



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA
BRUNA LETÍCIA CAMPOS DE MELO**

**OCORRÊNCIA DE *Penicillium* LINK (ASCOMYCOTA, FUNGI) NO SOLO DE
POLICULTIVOS AGROECOLÓGICOS DA CAATINGA DE PERNAMBUCO**

RECIFE

2023

BRUNA LETÍCIA CAMPOS DE MELO

**OCORRÊNCIA DE *Penicillium* LINK (ASCOMYCOTA, FUNGI) NO SOLO DE
POLICULTIVOS AGROECOLÓGICOS DA CAATINGA DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado ao Bacharelado em
Ciências Biológicas com ênfase em Ciências
Ambientais da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): Roger Fagner Ribeiro
Melo

Coorientador (a): Amanda Lucia Alves

RECIFE

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Melo, Bruna Letícia Campos de.

Ocorrência de *Penicillium* Link (Ascomycota, Fungi) no solo de
policultivos agroecológicos da Caatinga de Pernambuco / Bruna Letícia Campos
de Melo. - Recife, 2023.

47 : il., tab.

Orientador(a): Roger Fagner Ribeiro Melo

Coorientador(a): Amanda Lucia Alves

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências
Ambientais - Bacharelado, 2023.

1. Agroecologia. 2. Cultivo. 3. Fungos. 4. Manejo. 5. Diversidade. I. Melo,
Roger Fagner Ribeiro . (Orientação). II. Alves, Amanda Lucia . (Coorientação).
III. Título.

570 CDD (22.ed.)

BRUNA LETÍCIA CAMPOS DE MELO

**OCORRÊNCIA DE *Penicillium* LINK (ASCOMYCOTA, FUNGI) NO SOLO DE
POLICULTIVOS AGROECOLÓGICOS DA CAATINGA DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado ao Bacharelado em
Ciências Biológicas com ênfase em Ciências
Ambientais da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel.

Data de Aprovação: ____/____/____

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ROGER FAGNER RIBEIRO MELO (Orientador)
Departamento de Micologia – UFPE

Prof. Dr. ALEXANDRE REIS MACHADO (1º Titular)
Departamento de Micologia - UFPE

Profa. Dra. ANA CARLA DA SILVA SANTOS (2º Titular)
Departamento de Micologia – UFPE

Profa. Dra. PATRICIA VIEIRA TIAGO (Suplente)
Departamento de Micologia – UFPE

RECIFE

2023

Em memória do meu querido e amado pai, grande exemplo de força, coragem, determinação e obediência a Deus, pois nem nos momentos mais difíceis de sua vida deixou sua fé esmorecer.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me tornou capaz de superar obstáculos inimagináveis e colocou pessoas incríveis no meu caminho para me ajudar durante o curso. Ao meu pai Celino que já partiu, mas que junto a Floriza, minha mãe, me deu todo apoio e incentivo necessário para nunca desistir. Ao meu amado esposo Demetrios, por compreender todas as vezes que precisei ficar ausente para me dedicar a este trabalho, por cuidar de mim quando chegava cansada e me lembrar de que apesar das dificuldades valeria a pena todo o esforço. A todos os meus irmãos, especialmente ao Edney que me deu o meu primeiro notebook para auxiliar meus estudos, o que significou muito para mim.

Ao meu professor orientador Dr. Roger Melo, a minha coorientadora Mcs. Amanda Lucia e a Dra. Ana Carla, pois a paciência e disposição deles em ensinar e corrigir, me permitiu ter um melhor desempenho e desenvolvimento profissional, são meus maiores exemplos como profissionais na ciência. Aos demais amigos e companheiros de laboratório, pelas conversas, risadas e cafés nos intervalos, em destaque, minha queridíssima companheira Nicole que sempre oferecia seus biscoitos (risos). As minhas meninas Anny, Luísa, Larissa e Érika pelos trabalhos em grupo e por não me deixarem surtar sozinha. E por fim, mas não menos importante a minha melhor amiga Iasmyn, pois mesmo seguindo rumos diferentes depois do ensino médio, nossa amizade se tornou ainda mais forte. Obrigada por me apoiar e atravessar Recife inteira nos momentos em que mais precisei de você.

Meu muito obrigado a todos os professores que passaram pela minha vida e se dispuseram a me ensinar, por cada pessoa que por mais que não tenha citado aqui, me ajudou de alguma forma com uma palavra de incentivo.

Solo saudável, planta saudável, homem saudável.

Ana Pimavesi, 2009

RESUMO

Dentre as alternativas para uso agrícola do solo, tem-se destacado o uso de sistemas agroecológicos, entre eles, o policultivo, que é o cultivo de vegetais de várias espécies em uma mesma área, de forma simultânea, favorecido pela maior cobertura do solo em função da deposição de restos vegetais. O conhecimento do efeito de diferentes usos agrícolas do solo na manutenção de serviços ecossistêmicos, como as atividades biológicas do solo e a composição microbiana, é de grande importância para a adoção destas práticas. Considerando a importância da comunidade de fungos do solo, como parte de um projeto maior que objetivou conhecer a diversidade dos fungos filamentosos de solo de sistemas agroflorestais e de áreas nativas das mesorregiões Zona da Mata, Agreste e Sertão de Pernambuco e de monocultura, este trabalho objetivou avaliar a composição de espécies do gênero *Penicillium* em solos de policultivos agroecológicos na Caatinga de Pernambuco. Amostras de solo foram coletadas em uma área de sistema agroflorestal (SAF) nas mesorregiões Zona da Mata, Agreste e Sertão do Estado de Pernambuco. Foram realizadas seis coletas, de julho de 2019 a janeiro de 2020. Foram retiradas três amostras de solo das áreas analisadas, estas foram homogeneizadas e divididas cada uma em quatro subamostras em um quadrante de 5 m². Na etapa de isolamento utilizou-se 25 g de cada amostra de solo. No total foram feitas cinco diluições. Para a identificação dos fungos utilizou-se dois tipos de análises: análise morfológica, tanto das colônias como das microestruturas, e análise molecular, na qual a região β -tubulina (*BenA*) foi escolhida para amplificação devido a sua alta capacidade de definição de espécies de *Penicillium* e por isso, é considerada a região *barcode* do gênero. Foram identificadas oito espécies de *Penicillium* Link (*P. cinnamopurpureum*, *P. citrinum*, *P. jenningsia*, *P. rotoruae*, *P. menonorum*, *P. guanacastense*, *P. onobense*, *P. chrysogenum*). Estas espécies são encontradas no solo e associadas à rizosfera, beneficiando as plantas presentes nos agroecossistemas, melhorando a qualidade deste substrato ao oferecer metabólitos importantes para o crescimento e proteção das plantas.

Palavras-chaves: Agroecologia, Aspergillaceae, Fungos do solo.

ABSTRACT

Among the alternatives for the agricultural use of the soil, the use of systems agroecological practices, among them, polyculture, which is the cultivation of vegetables of various species in the same area, simultaneously, favored by the greater soil coverage due to the deposition of plant remains. Knowledge of the effect of different agricultural land uses on the maintenance of ecosystem services, such as soil biological activities and microbial composition, is of great importance for the adoption of these practices. Considering the importance of the soil fungal community, as part of a larger project that aimed to know the diversity of filamentous fungi in the soil of agroforestry systems and native areas of the mesoregions Zona da Mata, Agreste and Sertão of Pernambuco and of monoculture, this work aimed to evaluate the composition of species of the genus *Penicillium* in agroecological polyculture soils in the Caatinga of Pernambuco. Soil samples were collected in an agroforestry system (AFS) area in the Zona da Mata, Agreste and Sertão mesoregions of the State of Pernambuco. Six collections were carried out, from July 2019 to January 2020. Three soil samples were taken from the analyzed areas, these were homogenized and divided into four subsamples each in a quadrant of 5 m². In the isolation step, 25 g of each soil sample were used. In total, five dilutions were made. For the identification of fungi, two types of analysis were used: morphological analysis, both of colonies and microstructures, and molecular analysis, in which the β -tubulin region (BenA) was chosen for amplification due to its high capacity for species definition of *Penicillium* and therefore, it is considered the barcode region of the genus. Eight species of *Penicillium* Link (*P. cinnamopurpureum*, *P. citrinum*, *P. jenningsiae*, *P. rotoruae*, *P. menonorum*, *P. guanacastense*, *P. onobense*, *P. chrysogenum*) were identified. These species are found in the soil and associated with the rhizosphere, benefiting plants present in agroecosystems, improving the quality of this substrate by offering important metabolites for plant growth and protection.

Keywords: Agroecology, Aspergillaceae, Soil fungi.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Representação esquemática de representantes de *Penicillium*: a. conidióforo triverticilado; b. conidióforo biverticilado; c. conidióforo monoverticilado; d. ascoma, do tipo cleistotécio; e. ascos e ascosporos 15
- Figura 2** - Culturas de representantes de *Penicillium barbosae* em meios ágar extrato de levedura Czapek (CYA), extrato de levedura ágar sacarose (YES), ágar glicerol diclorano 18% (DG18) e ágar extrato de malte (MEA): verso (acima) e CYA, YES, DG18 e ágar creatina sacarose (CREA): reverso (abaixo) 17
- Figura 3** - Micrografia de conidióforos de *Penicillium barbosae* 17
- Figura 4** - Distribuição e abundância de *Penicillium* em diferentes substratos e condições 18
- Figura 5** - Áreas de diferentes usos agrícolas no sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil. A-B - Floresta Caatinga em período seco e em período de precipitação, respectivamente; C-D - Vista Interna e externa do sistema agroflorestal com 24 anos de implantação, respectivamente; E-F - sistema agroflorestal com 8 anos de implantação 22
- Figura 6** - Área de consórcio de plantas (COP) com 15 anos de implantação no sítio Volta do Enjeitado, na area rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil. A - COP com 1 ano em pousio em julho de 2019. B-C - COP cultivado com milho (*Zea mays* L) e palma (*Opuntia cochenillifera* (L.) Mill.) (Figura 2B com seta amarela), macaxeira (*Manihot esculenta* Crantz) (Figura 2B asterisco amarelo) e melância (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. and Nakai) (Figura 2C asterisco vermelho) em fevereiro de 2020. D - COP após colheita em julho de 2020 23
- Figura 7** - Topografia 1 da árvore filogenética construída pelo método de Bayesiana das espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil, representados com seus respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE 30
- Figura 8** - Topografia 2 da árvore filogenética construída pelo método de Bayesiana das espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil, representados com seus

respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE 31

Figura 9 - Topografia 3 da árvore filogenética construída pelo método de Bayesiana das espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil, representados com seus respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE 32

Figura 10 - Topografia 4 da árvore filogenética construída pelo método de Bayesiana das espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil, representados com seus respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE 33

Figura 11 - Fotografias macroscópicas de: A - *Penicillium menonorum*, B-C - *Penicillium citrinum*, D - *Penicillium cinnamopurpureum*, E - *Penicillium onobense* 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição de plantas do consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP), da agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), da agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e da floresta Caatinga (CA) por ponto de coleta no sítio Volta do Enjeitado, zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brazil 24

Tabela 2. Espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil, representados com seus respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE 28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS FUNGOS	12
2.2. OS FUNGOS DO SOLO	12
2.3. <i>PENICILLIUM</i> LINK	14
2.3.1. Características gerais de <i>Penicillium</i> Link	14
2.3.2. Taxonomia do gênero <i>Penicillium</i> Link	15
2.3.3. Diversidade de espécies e habitat	17
2.3.4. Importância ecológica	18
2.4. POLICULTIVOS AGROECOLÓGICOS NO SERTÃO DE PERNAMBUCO	19
2.5. SISTEMAS AGROFLORESTAIS E CONSÓRCIOS	20
2.6. BIOMA CAATINGA	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. LOCAL DE COLETA E ELABORAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	21
3.2. ISOLAMENTO DOS FUNGOS	25
3.3. IDENTIFICAÇÃO TAXONÔMICA	26
3.3.1. Análise morfológica	26
3.3.2. Análise molecular	26
3.3.2.1. Extração e amplificação de DNA	26
3.3.2.2. Análises filogenéticas	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
6. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O solo constitui a camada superior da terra, heterogênea, de material inconsolidado que cobre a superfície da Terra emersa, entre a litosfera e a atmosfera. É uma entidade única, que tem suas origens nas interações físicas, químicas e biológicas entre os materiais originais e a atmosfera, e é onde ocorre a maior parte da atividade biológica da faixa marrom dos ecossistemas terrestres (consumidores e decompositores). O solo é constituído por fração sólida (e.g. componentes minerais), líquida (e.g. água em diferentes graus de absorção/disponibilidade), gasosa (ar disponível em poros, incluindo vapor de água e outros gases) e matéria orgânica (biomassa ou necromassa) (GONÇALVES et al. 2016).

Fungos são componentes comuns da biomassa do solo, atuando sobretudo como decompositores de necromassa e exercendo papel fundamental na mineralização da serrapilheira e conseguinte captação pelas plantas (TEDERSOO et al. 2018). Algumas espécies de fungos podem atuar como indicadoras de determinados usos do solo. Dentre os fungos do solo, destaca-se o gênero *Penicillium*, ascomiceto conidial de grande plasticidade ecológica, capaz de utilizar diferentes substratos, sobretudo em condições de alto estresse e perturbação e em lugares inóspitos (HOUBRAKEN & SANSOM, 2011), sobretudo no bioma Caatinga (BARBOSA et al. 2020). O estudo destes fungos é importante, pois reforçam o manejo sustentável e a diversificação de plantas para que, por meio da sucessão ecológica, o agroecossistema atinja autonomia em relação à fertilização do solo e proteção das plantas (ALVES et al. 2021).

O uso do solo pode ser entendido como a forma pela qual o espaço geográfico está sendo ocupado pelo ser humano e suas atividades nele (LAMBE et al. 1991). Práticas de gestão do território e formas de uso do solo tem grande impacto sobre os ecossistemas e os recursos naturais incluindo a água e o solo. No Brasil, grande parte deste uso de solo está associado a práticas agrícolas, o que acentua a importância do estudo da ecologia dos ecossistemas onde práticas agrícolas são desenvolvidas, em diferentes escalas e em diferentes formas de uso territorial. Os agroecossistemas possuem vários graus de resiliência e estabilidade, mas estes não são apenas determinados por fatores bióticos ou ambientais, endógenos ou exógenos (ALVES et al. 2021).

Como parte de um estudo concentrado acerca das variações na estrutura e dinâmica de comunidades de fungos em solos com diferentes usos agrícolas, o objetivo deste trabalho foi avaliar a composição de espécies do gênero *Penicillium* e, compara-las em diferentes tipos de usos de solos de policultivos agroecológicos na Caatinga de Pernambuco.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Características gerais dos fungos

Os fungos estão intrinsecamente inseridos no cotidiano dos seres humanos, desde a fabricação de alimentos como queijo, bebidas, pães e bolos, até plantas que acumulam dentro e fora de suas raízes fungos simbiotes. A atividade fúngica pode ser a causa de uma série de doenças que afetam plantas e animais, incluindo pessoas (KENDRICK 2017). São responsáveis por funções ecossistêmicas de extrema importância, como a ciclagem de nutrientes e consolidação de agregados do solo através da decomposição de matéria orgânica (FALKOWSKI et al. 2008).

A definição de fungos sustenta que são organismos heterotróficos, ou seja, dependem de alguma fonte de alimento, e se nutrem por absorção (osmotróficos), possuem um corpo fusiforme, ramificado, tubular com hifas, micélios ou colônias e se reproduzem através de esporos (KENDRICK 2017). Esses organismos possuem um valor biotecnológico inestimável, pois estão presente em todos os lugares e são competidores muito eficientes. Podem ser utilizados em uma gama de métodos contra doenças humanas e de plantas, no melhoramento de colheitas e silviculturas (fungos micorrízicos e endofíticos), no biocontrole de insetos, biofertilizantes e uma infinidade de outras áreas (HYDE et al. 2019).

Filogeneticamente, os fungos estão inseridos dentro do grupo dos opistocontes. Embora muitos fungos tenham a capacidade de crescer em meios de cultura, muitas espécies não são cultiváveis in-vitro e não possuem estruturas sexuais, o que dificulta a identificação com base em morfologia. Assim, cada vez mais técnicas moleculares vêm sendo aprimoradas para a compreensão e identificação de espécies fúngicas. Quanto mais precisa for a identificação taxonômica em nível de espécie, gênero ou hierarquias superiores, mais confiável serão as atribuições de papéis ecológicos e características funcionais, como também é uma porta aberta para estudos ecofisiológicos e de biodiversidade (TEDERSOO et al. 2018).

2.2. Os fungos do solo

O solo é considerado um importante ecossistema para a diversidade de microrganismos. Quando bem desenvolvido, apresenta uma forte interação entre processos e propriedades físicas, químicas e biológicas (FRAC et al. 2018). Os fungos se acomodam bem em ambientes de solo devido a sua alta capacidade de adaptação a ambientes desfavoráveis, e também

produzem uma série de compostos enzimáticos responsáveis pela degradação de matéria orgânica que auxiliam na regulação dos ciclos biogeoquímicos do solo. Muitas espécies de fungos interagem de forma direta ou indireta com as plantas, incluindo aquelas de importância econômica, seja atuando de forma favorável ou danosa (AL-ANI et al. 2021). Os fungos filamentosos vêm sendo cada vez mais estudados na intenção de utilizar as funções destes para o aprimoramento agrícola, pois a atividade microbiana do solo oferece vantagens na fixação de nitrogênio, solubilização do fosfato e controle biológico de fitopatógenos e pragas agrícolas (SILVA et al. 2017; BARROS et al. 2019; SHARF et al. 2021).

Uma pesquisa realizada por Wiwiek Harsonowati et al. (2020), evidenciou que o isolado do fungo endofítico *Cladophialophora chaetospira* possui eficácia no biocontrole e crescimento de plantas de morango, podendo ser destinado ao aprimoramento de fertilizantes sustentáveis que substituam os químicos que ainda são muito utilizados na agricultura. Muitos fungos têm alto potencial bioissorvente de metais tóxicos, como cádmio, mercúrio, cobre, zinco, e utilizam seus corpos de frutificação como local de armazenamento mesmo gerando impacto em seu crescimento e reprodução (FRAC et al. 2018). A biodiversidade e abundância de organismos varia de acordo com o tipo de solo e fatores como pH, quantidade de matéria orgânica, textura do solo e as práticas de manuseamento. O fato de poder encontrar em apenas um punhado de terra uma vasta gama de microrganismos, é explicado pela grande quantidade de espaço poroso existente ali que serve como seu habitat (GARDI et al. 2009).

Os seres vivos do solo podem ser divididos em controladores biológicos, reguladores do ecossistema, decompositores de matéria orgânica e transformadores de compostos. Os controladores biológicos inibem doenças, pragas e organismos competidores. Os reguladores do ecossistema são responsáveis pelas modificações estruturais do ambiente, entre eles estão as formigas, minhocas, cupins e também alguns mamíferos de pequeno porte, e essas alterações no meio causadas por eles servem como *hotspots* ou, mais precisamente, como pontos de acesso para microrganismos exercerem suas atividades (GARDI et al. 2009). Os decompositores e transformadores de compostos tem como função a modificação de substratos decorrentes de plantas e restos de animais mortos, em matéria orgânica consolidada do solo (MOS) a partir dos produtos resultantes da microbiota presente no solo (RACZKA et al. 2021).

A comunidade microbiana da rizosfera, região do solo que recebe influência direta do sistema radicular das plantas (HOUBRAKEN & SANSOM, 2011), diferencia-se significativamente, em composição e riqueza daquela presente no solo livre de raízes. A comunidade microbiana da rizosfera pode variar em estrutura e composição de espécies em função do tipo de solo, espécie de planta, estado nutricional, idade, estresse, doenças, dentre

outros fatores ambientais. Cada vez mais a agricultura vem crescendo mundialmente, diante disso a comunidade científica tem reunido esforços para encontrar meios de substituir os agrotóxicos através de bioinsumos. Os microrganismos presentes na rizosfera atribuem diversos benefícios às plantas daquele solo, protegendo-as de doenças, mitigando os efeitos de estresses abióticos, como acidez/alcalinidade, seca, metais pesados, baixa/alta temperatura e salinidade (WANG et al. 2018; KOUR et al. 2020).

2.3. *Penicillium* Link

2.3.1. Características gerais de *Penicillium* Link

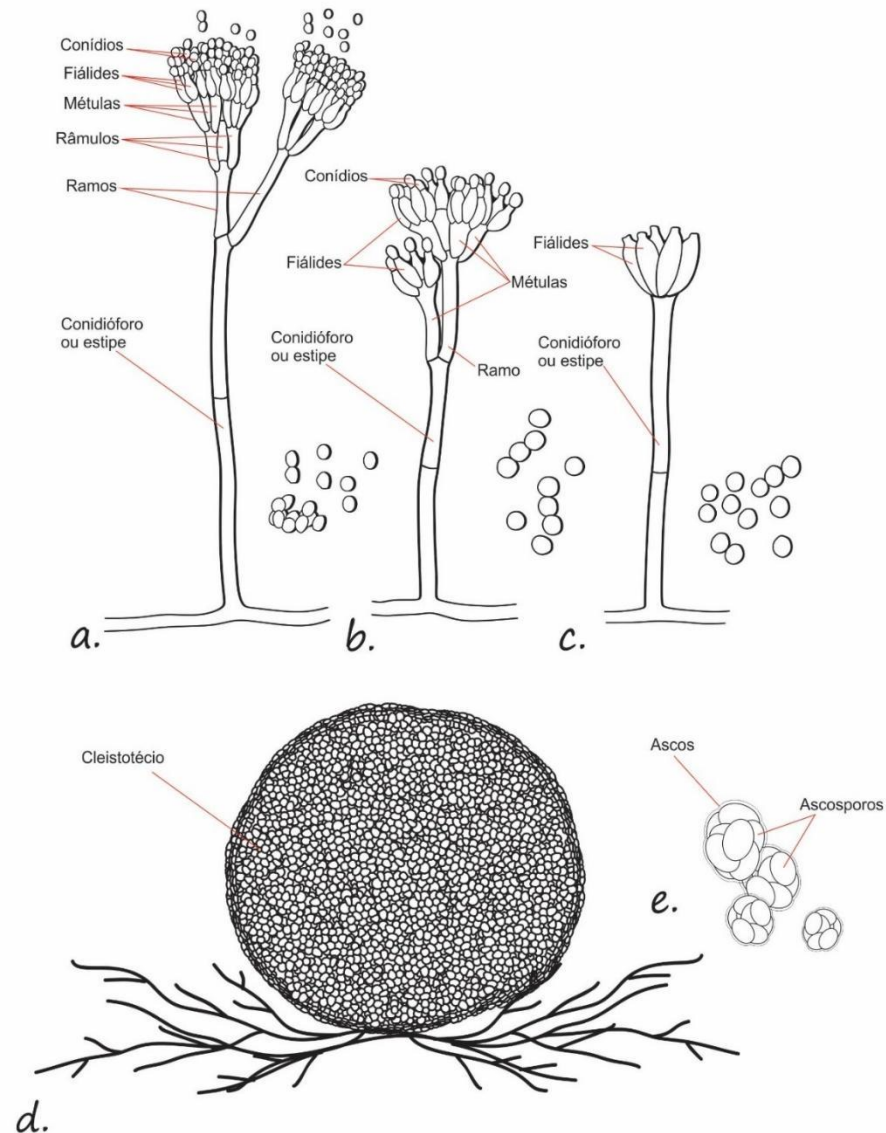
O nome *Penicillium* teve origem etimológica na palavra ‘*penicillum*’ que significa “pequeno pincel” e foi estabelecido por Heinrich Friedrich Link em 1809 (LINK 1809). Encontra-se na família *Aspergillaceae* da ordem Eurotiales, e é um grupo bastante conhecido pela importância para o meio ambiente, economia, medicina e biotecnologia (ALTAF et al. 2018; BARBOSA et al. 2020). O gênero possui cerca de 467 espécies reconhecidas (VISAGIE et al. 2014). São caracterizados por serem fungos anamorfos, amplamente distribuídos no solo, com conidióforos penicilioides (em forma de pincel), usualmente ramificados e dispersão de esporos pelo ar (Fig. 1) (BARBOSA et al. 2020).

Determinadas espécies de *Penicillium* são capazes de solubilizar fósforo, sideróforos (captadores de ferro) e fitormônios essenciais para o crescimento das plantas como, ácido giberélico e indol acético (PARK et al. 2020; RADHAKRISHNAN et al. 2013). Algumas espécies tem uma ampla utilidade farmacológica na produção de antibióticos devido a produção de metabólitos secundários. A penicilina é um dos mais conhecidos, e atua contra uma diversidade de bactérias capazes de afetar a saúde dos seres humanos. Além disso, podem apresentar também atividades anticancerígenas, antifúngicas, microbicidas, antitumorais e antiangiogênicas (PETERSON et al. 2000; FERNANDEZ-BUNSTER 2021).

Na natureza, são grandes responsáveis pela decomposição de matéria orgânica, apodrecimento de colheitas e grande interferência na segurança alimentar, isto, devido a contaminação dos alimentos através de suas micotoxinas, como a ocratoxina A e a patulina que causam alergias e micotoxicoses (FRISVAD et al. 2004; SAMSON et al. 2019; FERNANDEZ-BUNSTER 2021). Em paralelo a isso, algumas espécies também apresentam efeitos benéficos sobre a alimentação, pois são utilizadas na fermentação de queijos característicos como o

Camembert, Roquefort ou Brie (GIRAUD et al. 2010) e produtos embutidos (LÓPEZ-PÉREZ et al. 2014)

Figura 1 - Representação esquemática de representantes de *Penicillium*: a. conidióforo triverticilado; b. conidióforo biverticilado; c. conidióforo monoverticilado; d. ascoma, do tipo cleistotécio; e. ascos e ascosporos



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

2.3.2 Taxonomia do gênero *Penicillium* Link

Penicillium é dividido em dois subgrupos, 32 seções (7 são novas) e 89 séries (57 novas, 6 novas séries). Identificar as espécies corretas de Eurotiales é difícil, mas extremamente importante, porque o nome da espécie é um link para informações. As listas de espécies

reconhecidas contribuem para que os pesquisadores identifiquem usando esquemas taxonômicos modernos. Na lista mais recente de 2014 foi constatado que *Penicillium* possui 354 espécies, e atualmente se encontra com 483 (HOUBRAKEN et al 2020). Para determinar a taxonomia do gênero *Penicillium* é necessário recorrer a taxonomia polifásica, ou seja, testar o fungo em diferentes condições de crescimento (temperaturas e substratos diferentes). Os meios de cultura mais comuns para descrever espécies de *Penicillium* são ágar extrato de levedura Czapek (CYA), CYA supplemented with 5% NaCl (CYAS), ágar extrato de levedura sacarose (YES), ágar creatina sacarose (CREA), Czapek ágar (CZ), ágar glicerol diclorano 18% (DG18), ágar extrato de malte (MEA, Oxoid), and oatmeal agar (OA) (Samson et al. 2010). (MEA, CZ, CYA, CREA, OA, DG18) (Figuras 2 e 3) (HOUBRAKEN et al 2020).

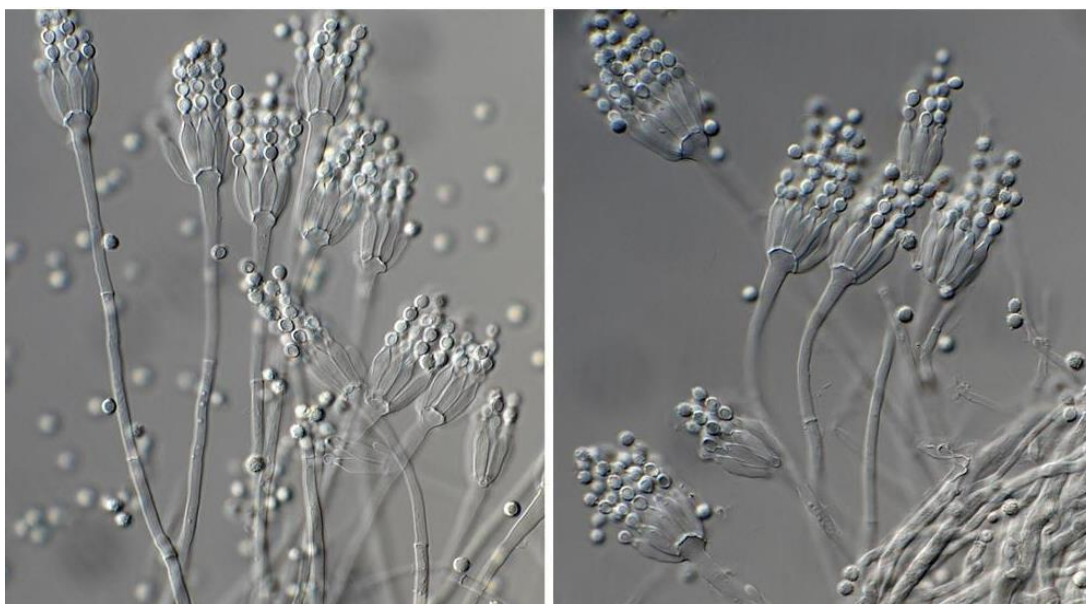
O DNA barcoding foi criado com o intuito de tornar realizável a identificação de espécies de organismos eucarióticos através de uma pequena sequência de DNA padrão de um banco de dados. Recentemente, a região de transcrição de rDNA de expassador interno (ITS) foi aceita como o código de barra dos fungos, sendo este um marcadores universais para esses organismos. No entanto, para *Penicillium* ele não é tão viável, pois não define com precisão as espécies profundamente relacionadas e, por isso, foi estabelecido um marcador secundário que tivesse uma amplificação fácil, boa definição de espécies e principalmente um conjunto completo de dados de referências, sendo o marcador β -tubulina (BenA) o que melhor se encaixa. Existem também alguns outros tipos de marcadores semelhantes a BenA que são utilizados para *Penicillium* como, calmodulina (CaM) ou os genes da segunda maior subunidade da RNA polimerase II (RPB2) (VISAGIE et al. 2014).

Figura 2 - Culturas de representantes de *Penicillium barbosae* em meios ágar extrato de levedura Czapek (CYA), extrato de levedura ágar sacarose (YES), ágar glicerol diclorano 18% (DG18) e ágar extrato de malte (MEA): verso (acima) e CYA, YES, DG18 e ágar creatina sacarose (CREA): reverso (abaixo)



Fonte: adaptado de Ramos et al. (2021)

Figura 3 -Micrografia de conidióforos de *Penicillium barbosae*



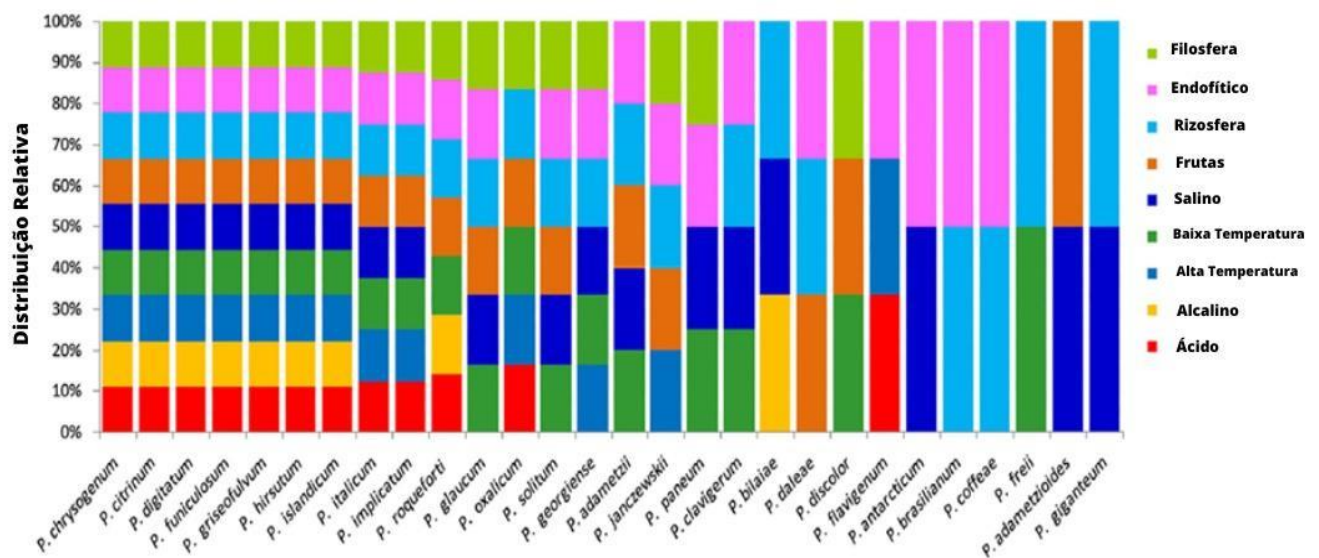
Fonte: RAMOS et al. (adaptado, 2021)

2.3.3. Diversidade de espécies e habitat

Penicillium é um dos grupos de fungos mais frequentemente encontrados devido a sua alta adaptabilidade a diversos tipos de ambientes como, solo, ar, edifícios e ambientes extremos (Figura 4) seja associado a plantas, matéria orgânica ou como contaminantes em diferentes tipos

de alimentos (YADAV et al. 2018). As alterações sazonais influenciam as temperaturas de forma ininterrupta ou inconstante, e os organismos presentes possam ser classificados em psicrotróficos ou psicrotolerantes, sendo capazes de sobreviver nessas condições. Estudos recentes têm mostrado a importância desses fungos nesse tipo de ambiente, pois mesmo em locais com temperaturas extremas suas enzimas promovem o crescimento das plantas (SINGH et al. 2016; YADAV et al. 2016).

Figura 4 - Distribuição e abundância de *Penicillium* em diferentes substratos e condições



Fonte: YADAV et al. (adaptado, 2016).

São considerados fungos cosmopolitas, pois estão presentes desde os trópicos até os polos. Sua dispersão se torna facilitada por apresentarem conídios pequenos e hidrofóbicos. Também possuem uma grande tolerância a pH, condutividade elétrica e salinidade (MCRAE et al. 1999). Kozlovsky et al. (2019) isolaram dois grupos de 14 e 9 espécies de *Penicillium* de sedimentos de rochas congeladas, água do lago Radok (ambientes naturais) e produtos derivados do petróleo na Antártica. A partir disso, confirmaram que o arranjo da comunidade desses fungos se modifica conforme os impactos que ocorrem no ambiente. Estudos como esses evidenciam a importância desses fungos na biorremediação de ambientes degradados, pois possuem a capacidade de usar derivados do petróleo como fonte de carbono.

2.3.4. Importância ecológica

Os fungos penicilioides possuem um amplo interesse ecológico, pois têm distribuição mundial e possuem diversos habitats, desde o solo de florestas, solo de praia, solo cultivado até

solo desértico, podendo ainda estar associado a plantas, frutos, grãos e insetos (PARK et al. 2015). Barbosa et al. (2018) estudaram fungos associados ao mel, pólen e ninho da abelha *Melipona scutellaris* e constataram que a maior parte dos isolados foram de *Penicillium*, incluindo espécies novas.

São organismos que também fazem parte de processos biogeoquímicos, atuando na disponibilidade de nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S), principais responsáveis pelo crescimento das plantas (BASU et al. 2021). A ciclagem biogeoquímica é primordial para manter um solo fértil e produtivo, seja em ecossistema natural ou agrícola. *Penicillium* é um dos grupos fundamentais para ciclagem de P na microbiota do solo, isto, por que conseguem produzir ácidos orgânicos capazes de dissolver precipitados de P, ou quelar os cátions precipitantes desse elemento, liberando-o em simultâneo na solução (GADD et al. 1999).

Penicillium é comumente encontrado associado a raízes de diversas plantas cultivadas, cumprindo um importante papel de induzir a nutrição de P pela planta; vem sendo bastante utilizado comercialmente como inoculante de aumento de nutrição, especificamente as espécies *Penicillium bilaiae* (JumpStart; Philom Bios, Saskatoon, Canadá) e *Penicillium radicum* (PR-70 RELEASE; Bio-Care Technology, Somersby, Austrália). Ramos et al. (2018) analisaram a diversidade de *Penicillium* e *Talaromyces* em solo de cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, Brasil e de 1344 isolados, 1108 eram de *Penicillium* (Figuras 2 e 3) (RAMOS et al. 2021).

2.4. Policultivos agroecológicos no Sertão de Pernambuco

Os Policultivos agroecológicos abrangem uma variedade de sistemas que aprimoram a produção agrícola, reduzindo os impactos ambientais negativos e, ajustando-se de acordo com os fatores abióticos locais e as necessidades do agricultor. É uma forma de plantio diversificado sem o uso de produtos químicos para a recuperação de áreas degradadas (ALVES et al. 2021). Esses sistemas são importantes para a comunidade acadêmica, pois proporcionam aos pesquisadores um maior potencial de controle, teste e manipulação dos componentes do sistema quando comparado aos ecossistemas naturais, servindo também como produção alternativa para a agroecologia (HECHT 2019).

A agroecologia é a ciência que estuda o desenvolvimento de soluções ecológicas no manuseio de agroecossistemas, e se originou com a necessidade de substituir a prática agrícola presente em sistemas convencionais. Os estudos nessa área estão cada vez mais direcionados a explicar o aumento de problemas em decorrência da globalização e industrialização de

alimentos advindos da agricultura convencional. Para implementação de métodos ecológicos é essencial uma perspectiva interdisciplinar pautada em ação, de forma a analisar também o contexto econômico e social do local (MÉNDEZ et al. 2013).

São muitos os benefícios alcançados através de práticas ecológicas dentro da agricultura, tanto para os humanos, como para a fauna e flora. Dentre eles, uma interação eficiente entre espécies, redução da perda de energia e recursos por meio da reciclagem, uso mínimo de produtos tóxicos, agrupamento da biodiversidade em escalas de tempo e espaço, além de propiciar variedade e segurança alimentar para os consumidores, que em muitos casos são os próprios produtores. Para o manejo ecológico são utilizadas práticas de introdução de matéria orgânica no solo, cultivos de diferentes espécies de plantas, consórcio, o uso de cercas vivas, matas ciliares e bosques para delimitar espaços de pastagem dos rebanhos (MADSEN et al. 2020).

2.5. Sistemas agroflorestais e consórcios

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) e Consórcios de Plantas (COPs) são modelos de policultivos agroecológicos, que diferem entre si na composição vegetal e manejo, pois nas áreas de SAFs ocorrem espécies lenhosas. São sistemas representativos da transição de uma agricultura baseada em produtos químicos para um agroecossistema de manejo sustentável pautado em ideais, mecanismos e tecnologias ecológicas (ALVES et al 2021). Um fator importante relacionado aos SAFs é sua capacidade de restaurar ambientes protegidos, como as áreas de preservação dentro das propriedades rurais. A atenção a essas áreas é imprescindível, pois abrigam grande parte da biodiversidade (BEZERRA et al. 2019).

As áreas de assentamento no Brasil são caracterizadas por possuir um solo improdutivo devido à monocultura acentuada e, por isso passam a ser destinadas a pessoas de baixa renda. O manejo sustentável através do plantio diversificado torna-se uma alternativa para a recuperação dessas áreas, sendo importante levar em consideração fatores econômicos, sociais, culturais, éticos, ambientais e políticos (ALVES et al 2021).

2.7. Bioma Caatinga

A Caatinga é um bioma exclusivo do Brasil que abrange cerca de 840.000 km² de extensão. Ela integra os estados de Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e o norte de Minas Gerais (MMA 2022). É um ecossistema onde

prevalece o clima semiárido (VELLOSO et al, 2002), em que a chuva possui uma demanda evaporativa abaixo de 65% (DELGADO-BAQUERIZO et al. 2013) devido a sua localização geográfica em regiões com alta temperatura, baixa extensão térmica anual, baixa umidade relativa do ar e longos períodos de estiagem, sendo constituídas por plantas adaptadas a essas condições. A origem do nome “Caatinga” veio do Tupi-guarani, e remete a “floresta branca” pela aparência da vegetação na estação seca (DE ALBUQUERQUE et al. 1995), sua composição é uma mistura de mata xerofítica, caducifólia e espinheiro, parecida com algumas regiões áridas do norte da Venezuela, Colômbia e América Central (LEAL et al. 2005).

Esse bioma apresenta uma riqueza de biodiversidade da fauna estimada em 1487 espécies, incluindo répteis, anfíbios, pássaros, insetos e mamíferos. A flora se apresenta de forma intrínseca comparada a outras florestas, e supera a concepção estabelecida a muitos anos de ser um bioma pobre em biodiversidade, dada a aparência de a vegetação possuir um aspecto seco e sem vida (SANTOS et al. 2022). É responsável por sustentar diversas atividades econômicas direcionadas a dinâmicas agrossilvopastoris e industriais (MMA 2022).

As ocupações das áreas nativas para a introdução de culturas agrícolas ou instalação de parques industriais e o manejo do solo seguindo a agricultura convencional, têm cooperado cada vez mais para a diminuição da conservação dos recursos ambientais e, dessa forma, dificulta a subsistência humana e animal em locais que já enfrentam problemas de baixa taxa de precipitação, acarretando de modo direto no desdobramento dos processos de desertificação (VIEIRA et al. 2013; WIJITKOSUM 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de coleta e elaboração dos experimentos

As amostras de solo foram coletadas no Sertão do Pajeú, Pernambuco Brasil, em um fragmento de floresta Caatinga, em um SAF com 24 anos de implantação, em um SAF com 8 anos de implantação (Figura 5) e num consórcio de plantas com 15 anos de implantação (Figura 6). A profundidade do solo coletado foi estabelecida em 5 cm, com divisão em duas áreas procedentes de cada sistema agroflorestal. Nas quatro áreas de estudo foram observadas quais plantas cultivadas estavam presentes nos quadrantes (Tabela 1).

Figura 5 - Áreas de diferentes usos agrícolas no sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil. A-B - Floresta Caatinga em período seco e em período de precipitação, respectivamente; C-D - Vista

Interna e externa do sistema agroflorestal com 24 anos de implantação, respectivamente; E-F - sistema agroflorestal com 8 anos de implantação

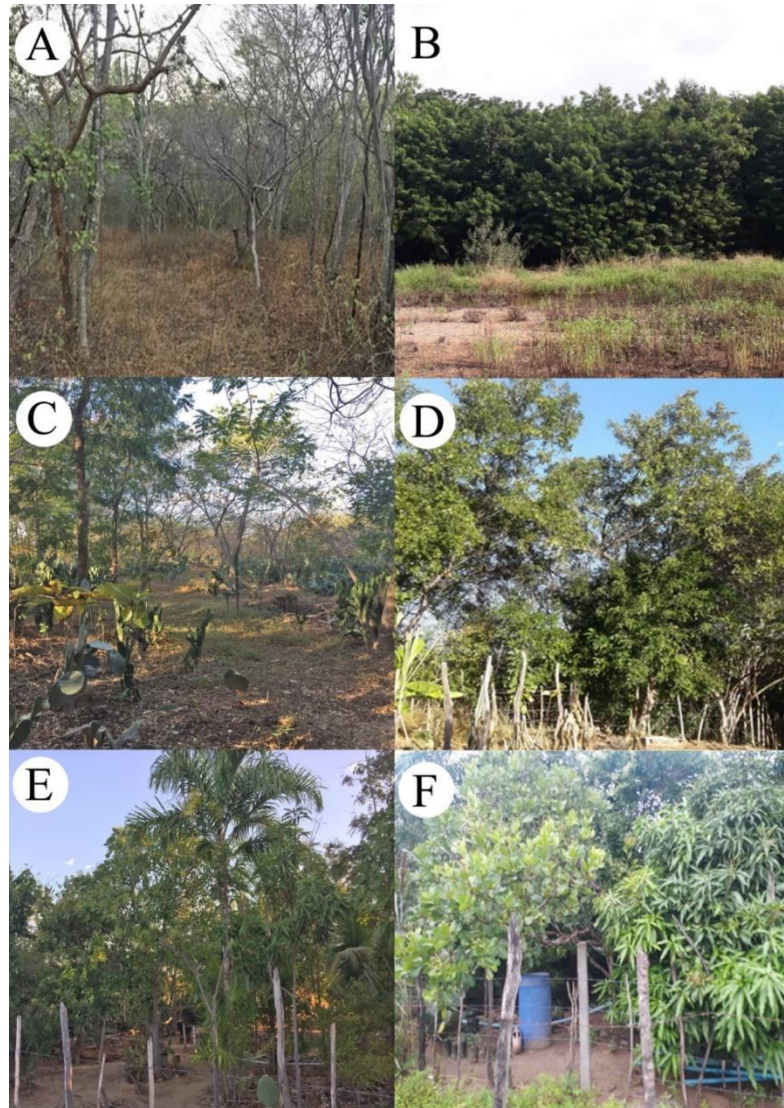
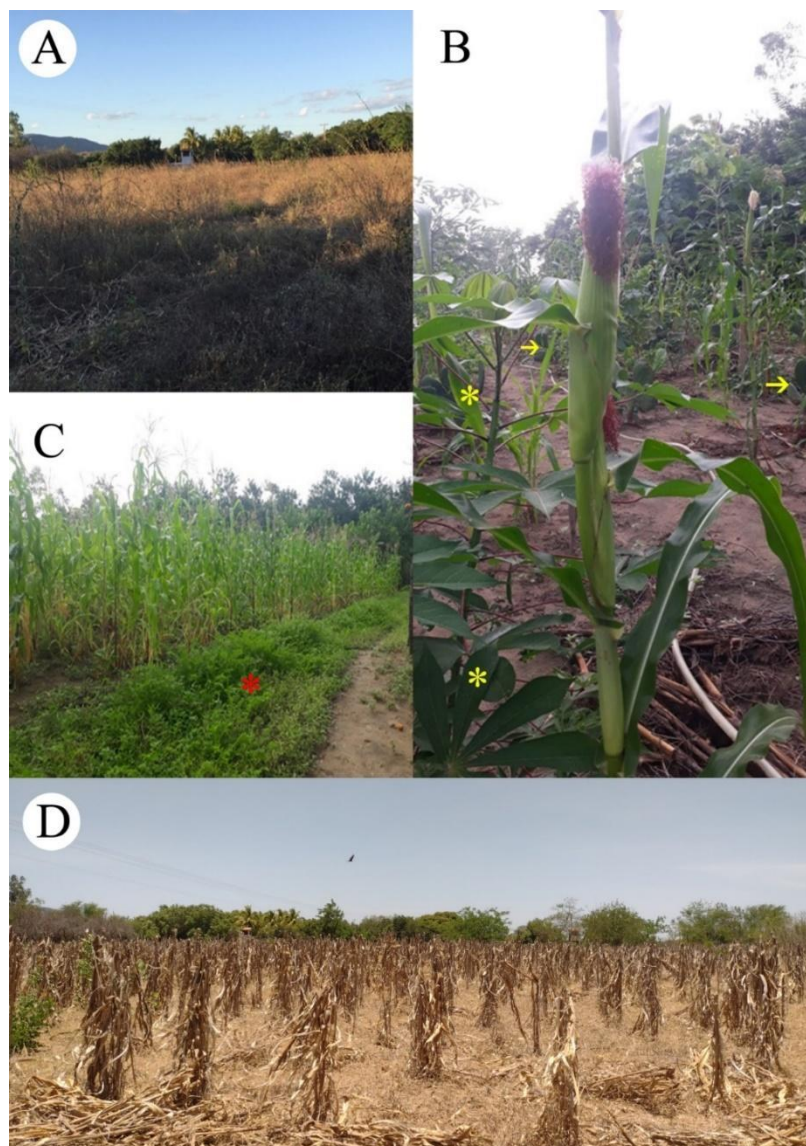


Figura 6 - Área de consórcio de plantas (COP) com 15 anos de implantação no sítio Volta do Enjeitado, na área rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil. A - COP com 1 ano em pousio em julho de 2019. B-C - COP cultivado com milho (*Zea mays* L) e palma (*Opuntia cochenillifera* (L.) Mill.) (Figura 2B com seta amarela), macaxeira (*Manihot esculenta* Crantz) (Figura 2B asterisco amarelo) e melância (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. and Nakai) (Figura 2C asterisco vermelho) em fevereiro de 2020. D - COP após colheita em julho de 2020



No total foram realizadas seis coletas em diferentes épocas, julho de 2019, janeiro de 2020, julho de 2020, janeiro de 2021, julho de 2021 e janeiro de 2022. Foram retiradas três amostras de solo das áreas analisadas, estas foram homogeneizadas e divididas cada uma em quatro subamostras em um quadrante de 5 m² (2,5 × 2,0 m) (COSTA et al. 2011). Logo após, foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e levados para o Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores do Departamento de Micologia do Centro de Biociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Tabela 1 - Composição de plantas do consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP), da agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), da agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e da floresta Caatinga (CA) por ponto de coleta no sítio Volta do Enjeitado, zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brazil

A	COP/	SAF8/	SAF24/	CA/
mostra de solo	localização geográfica	localização geográfica	localização geográfica	localização geográfica
1	Zea mays L. e Manihot esculenta Crantz/ 07.91779 S, 038.04833 W	<i>Anacardium occidentale</i> L., <i>Opuntia cochenillifera</i> (L.) Mill., <i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth., <i>Annona squamosa</i> L. / 0791776 S, 03804864 W	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp, <i>Opuntia cochenillifera</i> (L.) Mill., <i>Triplaris gardneriana</i> Wedd., <i>Lithrea molleoides</i> (Vell.) Engl. / 0791846 S, 03804819 W.	<i>Sideroxy lon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D. Penn., <i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl., <i>Coutarea hexandra</i> Schum. / 0791505 S, 03805006 W
		<i>Mangifera indica</i> L., <i>A. occidentale</i> L., <i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr., <i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth., <i>Citrus reticulata</i> Blanco, <i>Talisia esculenta</i> (Cambess.) Radlk., <i>Euphorbia heterophylla</i> L., <i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos, <i>Ananas comosus</i> (L.) Merr., <i>A. squamosa</i> L., <i>O.</i>	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp, <i>Opuntia cochenillifera</i> (L.) Mill., <i>Anacardium occidentale</i> L., <i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth., <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit, <i>Hymenaea courbaril</i> L. / 0791806 S, 03804782 W	<i>Croton conduplicatus</i> Kunth., <i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns., <i>Amburana cearensis</i> A.C. Smith / 0791444 S, 03805033 W
2	Zea mays L./ 07.91767 S, 038.04816 W	<i>Mangifera indica</i> L., <i>A. occidentale</i> L., <i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr., <i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth., <i>Citrus reticulata</i> Blanco, <i>Talisia esculenta</i> (Cambess.) Radlk., <i>Euphorbia heterophylla</i> L., <i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos, <i>Ananas comosus</i> (L.) Merr., <i>A. squamosa</i> L., <i>O.</i>	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp, <i>Opuntia cochenillifera</i> (L.) Mill., <i>Anacardium occidentale</i> L., <i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth., <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit, <i>Hymenaea courbaril</i> L. / 0791806 S, 03804782 W	<i>Croton conduplicatus</i> Kunth., <i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns., <i>Amburana cearensis</i> A.C. Smith / 0791444 S, 03805033 W

			<i>cochenillifera</i> (L.) Mill. / 0791832 S, 03804845 W
			<i>A. squamosa</i> L., <i>Anacardium</i> <i>occidentale</i> L., <i>Gliricidia</i> <i>Commip</i> <i>Mimosa</i> <i>sepium</i> (Jacq.) <i>hora</i> <i>caesalpiniifolia</i> Kunth ex Walp, <i>leptophloeos</i> <i>Zea</i> Benth., <i>Opuntia</i> <i>Samanea saman</i> (Mart.) J.B. <i>mays</i> L. e <i>cochenillifera</i> (Jacq.) Merr., Gillett, <i>Schinus</i> <i>Opuntia</i> (L.) Mill., <i>Morus</i> <i>Leucaena</i> <i>terebinthifolius</i> 3 <i>cochenillifera</i> <i>alba</i> L., <i>Citrus</i> <i>leucocephala</i> Raddi, (L.) Mill./ <i>sinensis</i> L. Osbeck., (Lam.) de Wit, <i>Aspidosperma</i> 07.91757 S, <i>Malpighia</i> <i>Eugenia uniflora</i> <i>carapanauba</i> 03804796 W <i>punicifolia</i> L., L. / 0791806 S, Pichon / <i>Copernicia</i> 03804758 W 0791492 S, <i>prunifera</i> (Miller) 03805031 W H. E Moore / 0791804 S, 03804853 W

3.2. Isolamento dos fungos

Um volume de 25 g de cada amostra de solo foi medido em um copo de Becker de 50 mL graduado, foram adicionados em um frasco de Erlenmeyer contendo 225 mL de água destilada esterilizada para homogeneização da suspensão. No total foram feitas três diluições, a contar do frasco de Erlenmeyer, transferindo 1 mL para outros 2 tubos de ensaio com 9 mL de água destilada esterilizada cada. O inóculo em placa de Petri contendo ágar Sabouraud + cloranfenicol (170 mg. mL⁻¹) + rosa bengala (0,05 mL.L⁻¹) ocorreu com a transferência de 1 mL da solução diluída no último tubo de ensaio. Foi realizada três repetições de diluição seriada. Em seguida, as placas de Petri foram incubadas a 28 °C por 10 dias.

Após os 10 dias de crescimento, houve uma triagem em cada placa para analisar as características morfológicas das colônias e esporos, sendo necessário para não acontecer de espécies idênticas em uma única placa serem purificadas. A etapa de purificação foi feita em

ágar Sabouraud + cloranfenicol (170 mg. mL^{-1}) por repicagens sucessivas até a obtenção das culturas axênicas. Após isso, foram estocadas em glicerol e armazenadas em geladeira (4°C) até a etapa de identificação.

3.3. Identificação taxonômica

3.3.1. Análise morfológica

Para a identificação dos fungos penicilióides, utilizou-se dois tipos de análises, uma de características macroscópicas, como coloração, aspecto e diâmetro das colônias e a outra baseada em aspectos microscópicos (microestruturas somáticas e reprodutivas) de acordo com a literatura especializada. Para analisar os aspectos microscópicos foi empregada a técnica de cultura sob lamínula, em que fragmentos do material fúngico foram transferidos para pontos equidistantes da placa de Petri contendo meio de cultura Extrato de Malte e Agar (MEA) e sobre cada porção foi colocada uma lamínula já esterilizada. Após 7 dias de incubação em 25°C , as lamínulas foram retiradas da placa e postas de forma invertida sobre uma lâmina corada com uma gota de ácido láctico e observadas ao microscópio óptico. Os espécimes estão depositados em coleção de cultura particular no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, Departamento de Micologia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE.

3.3.2. Análise molecular

3.3.2.1. Extração e amplificação de DNA

Para extração de DNA, foi utilizado o *Kit Wizard Genomic DNA Purification*. Os microrganismos foram cultivados em tubo com meio líquido à base de batata dextrose (BD) e armazenados em BOD à 27°C . Depois de cinco dias, o micélio foi coletado e repassado para tubo de extração com pérolas de vidro. Após o material fúngico ser macerado, foi colocado em banho maria por 30 minutos a uma temperatura de 65°C . Em seguida, foi adicionado $500 \mu\text{L}$ de solução de lise nuclear (*Nuclei Lysis Solution*), colocadas em *Fastprep* e incubadas de 15–30 minutos no banho seco a 65°C . Adicionou-se $200 \mu\text{L}$ de solução de precipitação de proteínas, e foi realizado o processo de homogeneização no vórtex em velocidade alta por 10 segundos e, logo depois, as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 1400 rpm . O

sobrenadante foi transferido em 500 µL para novos tubos de 1,5 mL, contendo 500 µL de isopropanol frio. Posteriormente, é incubado no freezer por 20 min e, novamente centrifugado a 1400 rpm por 5 min, ocorrendo assim a formação do pellet. O sobrenadante é descartado do tubo, o material passa por lavagem com etanol 70 % resfriado, vai para a centrifugação e, em seguida, passa por banho seco. Após a secagem, o material genético é armazenado no freezer em uma solução para reidratação. Para confirmar a presença de DNA e estimar sua concentração, foi realizada eletroforese em gel de agarose, com posterior visualização em transiluminador.

O processo de PCR (*Polimerase Chain Reaction* - reação em cadeia da polimerase) foi realizado através da preparação de um volume total de 15 µL com as seguintes concentrações iniciais dos reagentes: MgCl₂ (10X), dNTP 10 µL, primer F-5'3' 5 µL, primer R-3'5' 5 µL, enzima Taq Polimerase 5 µL. Estes reagentes foram diluídos em água ultrapura e um volume final de 1,5 µL de DNA previamente diluído foi usado para complementação do volume total de 15 µL. Foram realizados 35 ciclos com as seguintes temperaturas e tempos: 94 °C por 45 s (desnaturação), 55 °C por 45 s (anelamento), 72 °C por 60 s (extensão). A região β-tubulina (*BenA*) foi escolhida para amplificação, utilizando os *primers* Bt2a e Bt2b (HOUBRAKEN *et al.* 2019), devido a sua alta capacidade de definição de espécies de e por ser considerada a região *Barcode* do gênero *Penicillium* (ALVES *et al.*, 2022). Posteriormente, as amostras foram submetidas ao processo de sequenciamento na Plataforma Multiusuários de Sequenciamento do Centro de Biociências da UFPE (Recife, Brasil).

3.3.2.2. Análises filogenéticas

Eletroferogramas foram editados no Sequencher 4.7 (Gene Codes Corp., Ann Arbor, Michigan) e exportados como arquivos fasta. As sequências obtidas foram alinhadas com outras recuperadas dos Bancos de Dados, como *Genbank*, utilizando a ferramenta de alinhamento Muscle (EDGAR, 2004) implementada no MEGA v. 7 (KUMAR *et al.*, 2016). Árvores filogenéticas foram construídas por meio do método máxima verossimilhança (MV) com 1000 reamostragens de *bootstrap*. A seleção do modelo de substituição nucleotídica para a análise de MV foi determinada pelo jModelTest2 v. 2.1.10 (DARRIBA *et al.*, 2012) e os filogramas foram construídos na Plataforma CIPRES Science Gateway (MILLER *et al.*, 2012) usando RAxML-HPG BlackBox (8.2.10) (STAMATAKIS, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Num total de 53 isolados fúngicos penicilióides armazenados em glicerol obtidos dos diferentes sistemas de uso do solo estudados, 11 perderam sua viabilidade, restando 42 isolados. Após o agrupamento por meio da comparação morfológica, totalizou-se 25 espécimes de fungos penicilióides. Com o auxílio da amplificação do DNA e sequenciamento da região gênica Betatubulina, de 25 espécimes penicilióides, oito são espécies de *Penicillium* Link, sete pertencentes ao subgênero *Aspergilloides* (*Penicillium cinnamopurpureum*, *P. citrinum*, *P. jenningsiae*, *P. rotoruae*, *P. menonorum*, *P. guanacastense* e *P. onobense*) e uma ao subgênero *Penicillium* (*Penicillium chrysogenum*) nos diferentes sistemas agrícolas estudados e na floresta Caatinga (Tabela 2) (Figuras 7, 8, 9 e 10).

Tabela 2 - Espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil, representados com seus respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE

Espécies de <i>Penicillium</i>	COP15	SAF8	SAF24	CA
Seção <i>Aspergilloides</i>				
<i>Penicillium cinnamopurpureum</i>			001H8	001H8
<i>Penicillium citrinum</i>	002G5		002H2	
<i>Penicillium jenningsiae</i>			001I9	
<i>Penicillium rotoruae</i>		003A8		
<i>Penicillium menonorum</i>		002D5		
<i>Penicillium guanacastense</i>				004B6
<i>Penicillium onobense</i>		002I5		
Seção <i>Penicillium</i>				
<i>Penicillium chrysogenum</i>		001B1	001D6	

O Consórcio e o fragmento de Mata de Caatinga foram as áreas que tiveram as menores ocorrências de espécies de *Penicillium* em relação aos SAFs. A menor diversidade de espécies de *Penicillium* encontradas nesses locais pode estar associado à comunidade de plantas desses ambientes, no qual de acordo com Park et al. (2020), para cada espécie de planta pode existir uma interação com uma espécie de *Penicillium*, o que denota que, uma maior variedade de plantas presentes no local, relaciona-se com uma maior quantidade de espécies de *Penicillium*. Essa relação pode ser potencialmente observada nos ambientes de SAFs em decorrência da sua maior variedade de plantas (ALVES et al. 2021).

No COP15 foi encontrada uma espécie da Seção *Aspergilloides* (*P. citrinum*), no SAF8 foram encontradas três espécies da Seção *Aspergilloides* (*P. rotoruae*, *P. menonorum*, *P. onobense*) e uma da Seção *Penicillium* (*P. chrysogenum*), no SAF24 também foram registradas quatro espécies, três da Seção *Aspergilloides* (*P. cinnamopurpureum*, *P. citrinum* e *P. jenningsiae*) e uma da Seção *Penicillium* (*P. chrysogenum*) e na Floresta de Caatinga duas espécies da Seção *Aspergilloides* (*P. cinnamopurpureum* e *P. guanacastense*).

A diferença entre manejos do solo, como a introdução de matéria orgânica periodicamente, podas frequentes e aplicação de insumos livres de agrotóxicos nos sistemas agrícolas influenciam diretamente a ocorrência ou não de determinadas espécies no solo (ALVES et al. 2021; RAMOS et al. 2021). Os fungos desse gênero atuam como agentes ecológicos muito importantes, a presença deles no solo influencia diretamente na aptidão e adaptabilidade das plantas através de uma série de mecanismos, um deles é solubilização de fosfato e outras substâncias como cobre, ferro e zinco que auxiliam no crescimento da vegetação. Devido a sua flexibilidade morfológica a mudanças abióticas, torna-se difícil a identificação desses organismos em nível de espécie. No entanto, com a introdução de análises filogenéticas junto à morfologia na identificação desses organismos, contribui para o aumento dos estudos realizados nessa área (PARK et al. 2021). A taxonomia é primordial para o avanço da biotecnologia, farmacologia, economia e diversos outros campos de estudo.

Uma variedade de espécies de *Penicillium* mostra a capacidade de fornecer tolerância ao seu hospedeiro em decorrência de estresse. Isso acontece porque o fungo tem o potencial de sintetizar compostos bioativos e produzir metabólitos secundários (CHAUDHARY et al. 2018). A maioria dos fungos estudados neste trabalho pertence a grupos comumente encontrados no solo, auxiliando as plantas em relação à disponibilização de nutrientes, proteção contra ação patogênica de outros microorganismos no solo e auxiliando no processo de liberação de fitohormônios que ajudam no crescimento sadio destas plantas, aumentando a produtividade agrícola (HOUBRAKEN & SANSOM, 2011; ALVES et al, 2021).

Figura 7 - Topografia 1 da árvore filogenética construída pelo método de Bayesianas das espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil, representados com seus

respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE

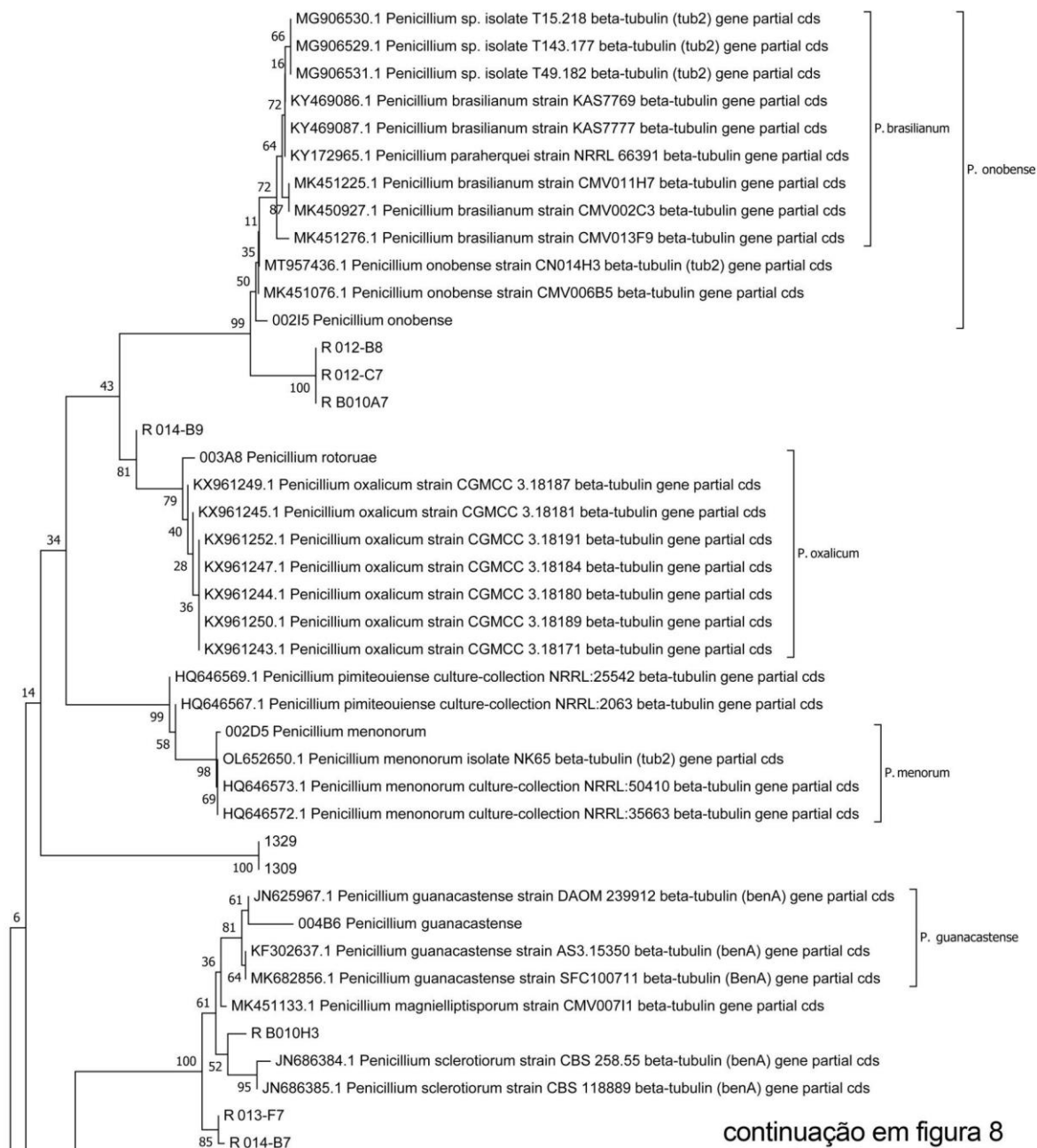
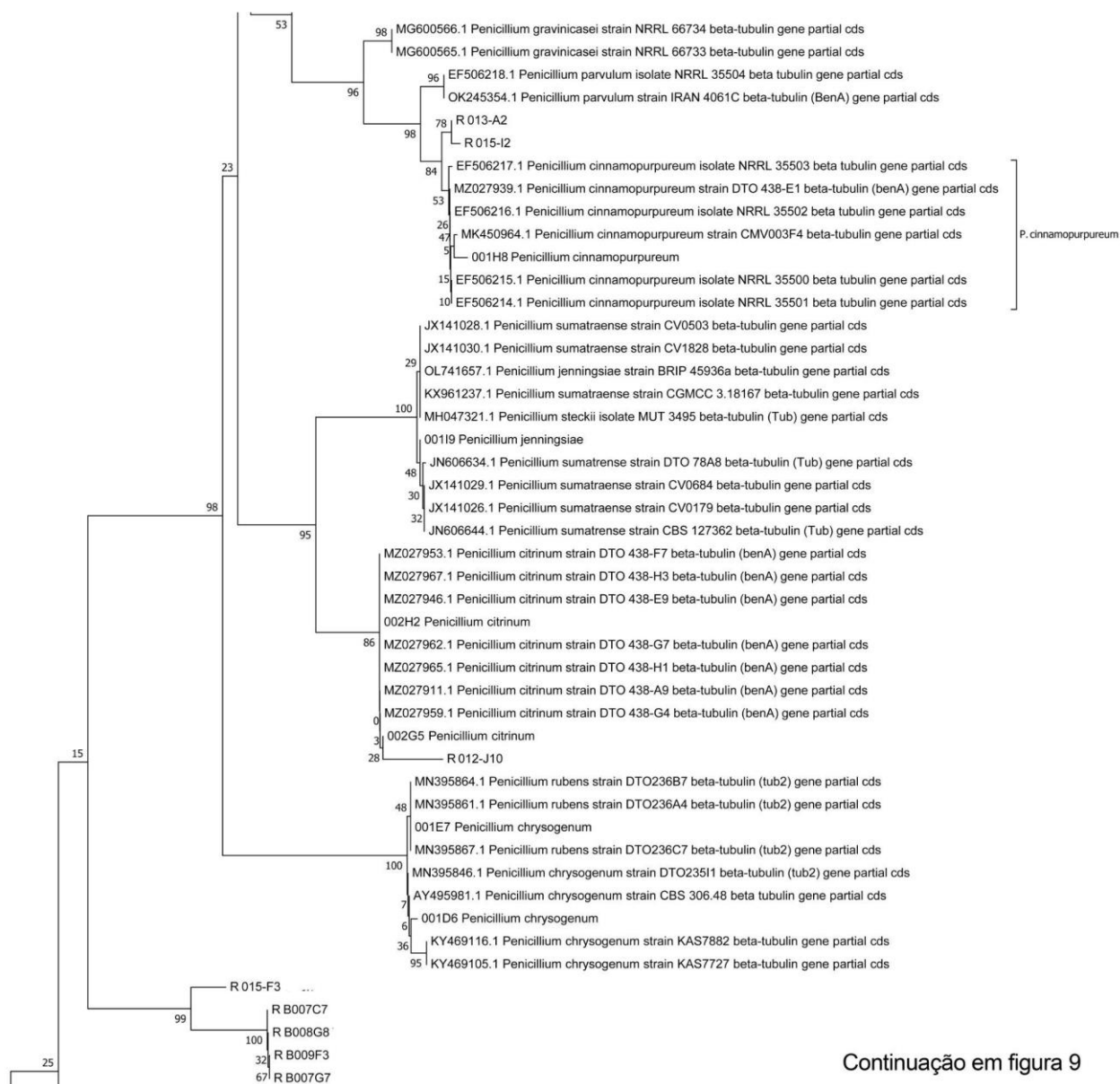


Figura 8 - Topografia 2 da árvore filogenética construída pelo método de Bayesiana das espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil, representados com seus

respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE



Continuação em figura 9

Figura 9 - Topografia 3 da árvore filogenética construída pelo método de Bayesianas das espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil, representados com seus

respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE

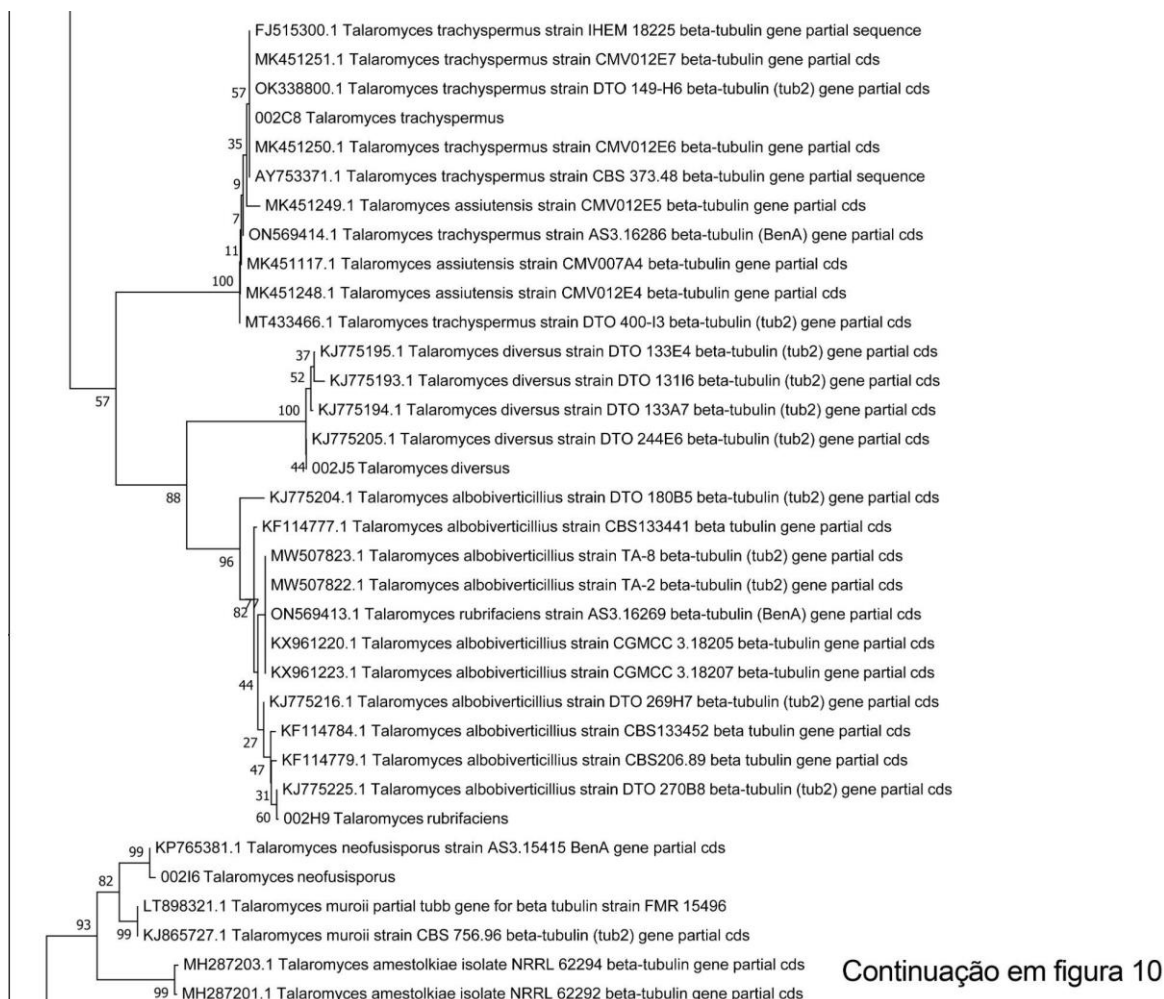
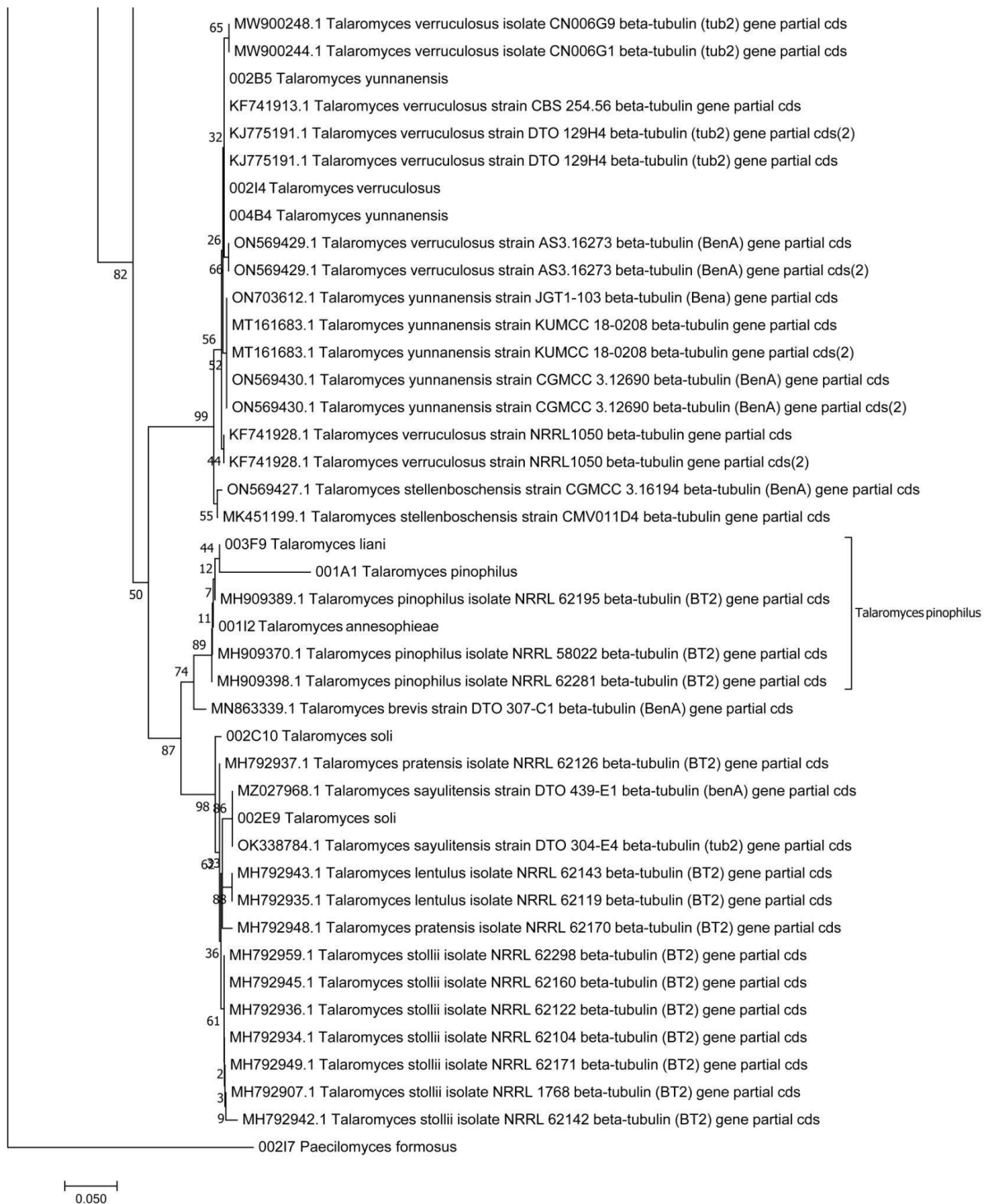


Figura 10 - Topografia 4 da árvore filogenética construída pelo método de Bayesiana das espécies de *Penicillium* Link isoladas de solo de consórcio de plantas com 15 anos de implantação (COP15), de Agrofloresta com 8 anos de implantação (SAF8), de Agrofloresta com 24 anos de implantação (SAF24) e de fragmento de Mata Caatinga (CA) localizados sítio Volta do Enjeitado, na zona rural de Triunfo, Pernambuco, Brasil,

representados com seus respectivos códigos particular localizados no Laboratório de Fungos Fitopatogênicos e Biocontroladores, departamento de Micologia, UFPE



***PENICILLIUM* LINK, MAG. GESELL. NATURF. FREUNDE, BERLIN 3(1-2): 16 (1809)**

***PENICILLIUM* SUBG. *ASPERGILLOIDES* PITT, THE GENUS *PENICILLIUM*: 169. 1980 [1979].**

MYCOBANK MB832951.

= *Eupenicillium* sect. *Pinetorum* (Pitt) Stolk & Samson, Stud. Mycol. 23: 88. 1983.

Tipo: *Penicillium aurantiobrunneum* Dierckx, Ann. Soc. Sci. Bruxelles 25: 86. 1901
(= *Penicillium glabrum*).

Seção Cinnamopurpurea Houbraken & Samson, Stud. Mycol. 70: 34. 2011.

Tipo: *Penicillium cinnamopurpureum* Udagawa, J. Agric. Food Sci., Tokyo 5: 1. 1959.

Série Cinnamopurpurea Houbraken & Frisvad.

1. *Penicillium cinnamopurpureum* Udagawa, J. Agric. Food Sci., Tokyo 5: 1. 1959.
(Figura 4D)

Esta espécie apresentou colônia marrom/ rosada puerulenta, com exudatos, reverso roxo e meio pigmentado com roxo beterraba. Conídios hialinos, 2 µm, com formato oval irregular, fiálides ampuliformes medindo até 12 µm, conidióforos medindo até 100 µm. *Penicillium cinnamopurpureum* foi validado por Udagawa (1959). Stolk e Samson (1983) consideraram *P. dierckxii* o anamorfo de *Eupenicillium cinnamopurpureum* e Pitt (1980) sinonimizou *P. phoeniceum* a *E. cinnamopurpureum*. De acordo com Houbraken e Samson (2011) *P. cinnamopurpureum* (CBS 847.68) e *E. cinnamopurpureum* (CBS 490.66) são similares.

Seção Citrina Houbraken & Samson, Stud. Mycol. 70: 40. 2011.

Tipo: *Penicillium citrinum* Thom, U.S.D.A. Bur. Animal Industr. Bull. 118: 61. 1910.

Série Citrina Raper & Thom ex Pitt, The Genus *Penicillium*: 290. 1980 [1979].

= *Penicillium* ser. *Implicata* Raper & Thom ex Pitt, The Genus *Penicillium*: 191. 1980 [1979].

Tipo: *Penicillium citrinum* Thom, U.S.D.A. Bur. Animal Industr. Bull. 118: 61. 1910.

2. *Penicillium citrinum* Thom, Bull. U.S. Department of Agriculture, Bureau Animal Industry 118: 61 (1910) (Figuras B e C)

= *Penicillium baradicum* Baghd., Nov. sist. Niz. Rast., 1968 5: 107 (1968)

= *Penicillium botryosum* Bat. & H. Maia, Anais Soc. Biol. Pernambuco 15(1): 157 (1957)

= *Penicillium sartoryi* Thom [as '*sartorii*'], *The Penicillia*: 233 (1930)
= *Penicillium steckii* K.W. Zaleski, *Bull. Acad. Polon. Sci., Math. et Nat., Sér. B*: 469 (1927)

Esta espécie apresentou colônia verde limão, reverso branco e sem pigmento no meio. Conídios hialinos esverdeados, 2 µm, com formato oval, fiálides ampuliformes hialinas esverdeadas medindo até 10 µm, conidióforo biverticilado medindo até 100 µm. Espécies do gênero *citrinum* são comumente encontrados no solo e possuem majoritariamente conidióforo biverticilar simétrico. Esta seção corresponde ao grupo 1 de Peterson (2000a).

3. *Penicillium jenningsiae* Y.P. Tan, Bishop-Hurley, E. Lacey & R.G. Shivas, in Tan & Shivas, *Index of Australian Fungi* 3: 8 (2022)

Com base na árvore filogenética, a espécie mais próxima de *P. jenningsie* é *P. sumatraense*. Na literatura, as colônias crescidas em MEA de *P. sumatraense* são descritas com uma textura de floccose, os conídios apresentam coloração verde-azulado, verde-claro ou verde-acinzentado. Conidióforos biverticilados, ocasionalmente com um ramo adicional, estipes lisos ou paredes finamente rugosas com 2,0–3,0 µm de largura. Métulas vesiculadas (10–) 12–16 × 2,0–3,0 µm. Fiálides ampuliforme, 8,0–10 × 2–3,5 µm. Conídios subglobosos ou elipsoidais, finamente rugosos, eventualmente liso, 2,0–2,5 µm de diâmetro (SMIRI et al. 2021).

4. *Penicillium rotoruae* O'Callahan & Vaidya, in O'Callahan, Vaidya, Donaldson & Singh, *Curr. Microbiol.* 77: 4131 (2020)

Em MEA, esta espécie é relatada na literatura com colônias de textura aveludada branca, coloração laranja-salmão reverso para laranja-salmão claro. O centro contorcido com várias arestas rachadas, ligeiramente deprimidas; sem conidiogênese óbvia. Conidióforos principalmente monoverticilados e eventualmente divaricatos ou biverticilados 41–84 µm x 2,0–3,0 µm, estipes de parede lisa na maioria das vezes, podendo ocorrer também em formato fino e rugoso 6,0–13,0 µm × 2,0–3,5 µm. Conídios subglobosos a ligeiramente ovóide com paredes lisas 3,0–4,0 µm × 2,0–3,5 µm (O'CALLAHAN et al. 2020)

Seção *Exilicaulis* Pitt, *The Genus Penicillium*: 205. 1980 [1979]. MycoBank MB832954.

=*Eupenicillium* sect. *Lapidosa* (Pitt) Stolk & Samson, Stud. Mycol. 23: 55. 1983.

Tipo: *Penicillium restrictum* J.C. Gilman & E.V. Abbott, Iowa State Coll. J. Sci. 1: 297. 1927.

Série *Erubescencia* (Pitt) Houbraken & Frisvad, *comb. nov.* MycoBank MB834273.

= *Eupenicillium* ser. *Erubescencia* Pitt, The Genus *Penicillium*: 70. 1980 [1979].

Tipo: *Eupenicillium erubescens* D.B. Scott, Mycopathol. Mycol. Appl. 36: 14. 1968. MycoBank MB330727.

5. *Penicillium menorum* S.W. Peterson, in Peterson, Orchard & Menon, *IMA Fungus* 2(2): 122 (2011) (Figura 4A)

Em MEA a colônia chegou a atingir 17–19 mm de diâmetro, micélio frouxamente entrelaçado, lanoso, umbonado com 3–4 mm de profundidade no centro, esporulação moderada, branco na periferia, cor cinza no centro; sem exsudato ou pigmentos solúveis; sem escleródios ou ascomas; castanho amarelado reverso centralmente a amarelo acastanhado na periferia.

Seção *Sclerotiorum* [como “*Sclerotiora*”] Houbraken & Samson, Stud. Mycol. 70: 32. 2011.

Tipo: *Penicillium sclerotiorum* J.F.H. Beyma, Zentralbl. Bakteriologie. Parasitenk., Abt. 2 96: 418. 1937.

Série *Sclerotiorum* Houbraken & Frisvad.

Tipo: *Penicillium sclerotiorum* J.F.H. Beyma, Zentralbl. Bakteriologie. Parasitenk., Abt. 2 96: 418. 1937.

6. *Penicillium guanacastense* K.G. Rivera, M. Urb & Seifert, in Rivera, Díaz, Chavarría-Díaz, García, Urb, Thorn, Louis-Seize, Janzen & Seifert, *Mycotaxon* 119: 324 (2012)

Micélio lanoso, puerulento, coloração cinza no centro e branca nas bordas, reverso alaranjado. Conidioforo monoverticilado, estipes medindo de 85–100 × 2.5–3 µm, vesícula terminal medindo 4–5.5 µm de largura. Fiálides medindo 8.5–12 × 2–3.5 µm. Conídios globosos, 2.5–3.0 µm diam.

Seção Lanata-Divaricata Thom, *The Penicillia*: 157, 328. 1930.

= *Penicillium* sect. *Funiculosa* Thom, *The Penicillia*: 157, 358. 1930.

Série Simplicissima Houbraken & Frisvad, *ser. nov.*

Tipo: *Penicillium simplicissimum* (Oudem.) Thom, *Penicillia*: 335. 1930.

7. *Penicillium onobense* C. Ramírez & A.T. Martínez, *Mycopathologia* 74(1): 44 (1981) (Figura 4E)

Colônia algodonosa, branca translúcida, com centro amarelado, reverso branco com centro creme. Esporo elipsóide, verde-hialino, parede lisa, 3,75 µm.

PENICILLIUM SUBGEN. **PENICILLIUM** [AUTÔNIMO]

=*Penicillium* subgen. *Eupenicillium* Dierckx, *Ann. Soc. Sci. Bruxelles* 25: 86. 1901.

Tipo: *Penicillium expansum* Link, *Mag. Ges. Naturf. Freunde Berlin* 3: 16. 1809.

Seção Chrysogena Frisvad & Samson, *Stud. Mycol.* 49: 17. 2004.

Tipo: *Penicillium chrysogenum* Thom, *U.S.D.A. Bur. Animal Industr. Bull.* 118: 58. 1910.

Série Chrysogena Raper & Thom ex Stolk & Samson, *Adv. Pen. Asp. Syst.*: 180. 1986 [1985].

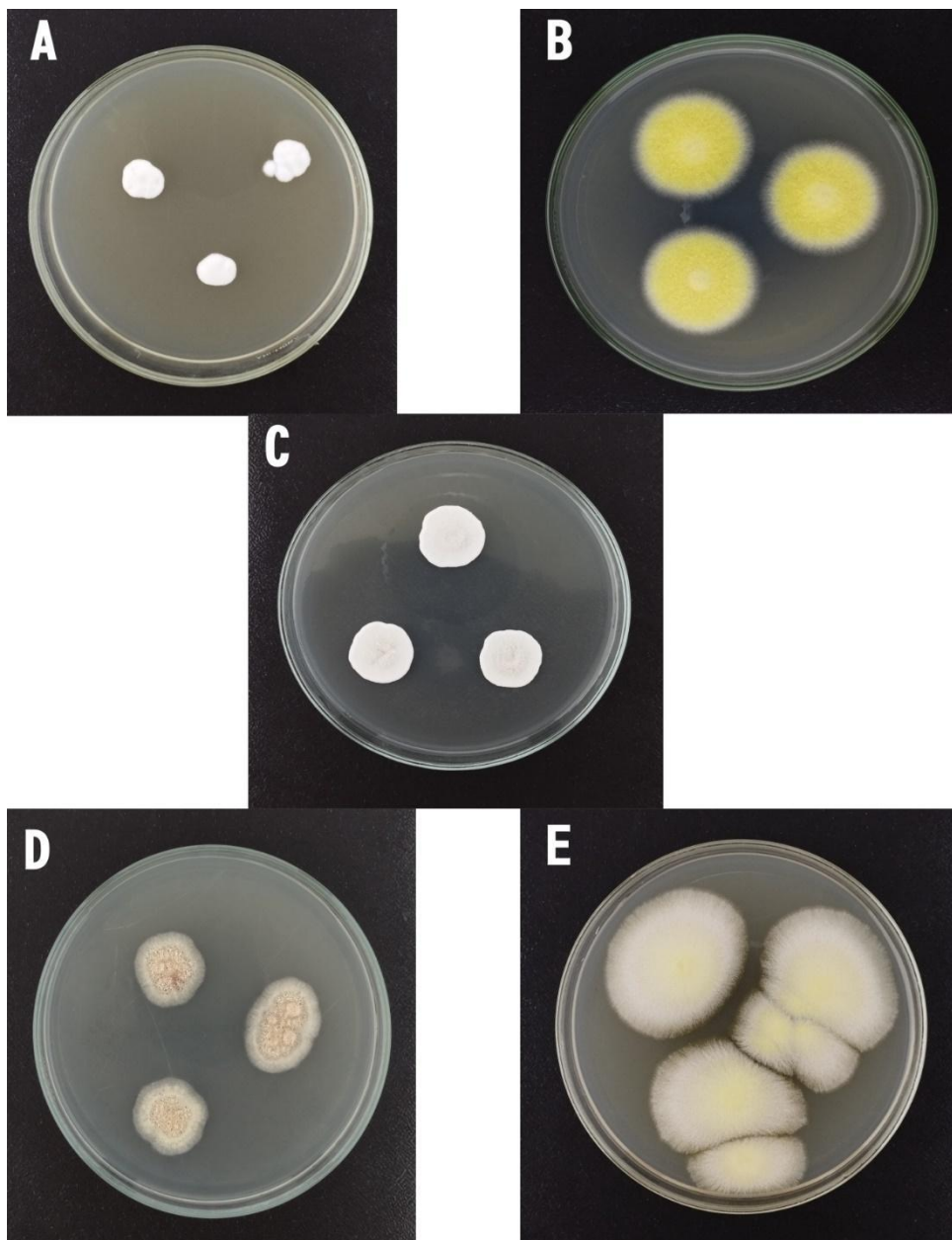
=*Penicillium* ser. *Mononematosa* Frisvad, *Int. Mod. Meth. Pen. Asp. Clas.* 269. 2000.

8. *Penicillium chrysogenum* Thom, *Bull. U.S. Department of Agriculture, Bureau Animal Industry* 118: 58 (1910)

= *Penicillium notatum* Westling, *Ark. Bot.* 11(no. 1): 95 (1911)

Colônia verde, reverso creme aveludada. Conidióforos quarterverticilados, parede lisa com fiálides em formato de frasco, medindo cerca de 6 µm de comprimento.

Figura 11 - Fotografias das colônias em MEA de: A - *Penicillium menonorum*, B-C - *Penicillium citrinum*, D – *Penicillium cinnamopurpureum*, E - *Penicillium onobense*



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As espécies de fungos encontradas do gênero *Penicillium* são associadas ao substrato solo, bem como a rizosfera. A diversidade de plantas de policultivos, influência diretamente na biodiversidade de espécies de *Penicillium* local, como também os tipos de manejos direcionados àquele solo. Por ser um gênero de alta plasticidade, é considerado difícil sua identificação a nível de espécies, porém, análises filogenéticas junto a análises morfológicas mostraram ser eficientes para a diferenciação desse organismos.

6. REFERÊNCIAS

- ALTAF, Mohd M. et al. "Diversity and applications of *Penicillium* spp. in plant-growth promotion." New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering. **Elsevier**, 261-276, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63501-3.00015-6>. Acesso em: 21 fev. 2023.
- AL-ANI, Laith Khalil Tawfeeq et al. Role of useful fungi in agriculture sustainability. **Recent Trends in Mycological Research: Volume 1: Agricultural and Medical Perspective**, p. 1-44, 2021. Disponível em: DOI: 10.1007/978-3-030-60659-6_1. Acesso em: 03 fev. 2023.
- ASHTEKAR, Nikhil et al. Genus *Penicillium*: advances and application in the modern era. **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**, p. 201-213, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821005-5.00014-4>. Acesso em: 21 fev. 2023.
- ALVES, Amanda Lucia et al. Diversity of filamentous fungi communities in the soils of agroecological crop polycultures and the Atlantic Rain Forest. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2021.1995717>. Acesso em: 11 abr. 2023.
- ALVES, Amanda Lucia et al. *Penicillium gercinae* and *Penicillium stangiae* (Eurotiomycetes, Ascomycota), two new species from soil in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 36, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/sXmBjJp6sGQVdm9wPF7RNxc/abstract/?lang=en>. Acesso em: 01 abr. 2023.
- BARBOSA, Renan N. et al. New *Penicillium* and *Talaromyces* species from honey, pollen and nests of stingless bees. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 111, p. 1883-1912, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10482-018-1081-1>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- BARBOSA, Renan N. et al. Brazilian tropical dry forest (Caatinga) in the spotlight: an overview of species of *Aspergillus*, *Penicillium* and *Talaromyces* (Eurotiales) and the description of *P. vascosobrinhou* sp. nov. **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, p. 409-429, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0411>. Acesso em: 20 fev. 2023.
- BASU, Sahana et al. Role of soil microbes in biogeochemical cycle for enhancing soil fertility. In: **New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering**. Elsevier, 2021. p. 149-157. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444643254000134>. Acesso em: 11 abr. 2023.
- BEZERRA, Leila Pires et al. Participatory construction in agroforestry systems in family farming: ways for the agroecological transition in Brazil. **Agroecology and sustainable food systems**, v. 43, n. 2, p. 180-200, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1509167>. Acesso em: 13 abr. 2023.

- CHAUDHARY, Shivani et al. Usefulness of *Penicillium* in enhancing plants resistance to abiotic stresses: An overview. **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**, p. 277-284, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978044463501300017X>. Acesso em: 14 abr. 2023.
- COSTA, Phelipe M. Oller et al. Diversity of filamentous fungi in different systems of land use. **Agroforestry systems**, v. 85, p. 195-203, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-011-9446-8>. Acesso em: 11 mar. 2023.
- DE ALBUQUERQUE, Severino G. et al. Effect of thinning and slashing on forage phytomass from a caatinga of Petrolina, Pernambuco, Brazil. **Embrapa**. 1995. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/160127/1/Albuquerque.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2022.
- DE CASTRO OLIVEIRA, Guilherme et al. Climate and soils at the Brazilian semiarid and the forest-Caatinga problem: new insights and implications for conservation. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 10, p. 104007, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab3d7b/meta>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- DA SILVA, João Manoel et al. Isolation and Molecular Identification of Rhizospheric Fungi Associated with *Opuntia cochenillifera* from Semiarid in Alagoas, Brazil. **International Journal of Agriculture e Biology**. v. 6, p. 371–380, 2022. Disponível em: DOI: 10.17957/IJAB/15.1937. Acesso em: 14 abr. 2023.
- FALKOWSKI, Paul G. et al. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. **science**, v. 320, n. 5879, p. 1034-1039, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1153213>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- FERNANDEZ-BUNSTER, Guillermo. Diversity, Phylogenetic Profiling of Genus *Penicillium*, and Their Potential Applications. In: **Industrially Important Fungi for Sustainable Development: Volume 1: Biodiversity and Ecological Perspectives**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 335-361. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-67561-5_10. Acesso em: 13 abr. 2023.
- FRAC, Magdalena et al. Fungal biodiversity and their role in soil health. **Frontiers in microbiology**, v. 9, p. 707, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00707>. Acesso em: 29 jan. 2023.
- FRISVAD, Jens C. et al. Mycotoxins, drugs and other extrolites produced by species in *Penicillium* subgenus *Penicillium*. **Stud Mycol**, v. 49, n. 201, p. e41, 2004. Disponível em: <http://studiesinmycology.org/sim/Sim49/Sim49Article3.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- GADD, Geoffrey M. Fungal production of citric and oxalic acid: importance in metal speciation, physiology and biogeochemical processes. **Advances in microbial physiology**, v. 41, p. 47-92, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065291108601654>. Acesso em: 11 abr. 2023.

GARDI, Ciro; JEFFERY, Simon. **Soil biodiversity**. Brussels: EUR-OP, 2009. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&Tipo=pdf&doi=86a6ccb5133789d38adb24f52edf18de255ce365>. Acesso em: 03 fev. 2023

GIRAUD, Frédéric et al. Microsatellite loci to recognize species for the cheese starter and contaminating strains associated with cheese manufacturing. **International journal of food microbiology**, v. 137, n. 2-3, p. 204-213, 2010.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.11.014>. Acesso em: 24 fev. 2023.

GONÇALVES, A. L. R. et al. Agroforestry Systems in the Brazilian Semi-Arid: Strategies to Combat Desertification and Coping with Climate Change (136 p.). **Recife: Centro Sabiá/Caatinga**, 2016. Disponível em: <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/handle/123456789/414>. Acesso em: 24 fev. 2023.

GONÇALVES, Micael FM et al. Biodiversity of *Penicillium* species from marine environments in Portugal and description of *Penicillium lusitanum* sp. nov., a novel species isolated from sea water. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 69, n. 10, p. 3014-3021, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003535>. Acesso em: 03 mar. 2023.

HARSONOWATI, Wiwiek; MARIAN, Malek; NARISAWA, Kazuhiko. The effectiveness of a dark septate endophytic fungus, *Cladophialophora chaetospora* SK51, to mitigate strawberry *Fusarium* wilt disease and with growth promotion activities. **Frontiers in microbiology**, v. 11, p. 585, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00585>. Acesso em: 03 fev. 2023.

HASSAN, Saad El-Din. Plant growth-promoting activities for bacterial and fungal endophytes isolated from medicinal plant of *Teucrium polium* L. **Journal of advanced research**, v. 8, n. 6, p. 687-695, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.09.001>. Acesso em: 30 jul. 2022.

HECHT, Susanna B. "The evolution of agroecological thought." **Agroecology**. CRC Press, 2018. 1-19. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429495465-1/evolution-agroecological-thought-susanna-hecht>. Acesso em: 11 abr. 2023.

HOUBRAKEN J, Samson RA. Phylogeny of *Penicillium* and the segregation of *Trichocomaceae* into three families. **Stud Mycol**. 70(1):1-51, 2011. Disponível em: doi: 10.3114/sim.2011.70.01. PMID: 22308045; PMCID: PMC3233907. Acesso em: 14 abr. 2023.
HYDE, Kevin D. et al. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. **Fungal Diversity**, v. 97, p. 1-136, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13225-019-00430-9>. Acesso em: 13 abr. 2023.

HOUBRAKEN, J. et al. Classification of *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces* and related genera (Eurotiales): An overview of families, genera, subgenera, sections, series and species. **Studies in mycology**, v. 95, p. 5-169, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166061620300129>. Acesso em: 09 mai. 2023.

KOUR, Divjot et al. Amelioration of drought stress in Foxtail millet (*Setaria italica* L.) by P-solubilizing drought-tolerant microbes with multifarious plant growth promoting attributes. **Environmental Sustainability**, v. 3, p. 23-34, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42398-020-00094-1>. Acesso em: 25 fev. 2023.

KOZLOVSKY, A. G. et al. Secondary metabolites of the genus *Penicillium* from undisturbed and anthropogenically altered Antarctic habitats. **Folia Microbiologica**, v. 65, p. 95-102, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12223-019-00708-0>. Acesso em: 13 abr. 2023.

LAMBE, T. William; WHITMAN, Robert V. **Soil mechanics**. John Wiley & Sons, 1991. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=oRLcDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=soil&ots=rKB61Tqhfp&sig=PLuL0AS6spO2ijKr4VL6dCVpRlY#v=onepage&q=soil&f=false>. Acesso em: 14 abr. 2023.

LEAL, Inara R. et al. Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 701-706, 2005. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1523-1739.2005.00703.x>. Acesso em: 14 jul. 2022.

LINK, Heinrich Friedrich. **Observationes in ordinibus plantarum naturales**. Dissertatio I. Mag Ges Naturf Freunde Berlin, v. 3, p. 3-42, 1809. Acesso em: 14 abr. 2023.

LÓPEZ-PÉREZ, Mario; BALLESTER, Ana-Rosa; GONZÁLEZ CANDELAS, Luis. Identification and functional analysis of *Penicillium digitatum* genes putatively involved in virulence towards citrus fruit. **Molecular Plant Pathology**, v. 16, n. 3, p. 262-275, 2015. Disponível em: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/mpp.12179>. Acesso em: 24 fev. 2023.

MADSEN, Sidney et al. Agroecological practices of legume residue management and crop diversification for improved smallholder food security, dietary diversity and sustainable land use in Malawi. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 45, n. 2, p. 197-224, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1811828>. Acesso em: 12 abr. 2023.

MCRAE, Cheryl F.; HOCKING, Alisa D.; SEPPELT, Rodney D. *Penicillium* species from terrestrial habitats in the Windmill Islands, East Antarctica, including a new species, *Penicillium antarcticum*. **Polar Biology**, v. 21, p. 97-111, 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s003000050340>. Acesso em: 13 abr. 2023.

MÉNDEZ, V. E. et al. Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, 37(1), 3-18, 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10440046.2012.736926>. Acesso em: 12 abr. 2023.

NASCIMENTO, Claudia Maria et al. Soil degradation index developed by multitemporal remote sensing images, climate variables, terrain and soil attributes. **Journal of Environmental Management**, v. 277, p. 111316, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111316>. Acesso em: 14 abr. 2023.

- O'CALLAHAN, Diahanna et al. *Penicillium rotoruae*, a new species from an in-ground timber durability test site in New Zealand. **Current Microbiology**, v. 77, p. 4129-4139, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00284-020-02204-y>. Acesso em: 14 abr. 2023.
- PARK, Myung Soo et al. *Penicillium* from rhizosphere soil in terrestrial and coastal environments in South Korea. **Mycobiology**, v. 48, n. 6, p. 431-442, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1823611>. Acesso em: 21 fev. 2023.
- PETERSON, Stephen W. et al. Phylogenetic analysis of *Penicillium* species based on ITS and LSU-rDNA nucleotide sequences. **Integration of modern taxonomic methods for *Penicillium* and *Aspergillus* classification**, v. 163, p. 178, 2000. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=3KJewsIL5vQC&oi=fnd&pg=PA163&ots=eOdp2SNXo0&sig=9Gq>. Acesso em: 13 abr. 2023.
- PITT, John I. et al. **The genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and *Talaromyces***. Academic Press Inc. Ltd., 1979. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19801362607>. Acesso em: 14 abr. 2023.
- RACZKA, Nanette C. et al. Interactions between microbial diversity and substrate chemistry determine the fate of carbon in soil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 19320, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97942-9>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- RADHAKRISHNAN, Ramalingam et al. IAA-producing *Penicillium* sp. NICS01 triggers plant growth and suppresses *Fusarium* sp.-induced oxidative stress in sesame (*Sesamum indicum* L.). **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 23, n. 6, p. 856-863, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4014/jmb.1209.09045>. Acesso em: 21 fev. 2023.
- RAMOS, Sérgio Murilo Sousa et al. Two new *Penicillium* section *Sclerotiorum* species from sugarcane soil in Brazil. **Mycological Progress**, v. 20, n. 6, p. 823-835, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11557-021-01705-9>. Acesso em: 11 abr. 2023.
- RIBEIRO, Elâine MS et al. Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 3, p. 611-620, 2015. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.12420>. Acesso em: 28 jul. 2022.
- SAMSON, Robert A. et al. **Food and indoor fungi**. Westerdijk Fungal Biodiversity Institute, 2019. Disponível em: <https://vbn.aau.dk/en/publications/food-and-indoor-fungi>. Acesso em: 24 fev. 2023.
- SANTOS, Nívea Oliveira et al. Identification of levels of anthropization and its implications in the process of desertification in the Caatinga biome (Jeremoabo, Bahia-Brazil). **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 48, n. 1, p. 41-57, 2022. Disponível em: <https://publicaciones.unirioja.es/ojs/index.php/cig/article/view/5212>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- SINGH, Ram N. et al. First high quality draft genome sequence of a plant growth promoting and cold active enzyme producing psychrotrophic *Arthrobacter agilis* strain L77. **Standards**

in **genomic sciences**, v. 11, p. 1-9, 2016. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1186/s40793-016-0176-4>. Acesso em: 23 fev. 2023.

SMIRI, M. et al. An Assesement of the Air Quality in Apple Warehouses: New Record of *Aspergillus europaeus*, *Aspergillus pulverulentus*, *Penicillium allii* and *Penicillium sumatraense* as Decay Agents. ResearchSquare. 2021. Disponível em:
<https://europepmc.org/article/ppr/ppr281732>. Acesso em: 14 abr. 2023.

STOLK AC, Samson RA. (1983). The ascomycete genus *Eupenicillium* and related *Penicillium* anamorphs. *Studies in Mycology* **23**: 1–149. Disponível em:
<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300359245>. Acesso em: 14 abr. 2023.

TEDERSOO, Leho et al. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. **Fungal diversity**, v. 90, p. 135-159, 2018. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13225-018-0401-0>. Acesso em: 13 abr. 2023.

VAN DER HEIJDEN, Marcel GA et al. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. **New phytologist**, v. 205, n. 4, p. 1406-1423, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/nph.13288>. Acesso em: 19 fev. 2023.

VELLOSO, A. L. et al. Proposed ecoregions for the Caatinga biome. **Associação Plantas do Nordeste, Institute for Environmental Conservation, The Nature Conservancy of Brazil**, Recife. 2002. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/5391>. Acesso em: 13 abr. 2023.

VISAGIE, C. M., et al. **Identification and nomenclature of the genus *Penicillium***. *Studies in mycology*, v. 78.1, p. 343-371, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.09.001>. Acesso em: 22 fev. 2023.

WANG, Xiaohui et al. Isolation and characterization of phosphofungi, and screening of their plant growth-promoting activities. **Amb Express**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2018. Disponível em:
<https://ambexpress.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-018-0593-4>. Acesso em: 25 fev. 2023.

WAKELIN, Steven A. et al. Phosphate solubilization by *Penicillium* spp. closely associated with wheat roots. **Biology and Fertility of Soils**, v. 40, p. 36-43, 2004. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-004-0750-6>. Acesso em: 11 abr. 2023.

YADAV, Ajar Nath et al. Bioprospecting of plant growth promoting psychrotrophic *Bacilli* from the cold desert of north western Indian Himalayas. **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 54, p. 142-150, 2016. Disponível em:
<http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/33745>. Acesso em: 23 fev. 2023.

YADAV, Ajar N. et al. Biodiversity of the genus *Penicillium* in different habitats. In: New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering. **Elsevier**, 2018. p. 3-18. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444635013000016>. Acesso em: 24 fev. 2023.