerancia a *Aspergillus* sp. con potencial uso en Biotecnología. Tese. 2019.

GREEN, L.E.; PORRAS-ALFARO, A.; SINSABAUGH, R. L. Translocation of nitrogen and carbon integrates biotic crust and grass production in desert grassland. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 5, p. 1076-1085, 2008.

GRZĄDZIEL, J.; GAŁĄZKA, A. Fungal biodiversity of the most common types of polish soil in a long-term microplot experiment. **Frontiers in microbiology**, v. 10, p. 6, 2019.

GUIMARÃES, V. F. *et al.* Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal: da FBN à regulação hormonal, possibilitando novas aplicações. **Ciências Agrárias: Ética Do Cuidado, Legislação e Tecnologia Na Agropecuária. Centro de Ciências Agrárias/Unioeste, Marechal Candido Rondon**, p. 193-212, 2017.

HAUFF, S.N. Representatividade do Sistema Nacional de Unidades de Conservação na Caatinga. **Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Recuperado em**, v. 28, 2010.

HOSSAIN, M. *et al.* Plant growth-promoting fungi (PGPF): phytostimulation and induced systemic resistance. **Plant-microbe interactions in agro-ecological perspectives**, p. 135-191, 2017.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. **Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E)**, 2007.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação. Rio de Janeiro, 2004.

INSKEEP, W. P. *et al.* The YNP metagenome project: environmental parameters responsible for microbial distribution in the Yellowstone geothermal ecosystem. 2013.

JUNIOR, H. M. INDICADORES DE DESERTIFICAÇÃO: histórico e perspectivas. – Brasília : UNESCO, 2001.

KAMBLE, P. N. *et al.* Microbial growth, biomass, community structure and nutrient limitation in high pH and salinity soils from Pravaranagar (India). **European journal of soil biology**, v. 65, p. 87-95, 2014.

KENNEDY, A. C.; SMITH, K. L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and soil**, v. 170, n. 1, p. 75-86, 1995.

KUMAR, A. *et al.* Current developments in arbuscular mycorrhizal fungi research and its role in salinity stress alleviation: a biotechnological perspective. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 35, n. 4, p. 461-474, 2015.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015.

LANDIM, R. B. T. V.; SILVA, D. F.; ALMEIDA, H. R. R. C. Desertificação em Irauçuba (CE): Investigação de possíveis causas climáticas e antrópicas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 1-21, 2011.

LANFRANCO, L.; YOUNG, J. P.W. Genetic and genomic glimpses of the elusive arbuscular mycorrhizal fungi. **Current opinion in plant biology**, v. 15, n. 4, p. 454-461, 2012.

LANGWORTHY, T. A. Microbial life in extreme pH values. In: **Microbial Life in Extreme Environments** (D. J. KUSHNER, Editor), pp. 279-315. Academic Press, London, 1978.

LATEF, A. A. H. A.; CHAOXING, H. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 228-233, 2011.

LIPPER, L.; DUTILLY-DIANE, C.; MCCARTHY, N. Supplying carbon sequestration from West African rangelands: opportunities and barriers. **Rangeland Ecology & Management**, v. 63, n. 1, p. 155-166, 2010.

LOZUPONE, C. A.; KNIGHT, R. Global patterns in bacterial diversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 27, p. 11436-11440, 2007.

LYNCH, J.M.; BRIMECOMBE, M. J.; DE LEIJ, F. A. A. M. Rhizosphere. **e LS**, 2001.

MADIGAN, M. T. *et al.* **Microbiologia de Brock-14ª Edição**. Artmed Editora, 2016.

MANFREDINI, A. *et al.* Current Methods, Common Practices, and Perspectives in Tracking and Monitoring Bioinoculants in Soil. **Frontiers in microbiology**, v. 12, 2021.

MARUSENKO, Y.; HUBER, D. P.; HALL, S. J. Fungi mediate nitrous oxide production but not ammonia oxidation in aridland soils of the southwestern US. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 63, p. 24-36, 2013.

MATALLO JR., H.. "A desertificação no mundo e no Brasil." In: SCHENKEL, Celso Salatino & MATALLO JR., Heitor. Desertificação. Brasília: UNESCO, 1999, p. 11.

MBOW, Hans-Otto P. *et al.* Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SR2). **Ginevra, IPCC**, v. 650, 2017.

MEKURIA, W. *et al.* Effectiveness of exclosures to restore degraded soils as a result of overgrazing in Tigray, Ethiopia. **Journal of arid environments**, v. 69, n. 2, p. 270-284, 2007.

MOHAMED, D. J.; MARTINY, J. B. H. Patterns of fungal diversity and composition along a salinity gradient. **The ISME journal**, v. 5, n. 3, p. 379-388, 2011.

MOHAMMAD, M. J.; HAMAD, S. R.; MALKAWI, H. I. Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors. **Journal of arid environments**, v. 53, n. 3, p. 409-417, 2003.

NADEEM, S. M. *et al.* The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology advances**, v. 32, n. 2, p. 429-448, 2014.

OEHL, F. *et al.* Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 5, p. 724-738, 2010.

OLIVEIRA SANTANA, M. *et al.* Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. 2007.

OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Monitoramento da desertificação em Irauçuba. 2015.

ORTEGA, N. *et al.* Kinetic properties and thermal behaviour of polygalacturonase used in fruit juice clarification. **Food chemistry**, v. 88, n. 2, p. 209-217, 2004.

OSONO, T. Ecology of ligninolytic fungi associated with leaf litter decomposition. **Ecological Research**, v. 22, n. 6, p. 955-974, 2013.

OWEN, D. *et al.* Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorous acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 41-54, 2015.

PÁDUA, A. P. S. L. *et al.* Fungal endophyte diversity in the leaves of the medicinal plant *Myracrodruon urundeuva* in a Brazilian dry tropical forest and their capacity to produce L-asparaginase. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, p. 39-49, 2018.

PELE, M. A. *et al.* Development and improved selected markers to biosurfactant and bioemulsifier production by *Rhizopus* strains isolated from Caatinga soil. **African Journal of Biotechnology**, v. 17, n. 6, p. 150-157, 2018.

PEÑALVA, M. A.; ARST JR, H. N. Regulation of gene expression by ambient pH in filamentous fungi and yeasts. **Microbiology and molecular biology reviews**, v. 66, n. 3, p. 426-446, 2002.

PINTO, G. A. S. *et al.* Tanase: conceitos, produção e aplicação. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 23, n. 2, 2005.

QIAO, Q. *et al.* Characterization and variation of the rhizosphere fungal community structure of cultivated tetraploid cotton. **PLoS One**, v. 14, n. 10, p. e0207903, 2019.

REIS, V. M. Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas. **Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 2007.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, v. 171, n. 1, p. 41-53, 2006.

RODRÍGUEZ-CABALLERO, G. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation mediated changes in rhizosphere bacterial community structure while promoting revegetation in a semiarid ecosystem. **Science of the Total Environment**, v. 584, p. 838-848, 2017.

SAMPAIO, E. V. S. B. *et al.* **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003.

SCHIMMEL, J.; BALSER, T. C.; WALLENSTEIN, M. Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. **Ecology**, v. 88, n. 6, p. 1386-1394, 2007.

SCHWINNING, S.; SALA, O. E. Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia*, v. 141, n. 2, p. 211-220, 2004.

SHARMA, B.; JHA, D. K. The Role Played by Mycorrhizal Fungi in Ecorestoration. **Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration**, p. 435-449, 2017.

SIGLER, L.; CARMICHAEL, J. W. A new acidophilic *Scytalidium*. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 20, n. 2, p. 267-268, 1974.

SILVA, A. L. *et al.* Viabilidade de isolados de *Malassezia pachydermatis* e *Rhodotorula* spp. mantidos em água destilada. **Pubvet**, v. 13, p. 150, 2019.

SINGH, J. S.; GUPTA, V. K. Soil microbial biomass: a key soil driver in management of ecosystem functioning. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 497-500, 2018.

SMIT, E. *et al.* Analysis of fungal diversity in the wheat rhizosphere by sequencing of cloned PCR-amplified genes encoding 18S rRNA and temperature gradient gel electrophoresis. **Applied and environmental microbiology**, v. 65, n. 6, p. 2614-2621, 1999.

SMITH, S. E.; READ, D. J. *Mycorrhizal symbiosis*. 2010.

SOUSA, João Pedro Nascimento de. Estudo bibliográfico e bibliométrico sobre o uso de bactérias endofíticas como indutoras do crescimento de plantas nativas da Caatinga. 2020.

SOUSSI, A. *et al.* Plant-associated microbiomes in arid lands: diversity, ecology and biotechnological potential. **Plant and Soil**, v. 405, n. 1, p. 357-370, 2016.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e desertificação. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 131-150, 2015.

SOUZA, T. A. F. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi in *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir from Brazilian semi-arid. **Brazilian journal of microbiology**, v. 47, p. 359-366, 2016.

STARKEY, R. L.; WAKSMAN, S. A. Fungi tolerant to extreme acidity and high concentrations of copper sulfate. **Journal of Bacteriology**, v. 45, n. 5, p. 509-519, 1943.

STERFLINGER, K. Temperature and NaCl-tolerance of rock-inhabiting meristematic fungi. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 74, n. 4, p. 271-281, 1998.

TAKETANI, R. G.; KAVAMURA, V. N.; DOS SANTOS, S. N. Diversity and technological aspects of microorganisms from semiarid environments. **Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics**, p. 3-19, 2017.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. **Annals of botany**, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

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.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Núcleos de Desertificação no Polígono das Secas. In: VASCONCELOS SOBRINHO, J. de. **Desertificação no Nordeste do Brasil**. Recife: Ed. Universitária da UFPE. 2002.

WALL, D. H.; NIELSEN, U. N.; SIX, J. Soil biodiversity and human health. *Nature*, v. 528, n. 7580, p. 69-76, 2015.

YADAV, B. K.; TARAFDAR, J. C. *Penicillium purpurogenum*, unique P mobilizers in arid agro-ecosystems. **Arid Land Research and Management**, v. 25, n. 1, p. 87-99, 2011.

ZONN, I. S.; KUST, G. S.; ANDREEVA, O. V. Desertification paradigm: 40 years of development and global efforts. **Arid ecosystems**, v. 7, n. 3, p. 131-141, 2017.