



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE AGRONOMIA

MARIANE PEREIRA DE OLIVEIRA

CARACTERIZAÇÃO CULTURAL E MICROMORFOLÓGICA DE
ACTINOBACTÉRIAS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO EM DIFERENTES
NÍVEIS DE COBERTURA VEGETAL

FORTALEZA – CE

2020

MARIANE PEREIRA DE OLIVEIRA

CARACTERIZAÇÃO CULTURAL E MICROMORFOLÓGICA DE
ACTINOBACTÉRIAS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO EM DIFERENTES NÍVEIS DE
COBERTURA VEGETAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Claudia Miranda Martins.

FORTALEZA - CE

2020

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

- O48c Oliveira, Mariane Pereira de.
Caracterização cultural e micromorfológica de actinobactérias do semiárido nordestino em diferentes níveis de cobertura vegetal / Mariane Pereira de Oliveira. – 2020.
55 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2020.
Orientação: Profa. Dra. Claudia Miranda Martins.
1. Microbiota do solo. 2. Streptomyces. 3. Caatinga. I. Título.

CDD 630

MARIANE PEREIRA DE OLIVEIRA

CARACTERIZAÇÃO CULTURAL E MICROMORFOLÓGICA DE
ACTINOBACTÉRIAS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO EM DIFERENTES NÍVEIS DE
COBERTURA VEGETAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Agronomia do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção
do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 02/10/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Claudia Miranda Martins.
(Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dr.^a Suzana Cláudia Silveira Martins
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Franciandro Dantas dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Neide e Fernandes.

AGRADECIMENTOS

A essa força maior que rege o universo de forma majestosa.

A Universidade Federal do Ceará e ao Centro de Ciências Agrárias, por me proporcionarem um ensino público e de qualidade durante toda a minha graduação.

A minha orientadora, Dr^a Claudia Miranda, pela orientação e por ser uma fonte de inspiração como profissional, mulher e mãe.

Ao LAMAB (Laboratório de Microbiologia Ambiental) e seus integrantes (Profa. Suzana Cláudia, Fernando, Juliani, Leonardo, Alana e os demais), onde passei dois proveitosos anos da minha graduação e me foi proporcionado experiências inéditas, profissional e pessoalmente.

Ao pós graduando Andro Dantas, que foi meu mentor e parceiro nessa caminhada e teve toda paciência do mundo.

Ao PET Agronomia que me proporcionou conhecer um pouco sobre cada pilar da Universidade e contribuiu para minha formação de forma ímpar.

Aos membros da banca examinadora, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A minha família e meu namorado, por todo o esforço e ajuda financeira e psicológica para que eu pudesse concluir essa etapa da minha vida.

A minha irmã, que é minha inspiração desde a infância e que me ajudou a construção desse trabalho.

Aos amigos que fiz durante o processo e que foram essenciais durante a minha graduação. Em especial, Aristides Gomes, Jarlane Viana, Luíza Rayol, Maria Edilene, Laís Cavalcante.

Aos demais, que de forma direta ou indireta participaram na construção desse trabalho ou estiveram juntos comigo durante a minha graduação.

“Essencialmente, toda a vida depende do solo... Não pode haver vida sem solo e nenhum solo sem vida. Eles evoluíram juntos.”

- Charles E. Kellogg

RESUMO

As actinobactérias são bactérias Gram-positivas, ricas em guanina e citosina em seu DNA, formadoras de estruturas complexas como esporos e cadeias de esporos. Elas prestam importantes serviços ecossistêmicos que indireta ou diretamente contribuem para formação e manutenção edáfica. Além disso, são fontes de metabólitos secundários bastante explorados. Essas bactérias estão presentes no semiárido nordestino brasileiro e suas características culturais e micromorfológicas são variáveis, sendo um fator chave para a classificação desse filo. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo de caracterizar culturalmente, identificar os gêneros, analisar a diversidade e gerar um conteúdo fotográfico com foco nas diferenças de 46 cepas de actinobactérias de três áreas com diferentes níveis de cobertura vegetal da região do Médio Jaguaribe (CE). A caracterização cultural tanto em virtude da cor do micélio aéreo e reverso quanto da textura das colônias evidenciaram a heterogeneidade das cepas, apresentando a predominância da cor cinza e branca nos micélios e textura aveludada (65%). Os nove gêneros identificados através da análise microscópica, foram: *Actinomadura*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Thermomonospora*, *Streptosporagium* e *Streptomyces*. Com base nos parâmetros morfológicos cor do micélio aéreo e reverso, aspecto de formação da colônia e micromorfologia da cadeia de esporos evidenciou-se a diversidade cromogênica e textural, e a predominância do gênero *Streptomyces*. Tais características, em conjunto com o acervo de imagens, podem auxiliar e servir de base para estudos ecológicos e de bioprospecção sobre esses microrganismos.

Palavras-chave: Microbiota do solo; *Streptomyces*; Caatinga.

ABSTRACT

Actinobacteria are Gram-positive bacteria, rich in guanine and cytosine in their DNA, forming complex structures such as spores and spore chains. They provide important ecosystem services which indirectly or directly contribute to edaphic formation and maintenance. Moreover, they are highly exploited sources of secondary metabolites. These bacteria are present in the Brazilian northeastern semiarid and their cultural and micromorphological characteristics are quite variable. However, these characteristics are a key factor for the classification of this phylum. Thus, the objective of the present study was to characterize the bacterial culture, identify genera, analyze diversity and generate photographic content focusing on the differences in 46 strains of actinobacteria from three areas with different levels of plant cover in the Médio Jaguaribe region (CE). The characterization of the culture due to the color of the aerial and reverse mycelium and the texture of the colonies showed the heterogeneity of the strains, presenting the predominance of gray and white color in the mycelia and velvety texture (65%). The nine genera identified through microscopic analysis were: *Actinomadura*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Thermomonospora*, *Streptosporagium* and *Streptomyces*. Based on the morphological parameters of the color of the aerial and reverse mycelium, aspect of colony formation and micromorphology of the spore chain, the chromogenic and textural diversity was evidenced, and the predominance of the genus *Streptomyces*. These characteristics, together with the image collection, can assist and serve as a basis for ecological and bioprospecting studies on these microorganisms.

Keywords: soil microbiota; *Streptomyces*; Caatinga.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delimitação do semiárido brasileiro	19
Figura 2 – Mapa da localização do Bioma Caatinga	20
Figura 3 – Áreas suscetíveis à desertificação no Ceará com especificação do local da coleta do solo rizosférico	23
Figura 4 – Percentual da diversidade de cores das actinobactérias oriundas do Médio Jaguaribe na área aberta	27
Figura 5 – Percentual da diversidade de cores das actinobactérias oriundas do Médio Jaguaribe na área intermediária	28
Figura 6 – Percentual da diversidade de cores das actinobactérias oriundas do Médio Jaguaribe na área conservada	28
Figura 7 – Diversidade cultural das cepas do Médio Jaguaribe quanto ao micélio aéreo, micélio reverso e pigmentação do meio de cultura	29
Figura 8 – Aspectos das colônias de actinobactérias oriundas do Médio Jaguaribe nas áreas aberta, intermediária e conservada	30
Figura 9 – Morfologia da cadeia de esporos e identificação a nível de gênero	31
Figura 10 – Abundância por gênero nas áreas aberta, intermediária e conservada	32
Figura 11 – Riqueza de cepas nas áreas aberta, intermediária e conservada	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localização, nível de cobertura vegetal e coordenadas geográficas dos pontos coletados	23
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Grau Celsius
cm	Centímetros
h	Horas
ha	Hectare
kg	Quilogramas
mm	Milímetros
mL	Mililitros
NaOH	Hidróxido de sódio
pH	Potencial hidrogeniônico
CE	Ceará
km ²	Quilômetros quadrados
MJ	Médio Jaguaribe
CDA	Meio caseína dextrose ágar
B.O.D.	Câmara incubadora
UFC.mL ⁻¹	Unidade formadora de colônia
M.A	Micélio aéreo
M.R	Micélio reverso

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Microbiota do solo.....	17
2.1 Semiárido.....	18
2.3 Actinobactérias.....	21
3. OBJETIVOS.....	22
3.1 Objetivo Geral.....	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 Área de estudo.....	23
4.2 Actinobactérias.....	24
4.3 Cultivo das cepas.....	25
4.4 Caracterização cultural.....	25
4.5 Análise micromorfológica.....	26
4.6 Registro fotográfico.....	26
4.7 Análise estatística.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
6. CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
APÊNDICE A – REGISTRO FOTOGRÁFICO DA COLEÇÃO DE CEPAS DE ACTINOBACTÉRIAS ISOLADAS DO SOLO DA REGIÃO DO MÉDIO JAGUARIBE	45

1. INTRODUÇÃO

As actinobactérias, bactérias Gram-positivas ricas em guanina e citosina em seu DNA (RAO *et al.*, 2012, PÉREZ CORRAL *et al.*, 2015), são encontradas amplamente em ambientes naturais como na água e no solo e em ambientes extremos (MAATAOUI *et al.*, 2014; VIKRAM *et al.*, 2016), sendo o solo seu habitat mais comum (MANSOUR *et al.*, 2015).

Diversos estudos comprovam a ocorrência desses microrganismos na região semiárida nordestina em abundância e de forma diversificada (BRITO *et al.*, 2015; ALVES *et al.*, 2016; LOPES *et al.*, 2018; MEDEIROS *et al.*, 2018; DOS SANTOS *et al.*, 2019). Tal habitat se apresenta como um ambiente hostil, com características limitantes para o desenvolvimento microbiano como a escassez de chuvas e o clima quente e seco (ARAÚJO, 2011). A atividade microbiana no ambiente edáfico dessa região é de extrema importância para processos biológicos e bioquímicos que influenciam diretamente a transformação de compostos orgânicos e nutrientes (VINHAL-FREITAS *et al.*, 2010).

As actinobactérias são destaque em estudos sobre produção de enzimas, processo importante para ambientes degradados (SILVA *et al.*, 2019) e desempenham serviços ecossistêmicos essenciais para manutenção do solo e para o desenvolvimento vegetal como a síntese de húmus, a decomposição de tecidos celulares e a fixação de amônio (BHATTI *et al.*, 2017), além de serem produtoras de muitos metabólitos que despertam interesse científico e industrial (BALLAV *et al.*, 2012).

Alguns aspectos fundamentais devem ser considerados para identificação desses microrganismos como a observação das cores do micélio aéreo e do micélio reverso e a produção de pigmentos no meio, um dos primeiros métodos usados para distinção dos isolados (MABROUK; SALEH, 2014, AMSAVENI *et al.*, 2015). Observa-se também se esses micélios são filamentosos e possuem hifas aéreas, cuja principal função é a absorção de nutrientes para o crescimento desses micro-organismos (BHATTI *et al.*, 2017).

Outra importante ferramenta para essa identificação e classificação em nível de gênero é a microscopia óptica (BARKA *et al.*, 2016), onde observa-se em algumas actinobactérias a presença de estruturas complexas como esporos, cadeira de esporos, esporângios e esporangiósporo (LI *et al.*, 2016).

Tendo em vista a grande diversidade e a heterogeneidade de actinobactérias na região semiárida a caracterização cultural e a classificação micromorfológica tornam-se ferramentas

de suma relevância na identificação desses organismos. Visto que ambientes limitantes e outrora negligenciados estão se mostrando como grande fonte de novas cepas de actinobactérias que produzem novos compostos bioativos (OKORO et al., 2009; MOHAMMADIPANAH; WINK, 2016; SILVA et al., 2019) e de microrganismos que atuam no controle biológico, melhorando o estado fitossanitário das plantas e consequentemente aumentando a produtividade (BRITO et al., 2015), por exemplo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Microbiota do solo

O solo é um conjunto biológico dinâmico formado por três fases, sendo elas: a fase gasosa, a fase líquida e a fase sólida, esta última é onde estão compreendidas as partículas minerais, raízes de plantas, a matéria orgânica e os macros e microrganismos vivos com metabolismo ativo ou dormente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BERENDSEN, 2013).

Os microrganismos fazem parte da porção de matéria orgânica existente no solo e são de extrema importância para a subsistência dos ecossistemas, participam ativamente de processos essenciais como a ciclagem de nutrientes e dos ciclos biogeoquímicos, além de serem componentes fundamentais de cadeias alimentares. Para além, as interações microbianas em seu habitat são primordiais para manutenção dos solos e apresentam importância ecológica relevante, como a conversão de elementos que se apresentam em forma insolúvel para formas mais solúveis, auxiliando assim o desenvolvimento vegetal (MATSUOKA, 2003; LEITE, 2009 ; ALVES et al., 2010).

Esses microrganismos denominados genericamente como “microbiota do solo” possuem representantes dos três domínios: *Archaea*, *Bacteria* e *Eucarya*. Ocupam 5% do espaço poroso do solo e constituem somente 1 a 4 % do carbono total. Apesar da quantidade e da diversidade bastante elevada dos microrganismos presentes nesse reservatório da diversidade biológica, somente 15% a 30% das bactérias e 10% dos fungos encontram-se ativos metabolicamente, pois normalmente o solo é um ambiente estressante e limitante nutricionalmente para estes (LAMBAIS, 2005; ANDREOLA, 2007).

Segundo Alexander (1977), apesar do solo de modo geral se apresentar como um ambiente oligotrófico, a abundância média nesse ambiente varia entre 10^7 a 10^9 células vivas por grama de solo, das quais estima-se que aproximadamente 10.000 são espécies bacterianas (TORSVIK, 2009). A ocorrência dessa diversidade e abundância está diretamente relacionada com fatores bióticos, tais como interações e genética microbiana, bem como com fatores abióticos, sendo estes pH, umidade, temperatura, atmosfera, potencial redox e fonte de energia. A soma desses fatores determinam como esses microrganismos irão se estruturar e são vitais para a funcionalidade do solo, visto que em uma mesma comunidade podem existir diferentes características fisiológicas e ecológicas, que podem ser moduladas pela ocorrência de diferentes processos dos solos e pelas variações ambientais (BEVER et al., 2012; MAZZETTO, 2016).

A abundância e diversidade dos microrganismos, portanto, vai variar devido a elevada heterogeneidade entre os diferentes solos e dentro de um mesmo solo (VOS et al., 2013), devendo-se levar em consideração também a estruturação vegetal de determinado lugar, pois estas afetam diretamente a composição da rizosfera nesses habitats através de alterações no microclima (sombreamento, evaporação, acúmulo de matéria orgânica, produção de matéria recalcitrante, entre outros.) e produção de exsudatos pelas raízes das plantas, que são a principal fonte de energia que impulsionam a densidade e a atividade das populações de microrganismos (RAAIJMAKERS, 2009; PRESCOTT e GRAYSTON, 2013), como exemplifica Kavamura et al. (2013) em estudo que analisou e sugeriu uma estreita relação entre o ciclo de vida das plantas endêmicas da Caatinga, como o mandacaru, e a sucessão de determinados grupos microbianos de acordo com a rizosfera desse ambiente em épocas de chuva.

Porém, apesar da presença de diferenças entre os solos e seus habitats, os dados da literatura mostram uma certa similaridade no perfil das comunidades microbianas, principalmente a bacteriana, quando analisados de um nível taxonômico superior como o filo. Podemos inferir com base nesses estudos que os principais componentes da comunidade bacteriana do solo são representados pelos filos *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes* e *Planctomycetes* (JANSSEN, 2006; PHILIPPOT et al., 2013; DELGADO- BAQUERIZO et al., 2017; BORSETTO et al, 2019).

2.1 Semiárido

O semiárido brasileiro possui uma área equivalente a 1,03 milhão de quilômetros quadrados, representando 12% do território nacional. No Nordeste, 1.262 municípios dos estados do Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe tem sua área caracterizada como semiárida (Figura 1), sendo o Ceará o que possui a maior parte de seu território com esse perfil (ASA, 2020). Essas regiões são caracterizadas por ter precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e/ou percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2020).

Figura 1: Delimitação do semiárido brasileiro.



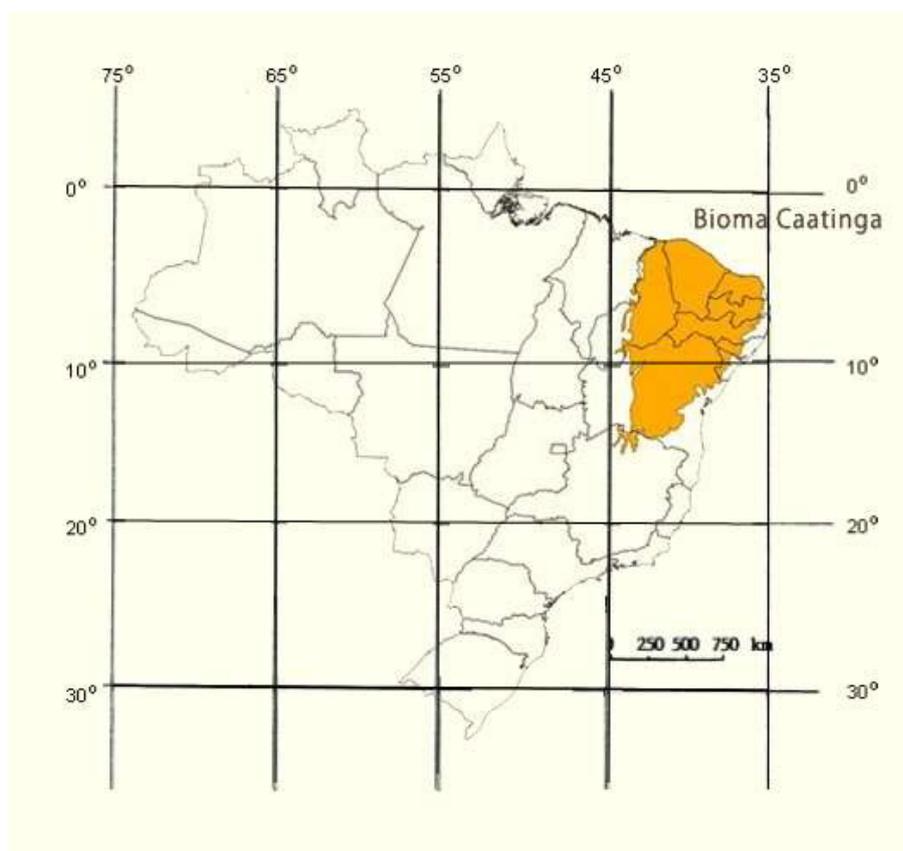
Fonte: TerraBrasilis

Disponível em: <<http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/index.php/estantes/mapas/2733-mapa-do-semiarido-brasileiro>> Acesso em jun. 2020.

Além de atender um dos parâmetros supracitados para se caracterizar como semiárida, outras características bem definidas como a forte insolação, elevadas temperaturas e altas taxas de evapotranspiração são observadas em regiões como essa, o que favorece a escassez hídrica e torna esse ambiente extremamente hostil em determinado período do ano (NASCIMENTO et al., 2013). Cerca de 844.453 quilômetros quadrados do semiárido é ocupado pelo bioma Caatinga, situado majoritariamente na região nordeste do Brasil (Brasil, 2020).

A Caatinga por sua vez, inserida no contexto semiárido (Figura 2), além de apresentar os traços das características limitantes apresentadas anteriormente, possui uma vegetação tropical rica contendo desde florestas a plantas arbustivas xerófilas geralmente com folhas pequenas decíduas, com espinhos e de hábito suculento, adaptadas para resistir às condições desfavoráveis que incluem precipitação variável e secas periódicas (FERNANDES; QUEIROZ, 2018).

Figura 2: Mapa da localização do Bioma Caatinga



Fonte: Cerratinga

Disponível em: < <http://www.cerratinga.org.br/caatinga/> > Acesso em jun. 2020.

Assim como a vegetação local, os microrganismos presentes nesse sistema apresentam adaptações a estresses abióticos, tais como salinidade, temperaturas elevadas, incidência de radiação solar alta e estresse hídrico (VURUKONDA et al., 2016) e são capazes de tolerar essas condições adversas e contrastantes (BARROS et al., 2019) podendo

desempenhar importante função no fluxo de energia, na ciclagem de matéria orgânica e nos ciclos biogeoquímicos (BREZA-BORUTA et al., 2016).

Por essa razão esse ambiente vem sendo cada vez mais explorado por pesquisadores como uma fonte para estudos que abordam a riqueza e diversidade bacteriana (LIMA et al., 2014; BRITO et al., 2015; MEDEIROS et al., 2018) e também, o potencial biotecnológico desses microrganismos (SANTOS et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2016) que são frequentemente expostos as intempéries locais.

Dentre as populações bacterianas, o Filo Actinobacteria ganha destaque devido a sua predominância (TAKETANI et al., 2015; LIMA et al., 2017) e a diversidade que apresentam nos solos semiáridos (MEDEIROS et al., 2018).

2.3 Actinobactérias

As actinobactérias, importante grupo microbiano, são bactérias Gram-positivas filamentosas com abundância de conteúdo das bases nitrogenadas, citosina e guanina, em seu DNA (BARÇA, 2016). São uma das principais partes integrantes da microbiota do solo e apresentam mais de 200 gêneros distribuídos em cerca de 52 famílias, 25 ordens e 6 classes (WHITMAN, 2012; SATHYA; VIJAYABHARATHI; GOPALAKRISHNAN, 2017).

Encontram-se distribuídas pelos mais variados ambientes naturais, aquáticos ou terrestres (RODRIGUES et al., 2019), ambientes extremos como solos desérticos (OKORO et al., 2009), áreas gélidas (SILVA et al., 2018), solos salinos (BINAYKE et al., 2018) e alcalinos (GONG et al., 2018), sendo seu habitat mais comum o terrestre, substancialmente presentes na rizosfera (STROBEL, 2004), local onde as raízes das plantas possuem conexão com o solo.

A riqueza e abundância desse filo, ou seja, sua diversidade, está intrinsecamente ligada a fatores ambientais do meio em que encontram-se inseridas, como disponibilidade de nutrientes, tipo de solo, temperatura, pH, umidade, presença de matéria orgânica, área cultivada ou não, sendo esses fatores moduladores do crescimento e desenvolvimento desses microrganismos (ARIFUZZAMAN et al., 2010; ZHAO et al., 2011; BARÇA et al., 2015). Tal diversidade portanto, baseia-se na capacidade desses seres se desenvolverem nos variados habitats e o papel que desempenham nos mesmos, podendo então serem classificadas como termofilíficas (extremófila), acidofílicas (extremófila), halofílicas (extremófila), endofíticas, simbióticas, endosimbióticas e intestinais (RANJANI et al., 2016).

Esses microrganismos procariontes, aeróbios em sua grande parte, assemelham-se aos fungos quanto a produção de micélio e ao crescimento filamentosos (RODRIGUES, 2019). São conhecidas amplamente por serem grandes produtoras de metabólitos secundários, com destaque para enzimas (LOPES, 2018; SILVA, 2015) e antibióticos (WEBER, 2015; ELBENDARY, 2018), o que justifica a exploração do seu potencial para uso nas áreas biotecnológicas (QIN, 2011) e agrônômicas (HOYOS, 2018; SILVA, 2019).

Além da sua ampla diversidade metabólica, o que lhes concede também um importante papel nas indústrias médicas e farmacêuticas, como a produção de compostos bioativos com atividades antitumoral, anti-inflamatória, antibacteriana, antioxidante e produtos naturais como corantes, fármacos e fragrâncias (GOODFELLOW; FIEDLER, 2010; JANARDHAN, 2014), este grupo também possui ampla diversidade morfológica. Apresentam variadas formas como coco-bacilos (*Arthrobacter*), cocos (*Micrococcus*), hifas curtas e rudimentares (*Nocardia* spp.) e micélio ramificado (*Streptomyces* spp.), tais características morfológicas, assim como a produção de esporos servem de base há mais de cem anos para a identificação e o estudo em nível de gênero desse grupo (VENTURA et al., 2007; VENKATA; SINGARA, 2013; LI, 2016; ARAUJO; COELHO, 2017).

E muito mais importante do que as funções supracitadas, a sua prestação de serviços ecossistêmicos é de fundamental importância para a regulação, manutenção e ecologia edáfica, haja visto que desempenham papel na ciclagem de nutrientes, disponibilizando-os para serem absorvidos mais rapidamente pelas plantas, através da degradação enzimática de substratos orgânicos complexos, na biorremediação, agindo sob elementos tóxicos e na compostagem (SILVA et al., 2015; BHATTI et al., 2017).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Caracterizar cultural e micromorfológicamente as cepas de actinobactérias do semiárido nordestino em diferentes níveis de cobertura vegetal. Analisar sua diversidade e confeccionar um acervo de imagens com registro fotográfico de todas as cepas.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar culturalmente 46 cepas de actinobactérias isoladas da região do médio Jaguaribe/CE.
- Caracterizar micromorfológicamente 46 cepas de actinobactérias isoladas da região do médio Jaguaribe/CE.

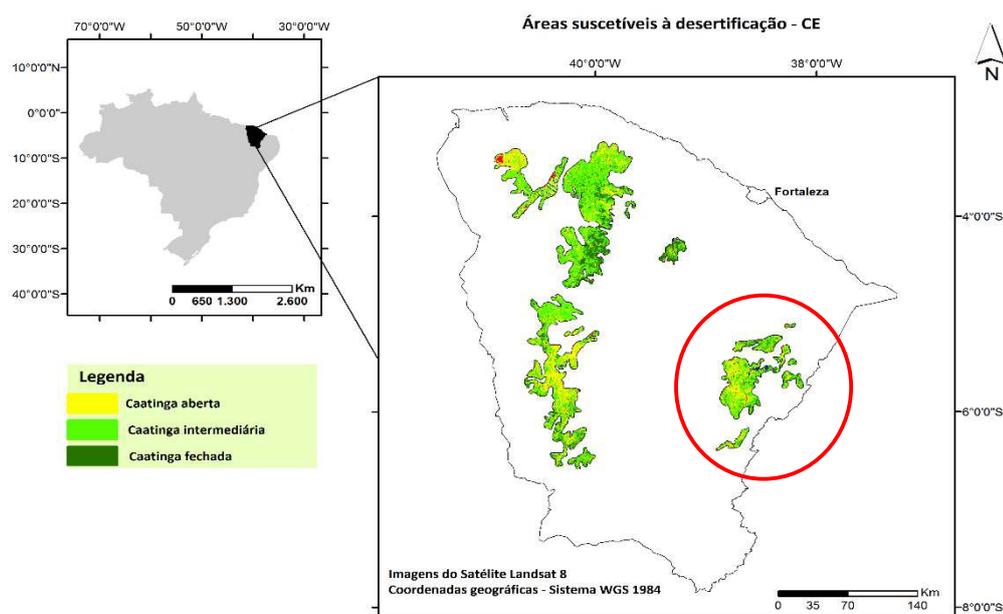
- Avaliar as principais diferenças culturais e micro morfológicas entre as diferentes cepas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

As cepas utilizadas no presente estudo são oriundas de amostras de solo rizosférico de áreas da região do Médio Jaguaribe (Figura 3), abrangendo os municípios de Morada Nova, Jaguaribe e Jaguaretama. As áreas foram classificadas de acordo com a cobertura vegetal em três níveis (aberta, intermediária e conservada).

Figura 3: Área da região do Médio Jaguaribe.



Fonte: F.K.G. Silva (2016).

Tabela 1: Localização, nível de cobertura vegetal e coordenadas geográficas dos pontos coletados.

Localização	Cobertura vegetal	Pontos coletados	Coordenadas geográficas	
			Longitude	Latitude
Jaguaribe	Aberta	1	-38,7076	-5,861

Jaguaribe	Intermediária	1	-38,6888	-5,861
Jaguaribe	Conservada	1	-38,629	-5,861
Jaguaribe	Aberta	2	-38,7219	-5,861
Jaguaribe	Intermediária	2	-38,731	-5,861
Jaguaribe	Conservada	2	-38,642	-5,861
Jaguaretama	Aberta	3	-38,7423	-5,861
Jaguaretama	Intermediária	3	-38,7423	-5,861
Jaguaretama	Conservada	3	-38,82	-5,861
Morada Nova	Aberta	4	-38,5234	-5,861
Morada Nova	Intermediária	4	-38,5019	-5,861
Morada Nova	Conservada	4	-38,5031	-5,861

Fonte: F.D. Santos (2019).

O clima dessa região é caracterizado como quente e seco, com precipitações médias de aproximadamente 800 mm por ano. Apresentando um período seco frequentemente caracterizado pela falta de chuvas, com temperaturas médias anuais entre 23 e 27 °C e insolação média de 2.800 h ano⁻¹ (SUDENE, 2016).

A coleta das amostras de solo foi realizada entre os meses de março e junho de 2016, período caracterizado como chuvoso, nos três diferentes tipos de áreas já citadas em uma profundidade de 0-15 cm. Todas as amostras foram gentilmente cedidas pelo projeto *Desert* (Evolução da perda de biodiversidade em áreas sob processos de degradação), chamada de Projetos MEC/MCTI/CAPES/CNPq/FAPs N° 03/2014.

4.2 Actinobactérias

As cepas de actinobactérias foram obtidas a partir do solo supracitado e isoladas através da técnica de espalhamento em superfície (*spread plate*), utilizando o meio caseína

dextrose ágar (CDA) (CLARK, 1965) em placas e o resultado da contagem expresso em UFC.mL⁻¹.

Foram isoladas um total de 46 cepas de actinobactérias, sendo 18 cepas da área aberta, 17 cepas da área intermediária e 11 da área conservada, estas foram identificadas como “MJ”, indicativo de médio Jaguaribe, seguido pelo número. As cepas foram nomeadas como: MJ 01, MJ 02, MJ 03, MJ 04, MJ 05, MJ 06, MJ 07, MJ 08, MJ 09, MJ 10, MJ 11, MJ 12, MJ 13, MJ 14, MJ 15, MJ 16, MJ 17, MJ 18, MJ 19, MJ 20, MJ 21, MJ 22, MJ 23, MJ 24, MJ 25, MJ 26, MJ 27, MJ 29, MJ 30, MJ 31, MJ 32, MJ 33, MJ 34, MJ 35, MJ 36, MJ 37, MJ 38, MJ 39, MJ 40, MJ 41, MJ 42, MJ 43, MJ 44, MJ 45, MJ 46, MJ 47. Essas cepas estão depositadas na Coleção de Culturas de Actinobactérias do Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB) do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Ceará.

4.3 Cultivo das cepas

As cepas foram inoculadas em meio CDA, com a seguinte composição para 1000 mL: 0,5 g de K₂HPO₄ (fosfato de potássio), 0,2 g de MgSO₄.7H₂O (sulfato de magnésio), 2 g de glicose, 0,01g de FeSO₄.7H₂O (sulfato de ferro), 0,2 g de caseína (dissolvida em 10 mL de NaOH 0,1 N, previamente), 15 g de ágar, 10 ml NaOH (0,4 g de NaOH para 100 mL de água, sendo que apenas 10 mL foi utilizado) e 2,5 mL de nistatina (antifúngico), sendo este último componente colocado após a esterilização do meio.

O pH foi ajustado para 6,5 e em seguida as placas foram incubadas a 28 °C em câmara incubadora tipo B.O.D., durante sete dias, posteriormente foi realizado o primeiro registro fotográfico. Já para o segundo registro fotográfico foi feita uma outra inoculação em placas de Petri contendo meio CDA, com apenas um spot feito no centro de cada placa para obter colônias isoladas de maior diâmetro. As placas foram incubadas em B.O.D. a 28 °C por 14 dias para posterior registro.

4.4 Caracterização cultural

Para descrição das características culturais foram avaliadas as cores do micélio aéreo e reverso das colônias conforme descrito por Wink (2012), baseada na carta de cores (RAL color charts). As cepas de actinobactérias também foram caracterizadas culturalmente quanto a forma de crescimento da colônia, sendo classificadas como: aveludada, concêntrica, radial, umbonada e convexa (AUGUSTINE et al., 2013).

4.5 Análise micromorfológica

A análise micromorfológica foi feita conforme as metodologias elaboradas por Shirling; Gottlieb (1966) e Kern; Blewins (1999) modificada. Em placas de Petri previamente esterilizadas, foi colocada uma lâmina por placa. De uma outra placa com meio de cultura CDA sólido puro, retirou-se uma porção pequena e de formato cilíndrico para ser sobreposta em cada lâmina. As cepas foram inoculadas sobre esse meio, de preferência nas bordas, e em seguida foi acrescida uma lamínula estéril sobre a porção já inoculada. Antes da placa ser efetivamente fechada foi colocado um pedaço de algodão estéril hidrófilo, embebido em água destilada. As placas com suas respectivas cepas foram então incubadas em estufa B.O.D a uma temperatura de 28°C, por 7 a 14 dias. Findando esse prazo as lamínulas foram cuidadosamente retiradas e colocadas sobre uma gota de corante Lactofenol de Amann contida em uma outra lâmina previamente esterilizada e suas bordas foram vedadas com esmalte incolor. Tais lâminas, posteriormente, foram observadas sob microscópio óptico de luz Zeiss a uma ampliação de 1000x. As características quanto à formação, ramificação do micélio e fragmentação e produção de esporos foram registradas e comparadas com as descritas por Holt *et al.* (1994).

4.6 Registro fotográfico

Para colônias em placa e colônia isolada, as fotos foram realizadas com as placas abertas em câmara de fluxo laminar, com plano de fundo preto, para um melhor contraste. As fotografias das cepas foram tiradas em plano transversal superior e inferior para uma melhor visualização, sendo que para as colônias isoladas foi utilizada apenas o plano superior, com o auxílio de uma lente micro angular (For Digital Câmera & Mobile Phone LENS) para observação mais detalhada.

Para a micro morfologia a obtenção das imagens foi realizada com o auxílio de um microscópio óptico com aumento de 1000x e uma câmera fotográfica equipada com dois sensores de 12 Megapixels com lentes duplas, grande-angular e teleobjetiva, de aberturas f 1.8 e f 2.8 respectivamente.

Foi elaborado um material completo para impressão com os registros fotográficos das colônias em placa, colônia isolada e micro morfologia de todas as cepas para fim consultivo no Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB).

4.7 Análise estatística

Os dados da micromorfologia foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA), com uso do software R, versão 4.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

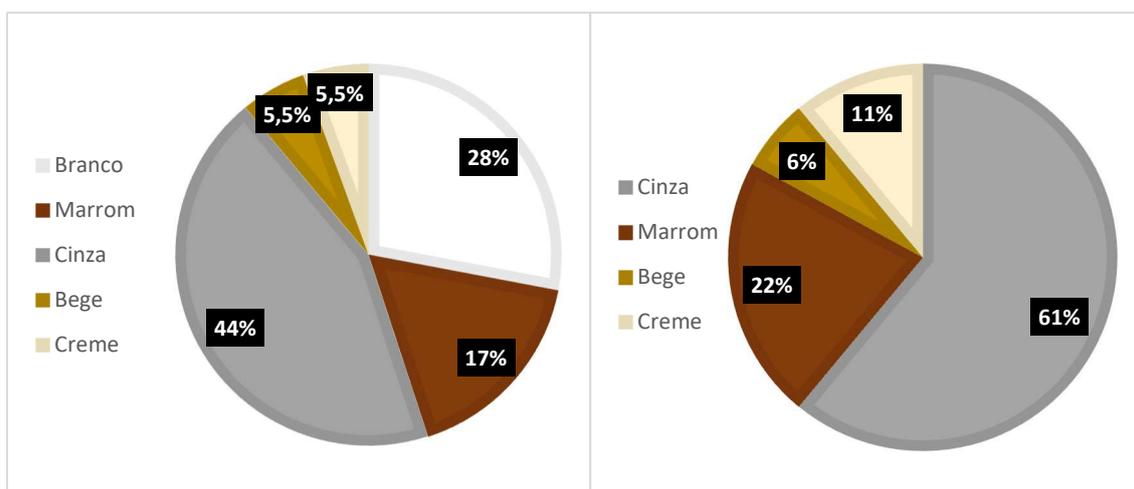
Observando-se o micélio aéreo e o reverso das colônias em placa das cepas oriundas da região do Médio Jaguaribe pôde-se identificar a presença de um total de onze cores (Figura 4, 5 e 6). Sendo a cores identificadas: branco, marrom, cinza, bege, creme, rosa, laranja, roxo, violeta, azul e verde.

Quanto ao micélio aéreo, a área aberta apresentou cinco cores diferentes, a intermediária sete cores e a conservada seis cores. Já no micélio reverso a área aberta apresentou quatro cores distintas, a intermediária oito cores e a conservada cinco cores. Algumas cepas apresentaram diferença entre micélio aéreo e reverso, que segundo Souche e Bhati (2019) ocorre devido actinobactérias apresentarem características culturais distintas quando cultivadas em superfície de ágar. Todas as áreas apresentaram heterogeneidade nesse parâmetro, sendo a área intermediária a que teve maior diversidade cromática, podendo ser explicado pela teoria do distúrbio intermediário, hipótese que segundo Connel (1978) diz que níveis intermediários de perturbações possuem tendência de promover maior diversidade. Ou seja, áreas que sofrem algum tipo de interferência biótica ou abiótica com intensidade intermediária tendem ao não equilíbrio, promovendo a coexistência de espécies diversas e, portanto, a heterogeneidade no nicho (ARAÚJO, 2016).

Em relação a predominância de cores, as áreas aberta e intermediária apresentaram a cor cinza como predominante em ambos os micélios. Já a área conservada observa-se um equilíbrio entre as cores cinza e branco tanto no micélio aéreo quanto no reverso. Resultado similar na descrição cultural de cepas foi encontrado por Ramos et al. (2015), Silva et al. (2015), Medeiros et al. (2018) e Silva et al. (2019) em estudos com actinobactérias da região semiárida, onde predominantemente foram notadas as cores cinza, branco e creme.

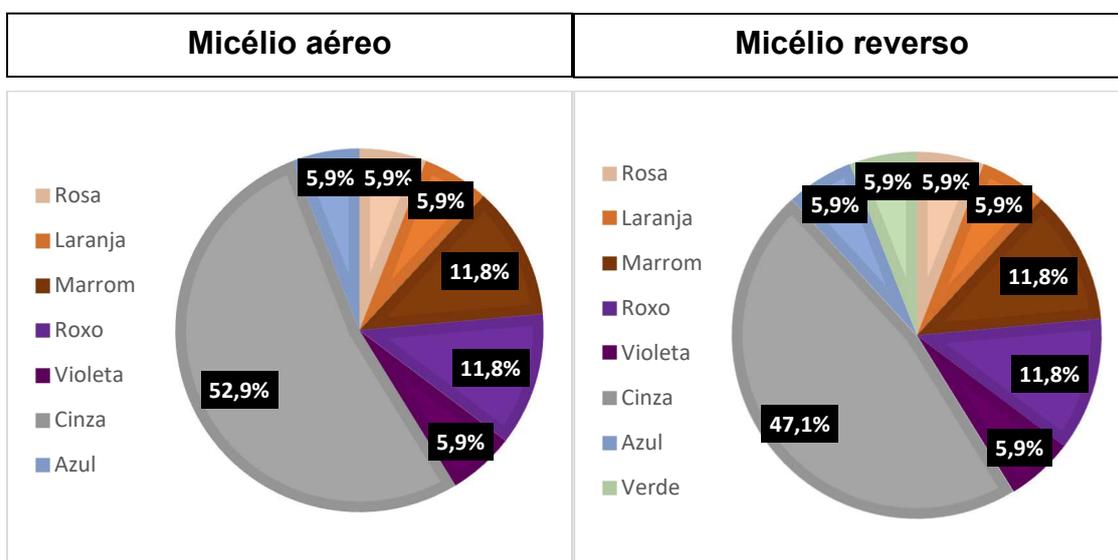
Figura 4: Percentual da diversidade de cores das actinobactérias oriundas do Médio Jaguaribe na área aberta.

Micélio aéreo	Micélio reverso
---------------	-----------------



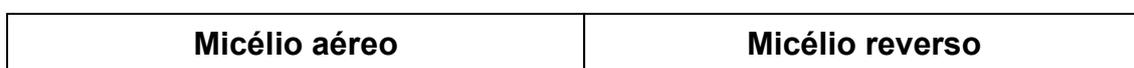
Fonte: Autor (2020).

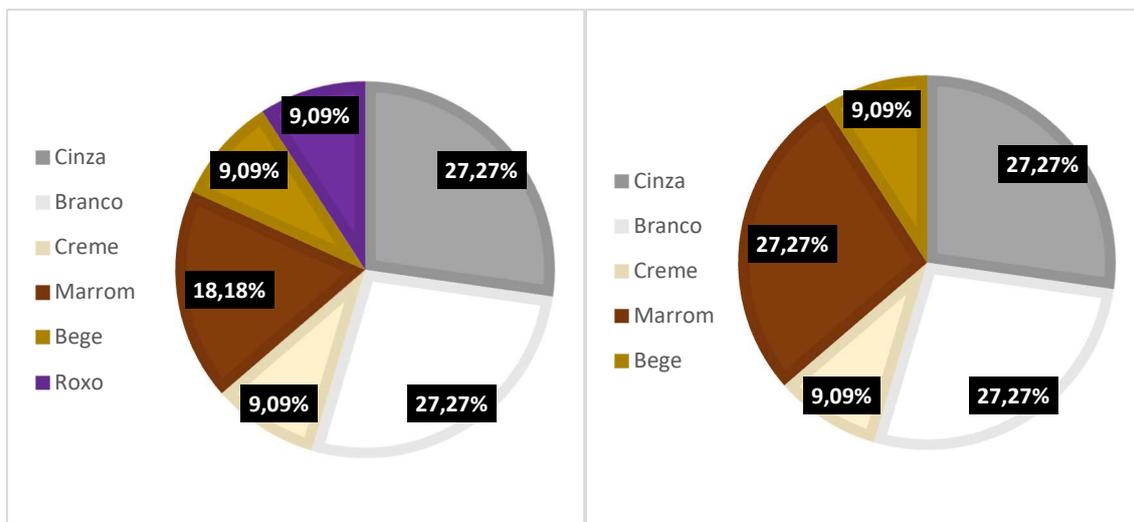
Figura 5: Percentual da diversidade de cores das actinobactérias oriundas do Médio Jaguaribe na área intermediária.



Fonte: Autor (2020).

Figura 6: Percentual da diversidade de cores das actinobactérias oriundas do Médio Jaguaribe na área conservada.



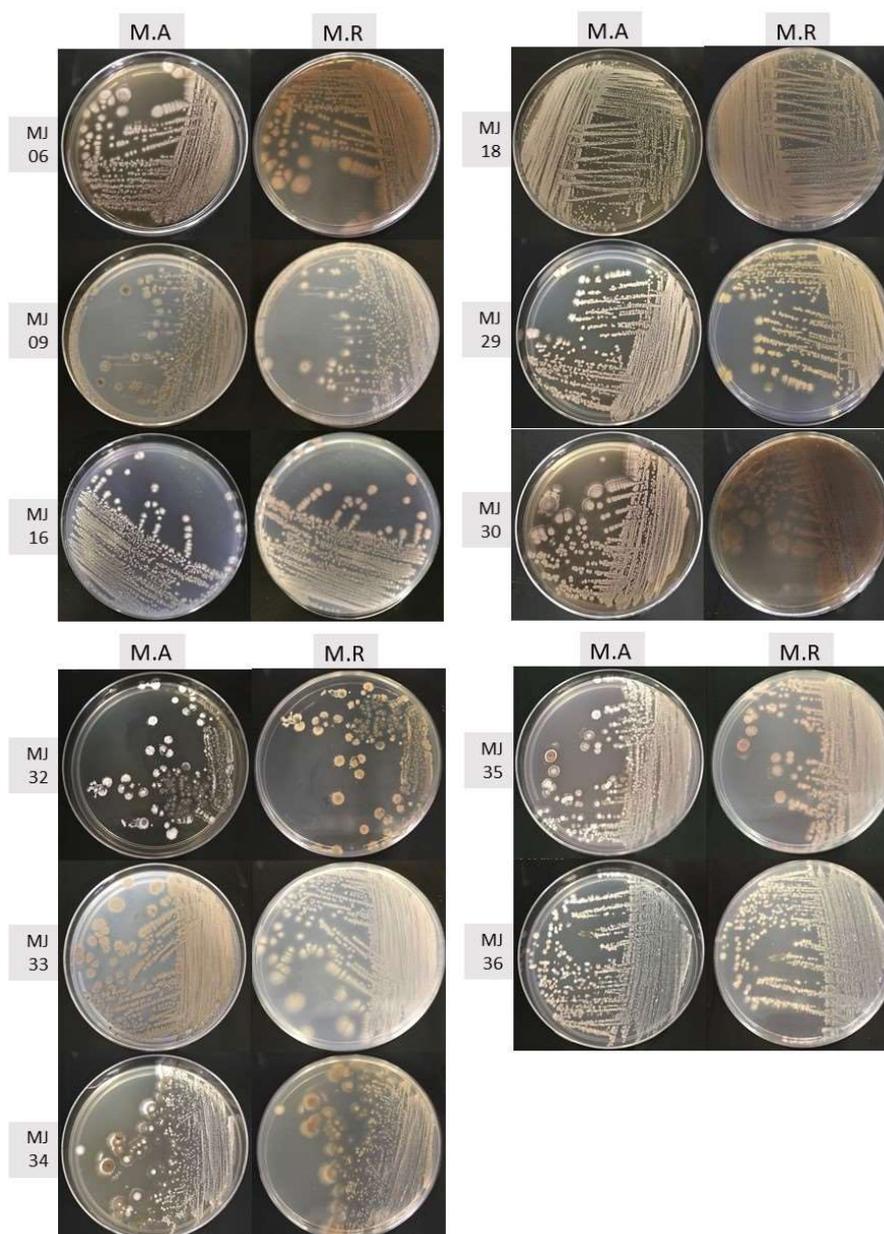


Fonte: Autor (2020).

A análise das características culturais mostrou que houve variação entre o micélio aéreo e reverso de uma mesma cepa e pôde-se observar a mudança de tonalidade do meio em alguns casos (Figura 7). Esse potencial em produzir diferentes pigmentos que podem se encontrar retidos no micélio ou dissolvido no meio foi destacado em estudos feitos por Amal et al. (2011) e Amsaveni (2015).

A produção de pigmento analisado em conjunto com outros parâmetros, se faz relevante como ferramenta para identificação dos gêneros, bom critério para estudos taxonômicos e seleção de pigmentos naturais, apesar dessa característica cultural não está diretamente relacionada com o desenvolvimento microbiano desse grupo (ROMERO et al., 2012; RAMOS et al, 2015; TARAZONA et al., 2018).

Figura 7: Diversidade cultural das cepas do Médio Jaguaribe quanto ao micélio aéreo, micélio reverso e pigmentação do meio de cultura.



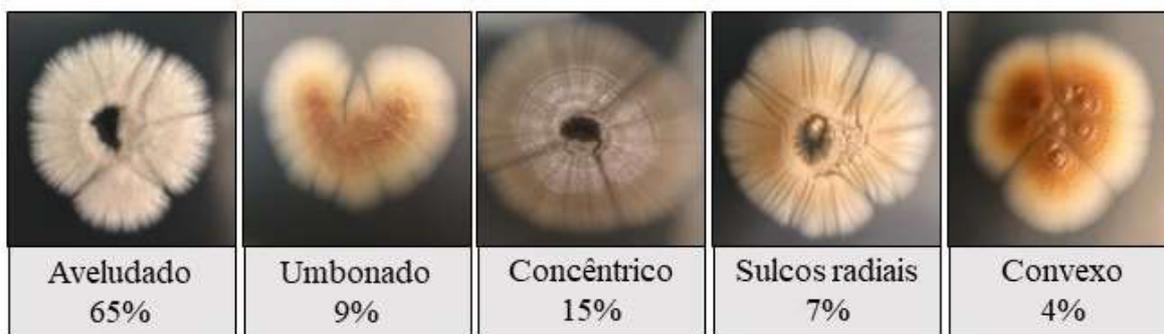
Fonte:
(2020).

Autor

Das 46 cepas, cerca de 24% apresentaram micélio aéreo distinto do micélio reverso, e apenas duas promoveram alteração no meio. Observa-se essas características nas cepas MJ 06, MJ 09, MJ 16, MJ 18, MJ 29, MJ 30, MJ 32, MJ 33, MJ 34, MJ 35 e MJ 36.

As colônias que foram cultivadas de forma isolada foram classificadas quanto seu aspecto. Variando entre aveludado (30 cepas), concêntrico (07 cepas), umbonado (04 cepas), sulcos radiais (03 cepas) e convexo (02 cepas) (Figura 8).

Figura 8: Aspectos das colônias de actinobactérias oriundas do Médio Jaguaribe nas áreas aberta, intermediária e conservada.

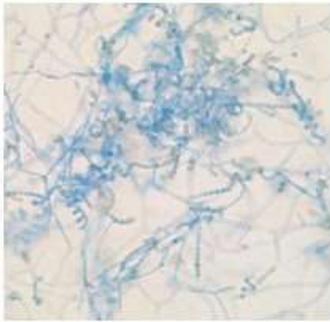


Fonte: Autor (2020).

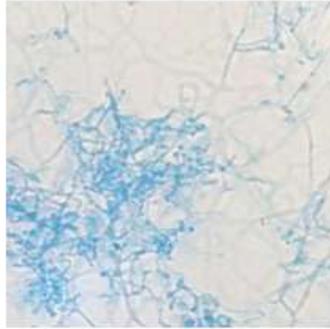
Na área aberta 13 cepas apresentaram aspecto aveludado (68%), 4 concêntrico (21%) e 1 umbonado (11%), não houve presença dos aspectos sulcos radiais e convexo nessa área. Na área intermediária 11 cepas apresentaram aspecto aveludado (69%), 2 concêntrico (13%), 1 umbonado (6%), 1 sulcos radiais (6%) e 1 convexo (6%). Já na área conservada foram observadas 6 cepas com aspecto aveludado (55%), 1 concêntrico (9%), 1 umbonado (9%), 2 sulcos radiais (18%) e 1 convexo (9%). Resultado distinto foi encontrado por Silva et al. (2019) ao analisarem cepas oriundas de uma área antropizada e uma área conservada do semiárido, em ambas houve a prevalência do aspecto de formação em sulcos radiais, seguido pelo aveludado, concêntrico e umbonado, não havendo presença do aspecto convexo. Em contrapartida aspectos similares foi encontrado por Augustine et al. (2013), em estudo com actinobactérias provenientes de ambientes marinhos da Índia.

Através da análise micromorfológica observou-se a presença de nove gêneros diferentes (Figura 9), sendo eles: *Actinomadura* (5%), *Arthrobacter* (5%), *Micrococcus* (4%), *Mycobacterium* (2%), *Nocardia* (11%), *Micromonospora* (4%), *Thermomonospora* (4%), *Streptosporagium* (2%) e *Streptomyces* (63%), este último com maior predominância em ambas as áreas.

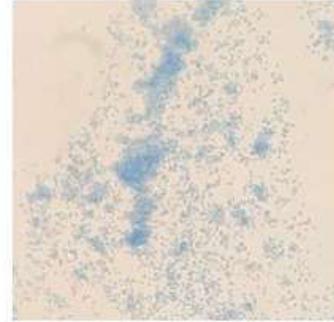
Figura 9: Morfologia da cadeia de esporos e identificação a nível de gênero.



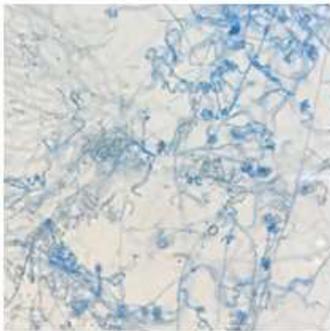
MJ 06
Actinomadura



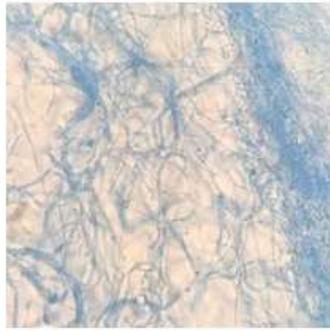
MJ 11
Arthrobacter



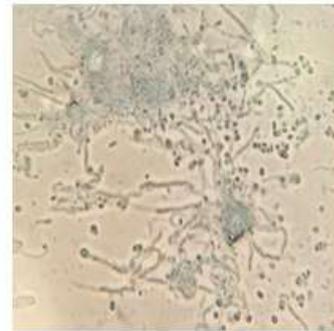
MJ 45
Micrococcus



MJ 04
Micromonospora



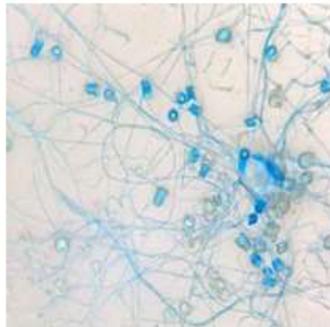
MJ 32
Mycobacterium



MJ 18
Nocardia



MJ 07
Streptomyces



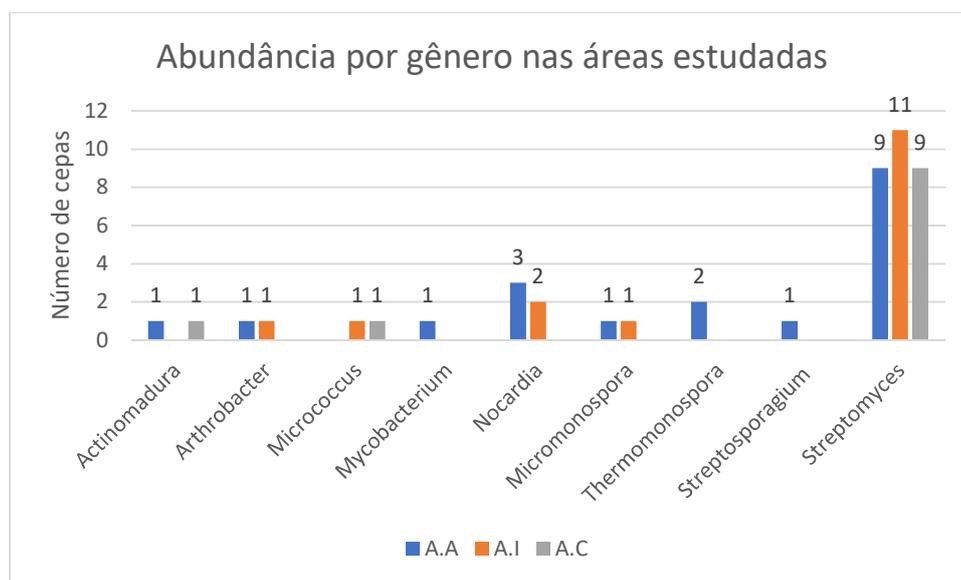
MJ 09
Streptosporangium



MJ 14
Thermomonospora

Fonte: Autor (2019).

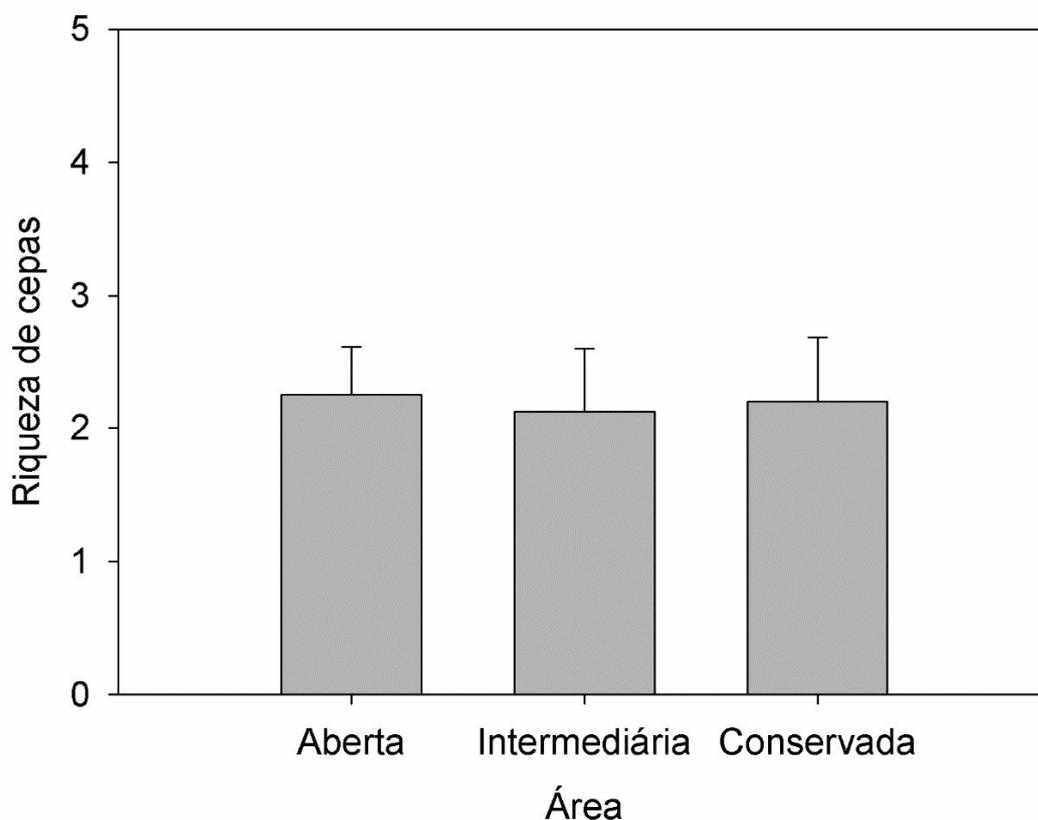
Figura 10: Abundância por gênero nas áreas aberta, intermediária e conservada.



Fonte: Autor (2020).

Com os dados acerca dos gêneros, obtidos através da análise micromorfológica, pode-se observar que o gênero *Streptomyces* foi o predominante nas três áreas, fato que concorda com estudos feitos por Ramos et al. (2015), Brito et al. (2015) e Silva et al. (2019). Isso deve-se a características intrínsecas a esse gênero como baixa exigência nutricional (LEWIN et al., 2016), produção de esporos e sua rápida dispersão (DHARMARAJ, 2010), além de ser o gênero mais abundante no solo (OLANREWAJU; BABALOLA, 2019).

Figura 11: Riqueza de cepas nas áreas aberta, intermediária e conservada.



Fonte: Autor (2020).

No presente estudo não houve, estatisticamente, diferença significativa entre as áreas quanto a riqueza. Silva et al. (2015) observou em um estudo sobre actinobactérias de uma área de mata nativa e outra cultivada sob irrigação, em uma região semiárida do Ceará, que a cobertura vegetal não teve influência sobre esse parâmetro e que outros fatores como a disponibilidade de água são mais decisivos para esse parâmetro. Visto que a estrutura microbiana em determinado ambiente é complexa e variável, a funcionalidade da comunidade, a estrutura do solo e a localização geográfica da área entre outros fatores influenciam diretamente a variedade de gêneros (KNAB et al., 2018).

6. CONCLUSÃO

A caracterização fenotípica das cepas de actinobactérias oriundas da região do Médio Jaguaribe no Ceará, com base nos parâmetros morfológicos cor do micélio aéreo e reverso, aspecto de formação da colônia e micromorfologia da cadeia de esporos evidenciou a diversidade cromogênica e textural, e a predominância do gênero *Streptomyces*. Tais características, em conjunto com o acervo de imagens, podem auxiliar e servir de base para estudos ecológicos e de bioprospecção sobre esses microrganismos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2nd ed. New York, John Wiley, 472 p. 1977.
- ALVES, D. A. S. *et al.* Produção de celulase e amilase por actinobactérias do semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 24; p.1303-1315, 2016.
- ALVES, L.; OLIVEIRA, V. L.; SILVA FILHO, G. N. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 41, n. 3, p. 676-684, 2010.
- AMAL, A. M.; ABEER, K. A.; SAMIA, H. M.; ABD EL-NASSER H. N.; AHMED, K. A.; EL-HENNAWI, H. M. Selection of pigment (Melanin) production in *Streptomyces* and their application in printing and dyeing of wool fabrics. **Research Journal of Chemical Sciences**. v. 1, n. 5, p. 22-28, 2011.
- AMSAVENI, R.; SURESHKUMAR, M.; VIVEKANANDHAN, G.; BHUVANESHWARI, V.; KALAISELVI, M. Screening and isolation of pigment producing Actinomycetes from soil samples. **International Journal of Biosciences and Nanosciences**, v. 2, n. 2, p. 24-28, 2015.
- ANDREOLA, F.; FERNANDES, S. A. P. Microbiota do solo e qualidade ambiental. **A Microbiota do Solo na Agricultura Orgânica e no Manejo das Culturas**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 21, 2007.
- ARAÚJO COELHO, L.V. *et al.* O potencial de *Streptomyces* isolados na região de maués na produção de enzimas hidrolíticas. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 2, p. 202-210, 2017.
- ARAÚJO, F. D. C.; DOS SANTOS, R. M.; COELHO, P. A. O papel do distúrbio na regeneração natural dos ecossistemas florestais. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 14, n. 1, p.131-142, 2016.
- ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do nordeste do Brasil: Questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Revista Científica da FASETE**, v.5, n.5, p. 89-98, 2011.

ARIFUZZAMAN, M. *et al.* Isolation and screening of actinomycetes from Sundarbans soil for antibacterial activity. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 29, p. 4615-4619, 2010

ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA). 2020. **Semiárido**. Disponível em: <<https://www.asabrasil.org.br/semiarido>>. Acesso: 10 mai. 2020.

AUGUSTINE, D. *et al.* Actinobacteria from sediment samples of arabian sea and bay of bengal: biochemical and physiological characterization. **International Journal of Research in Marine Sciences**, v. 2, p.56-63, 2013

AVAMURA, V.N. *et al.* Water regime influences bulk soil and rhizosphere of *Cereus jamacaru* bacterial communities in the Brazilian caatinga biome. **PLoS One**, San Francisco, v. 8, p. e73606, 2013.

BALLAV, S.; DASTAGER, S. G.; KERKAR, S. Biotechnological significance of Actinobacterial research in India. **Recent Research in Science and Technology**, v.4, n.4, p. 31-39, 2012.

BARKA, E. A. *et al.* Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, [s.l.], v. 80, n. 1, p.1-43, 25, 2016.

BARROS, V. D. C. *et al.* Biodiversidade rizobiana em função de solo e clima no semiárido pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Brasil, v. 24, n. 1, p. 1-6, fev. 2019. ISSN 2446-8053.

BERENDSEN, B.J.A. LC-MS residue analysis of antibiotics. What selectivity is adequate? PhD. Thesis Wageningen University. **Netherlands**. 2013.

BEVER, J.D.; PLATT, T.G.; MORTON, E. Microbial population and community dynamics on plant roots and their feedbacks on plant communities. **Annual Review in Microbiology**, New York, v. 66, p. 265-283, 2012.

BHATTI, A. A.; HAQ, S.; BHAT, R. A. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. **Microbial pathogenesis**, v. 111, p. 458-467, 2017.

BINAYKE, A. *et al.* Analysis of diversity of actinomycetes from arid and saline soils at Rajasthan, India. **Environmental Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 61-70, 2018.

BORSETTO, C. *et al.* Microbial community drivers of PK/NRP gene diversity in selected global soils. **Microbiome**, v. 7, n. 1, p. 78, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 2019. **Caatinga**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>. Acesso em: 19 mai. 2020.

BREZA-BORUTA, B.; LEMANOWICZ, J.; BARTKOWIAK, A. Variation in biological and physicochemical parameters of the soil affected by uncontrolled landfill sites. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 3, p. 201, 2016.

BRITO, F. A. E. *et al.* Actinobacteria from rizospheric soil in the caatinga biome. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n.21, p. 1992-2004, 2015.

CLARK, F. E. Agar-plate method for total microbial count. **Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties**, n. methods of soil, v. 9, p. 1460-1466, 1965.

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

DELGADO-BAQUERIZO, M. *et al.* Microbial richness and composition independently drive soil multifunctionality. **Functional ecology**, v. 31, n. 12, p. 2330-2343, 2017.

DHARMARAJ, S. Marine *Streptomyces* as a novel source of bioactive substances. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.26, n.12, p.2123-2139, 2010.

DOS SANTOS, F. D. *et al.* Morfologia de cepas de actinobactérias em áreas suscetíveis à desertificação. **Enciclopédia Biosfera**, v.16 n.29; p. 1844-1856, 2019.

ELBENDARY, A. A. *et al.* Isolation of antimicrobial producing actinobacteria from soil samples. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 25, n. 1, p. 44-46, 2018.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. de. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). 2016. **Projetos e Mapas**. Disponível em: <http://www.funceme.br/?page_id=2807>. Acesso: 10 mai. 2020.

GONG, Y. *et al.* Phylogenetic diversity and investigation of plant growth-promoting traits of actinobacteria in coastal salt marsh plant rhizospheres from Jiangsu, China. **Systematic and Applied Microbiology**, v.41, n.5, p.516-527, 2018.

GOODFELLOW, M.; FIEDLER, H. A guide to successful bioprospecting: informed by actinobacterial systematics. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 98, n. 2, p. 119-142, 2010.

HOYOS, H. A. V. **Actinobactérias de biomas brasileiros: biodiversidade e potencial de uso na agricultura**. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 130. 2018.

JANARDHAN, A., KUMAR A.P., VISWANATH, B., SAIGOPAL, D.V.R., NARASIMHA, G. Production of bioactive compounds by Actinomycetes and their antioxidant properties. **Biotechnology Research International**, p. 1-8, 2014.

JANSSEN, P.H. Identifying the dominant soil bacterial taxa in libraries of 16S rRNA and 16S rRNA genes. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 72, p. 1719–1728, 2006.

KERN, M. E.; BLEVINS, K. S. **Micologia Médica: Texto e Atlas**. 2 ed. São Paulo: Premier, 1999.

KNÁB, M.; SZILI-KOVÁCS, T.; MÁRIALIGETI, K., MÓGA, J.; BORSODI, A. K. Bacterial diversity in soils of different Hungarian karst areas. **Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica**, v.65, n.4, p.1–20. 2018.

LAMBAIS, M.R; CURY, J.C.; MALUCHE-BARETTA, C.R.D.; BÜLL, R.C. Diversidade microbiana nos solos: definindo novos paradigmas. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, v. 4, p. 43-84, 2005.

LEITE, M. V. **Filamentous fungi from sewage sludge: impact on mycoflora and potential enzyme**. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.

LEWIN, Gina R. et al. Evolution and ecology of actinobacteria and their bioenergy applications. **Annual Review of Microbiology**, v. 70, p. 235-254, 2016.

LI, Q.; CHEN, X.; JIANG, Y.; CHENGLIN, J. Morphological identification of Actinobacteria. **Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications**, [s.l.], p.59-86, 2016.

LIMA, J. V. L. *et al.* Characterization of actinobacteria from the semiarid region, and their antagonistic effect on strains of rhizobia. **African Journal of Biotechnology**, v.16, n.11, p.499-507, 2017.

- LIMA, J. V. L. *et al.* Populações microbianas cultiváveis do solo e serrapilheira de uma unidade de conservação no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, p. 2300-2316, 2014.
- LOPES, J. B. A. C. *et al.* Produção de enzimas hidrolíticas extracelulares por actinobactérias oriundas do solo e serrapilheira de região semiárida. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 35-50, 2018.
- MAATAOUI, H. *et al.* Physicochemical characterization of actinomycetes isolated from decayed cedar wood: Contact angle measurement. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v.28, n.20, p.2046-2053, 2014.
- MABROUK, M. I.; SALEH, N. M. Molecular identification and characterization of antimicrobial active actinomycetes strains from some Egyptian soils. **American Eurasian Journal Agriculture & Environment Science**, v.14, p.954-963. 2014.
- MANSOUR, S. R.; ABDEL-AZEEM, A. M.; ABO-DERAZ, S. S. S. A new record of Actinobacteria isolated from soil in Jerusalem and their enzymatic potential. **F1000Research**, v. 4, n. 11, p. 11, 2015.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.
- MAZZETTO, A. M. *et al.* Activity of soil microbial biomass altered by land use in the southwestern Amazon. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016.
- MEDEIROS, E. J. T. *et al.* Diversidade cultural de cepas de actinobactérias do semiárido. **Enciclopédia Biosfera**, v.15, n.27, p.205-218, 2018.
- MOHAMMADIPANAH, F., WINK, J. Actinobacteria from arid and desert habitats: diversity and biological activity. **Frontiers in Microbiology**, v.28, n.6, p.1541, 2016.
- MOREIRA, F. M.S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. **O solo como habitat**. 2 ed. Lavras: Editora UFLA, p. 85-97, 2006.
- NASCIMENTO, V. F. S.; ARAÚJO, M. F. F. Ocorrência de bactérias patogênicas oportunistas em um reservatório do semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**. v. 7, n. 1, p. 91-104, 2013.

OKORO, C. K. *et al.* Diversity of culturable actinomycetes in hyper-arid soils of the Atacama Desert, Chile. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 95, n. 2, p. 121-133, 2009.

OLANREWAJU, O. S.; BABALOLA, O. O. *Streptomyces*: implications and interactions in plant growth promotion. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, n. 3, p. 1179-1188, 2019.

OLIVEIRA, R. L. *et al.* Production and characterization of endoglucanase secreted by *Streptomyces capoamus* isolated from Caatinga. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 42, p. 2394-2401, 2016.

PÉREZ CORRAL, D. *et al.* Aislamiento de actinomicetos asociados a rizosfera de árboles de manzano antagonicos a *Fusarium equiseti*. **Revista Mexicana de Ciências Agrícolas**, v. 6, n. 7, p. 1629-1638, 2015.

PHILIPPOT, L. *et al.* Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. **Nature Reviews Microbiology**, New York, v. 11, p. 789-799, 2013.

PRESCOTT, C. E.; GRAYSTON, S. J. Tree species influence on microbial communities in litter and soil: Current knowledge and research needs. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 309, p.19-27, 2013.

QIN, S. *et al.* Biodiversity, bioactive natural products, and biotechnological potential of plant-associated endophytic actinobacteria. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 89, n. 3, p. 457-473, 2011.

RAAIJMAKERS, J.M. *et al.* The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganism. **Plant and Soil**, Hague, v. 2, p. 341-361, 2009.

RAMOS, K. A. *et al.* Caracterização e diversidade cromogênica de actinobactérias de um nicho microbiano preservado no bioma Caatinga. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.21, p.2115-2125, 2015.

RANJANI, A.; DHANASEKARAN, D.; GOPINATH, M. An Introduction to Actinobacteria. **Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications**, [s.l.], p.3-37, 2016.

RAO, KV RAGHAVA *et al.* Antagonistic activities of actinobacteria from mangrove sediment. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 4, n. 1, p. 364-367, 2012.

RODRIGUES, J. G. C. *et al.* Production of cellulases by actinobacteria cultivated on different substrates. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 10636-10646, 2019.

ROMERO, F. *et al.* Selection and taxonomic identification of carotenoid-producing marine Actinomycetes. Microbial carotenoids from bacteria and microalgae: methods and protocols. **Methods in Molecular Biology**. v. 892, p. 13-20, 2012.

SANTOS J.C. *et al.* Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011.

SATHYA, A.; VIJAYABHARATHI, R.; GOPALAKRISHNAN, S. Plant growth-promoting actinobacteria: a new strategy for enhancing sustainable production and protection of grain legumes. **3 Biotech**, v. 7, n. 2, p. 102, 2017.

SHOUCHE, S; BHATI, P. Potencial of actinomycetes as bioremediating and biocontrolling agents. **Paripex - Indian Journal of Research**, v.8, p.36-40, 2019.

SILVA, L. J. *et al.* *Rhodococcus psychrotolerans* sp. nov., isolated from rhizosphere of *Deschampsia antarctica*. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 111, n. 4, p. 629-636, 2018.

SILVA, M. J. S. *et al.* Diversidade de cepas de actinobactérias da RPPN “Fazenda Não me Deixes” - Quixadá (CE). **Enciclopédia Biosfera**, v.16, n.29, p.1857-1869, 2019.

SILVA, V. M. A *et al.* Efeito da irrigação e do tipo de cultivo sobre a riqueza e diversidade cromogênica de actinobactérias do solo de uma região do semiárido do Ceará. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 2965-2979, 2015.

SILVA, V. M. A. *et al.* Cross-Feeding among soil bacterial populations: selection and characterization of potential bio-inoculants. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 5, p.23-34, 2019.

STROBEL, G.; DAISY, B.; CASTILLO, U.; HARPER, J. Natural products from endophytic microorganisms. **Journal of Natural Products**, v.67, n.2, p. 257-268, 2004.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). 2016. **Área de atuação da SUDENE**. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/acessoainforma%C3%A7%C3%A3o/institucional/area-de-atuacao-da-sudene/semiario>>. Acesso: 10 mai. 2020.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). 2017. **Delimitação do semiárido**. Disponível em: < <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>. Acesso: 10 mai. 2020.

TAKETANI, R. G. *et al.* Functional congruence of rhizosphere microbial communities associated to leguminous tree from Brazilian semiarid region. **Environmental Microbiology Reports**, v. 7, n. 1, p. 95-101, 2015.

TARAZONA, U. *et al.* Caracterización de actinomicetos de sedimento marino y su actividad antagonista frente a *Vibrio* sp. aislados de «langostino blanco» *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú**, v. 29, n. 2, p. 676-691, 2018.

TORSVIK, V.; GOKSÖYR, J.; DAAE, F.L. High diversity in DNA of soil bacteria. **Applied in Environmental Microbiology**, v. 56, p. 782-787, 2009.

VENKATA, B. G.; SINGARA, M. A. Characterization of antibacterial compounds produced by the actinomycetes using NMR spectral analysis. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v.4, p. 25-35, 2013.

VENTURA, M., CANCHAYA, C., CHANDRA, G., FITZGERALD, G. F., CHATER, K.F., SINDEREN, D. Genomics of Actinobacteria: tracing the evolutionary history of an ancient phylum. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v.71, p. 495-548, 2007.

VIKRAM, S.; GUERRERO, L. D.; MAKHALANYANE, T. P.; LE, P. T.; SEELY, M.; COWAN, D. A. Metagenomic analysis provides insights into functional capacity in a hyperarid desert soil niche community. **Environmental Microbiology**. v.18, n.6, p.1875-1888, 2016.

VINHAL-FREITAS, I. C. *et al.* Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 757-764, 2010.

VOS, M. *et al.* Micro-scale determinants of bacterial diversity in soil. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdam, v. 37, p. 936-954, 2013.

VURUKONDA, S. S. K. P., VARDHARAJULA, S., SHRIVASTAVA, M., SKZ, A. Multifunctional *Pseudomonas putida* strain FBKV2 from arid rhizosphere soil and its growth promotional effects on maize under drought stress. **Rhizosphere**, v.1, p.4-13, 2016.

WEBER, T. *et al.* Metabolic engineering of antibiotic factories: new tools for antibiotic production in actinomycetes. **Trends in Biotechnology**, v. 33, n. 1, p. 15-26, 2015.

WHITMAN, W. B.; GOODFELLOW, M.; KÄMPFER, P. *et al.* **Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology**. v. 5, p. 171-206, 2012.

WINK, J. M. **Compendium of Actinobacteria**. University of Braunschweig. p.1-37, 2012.

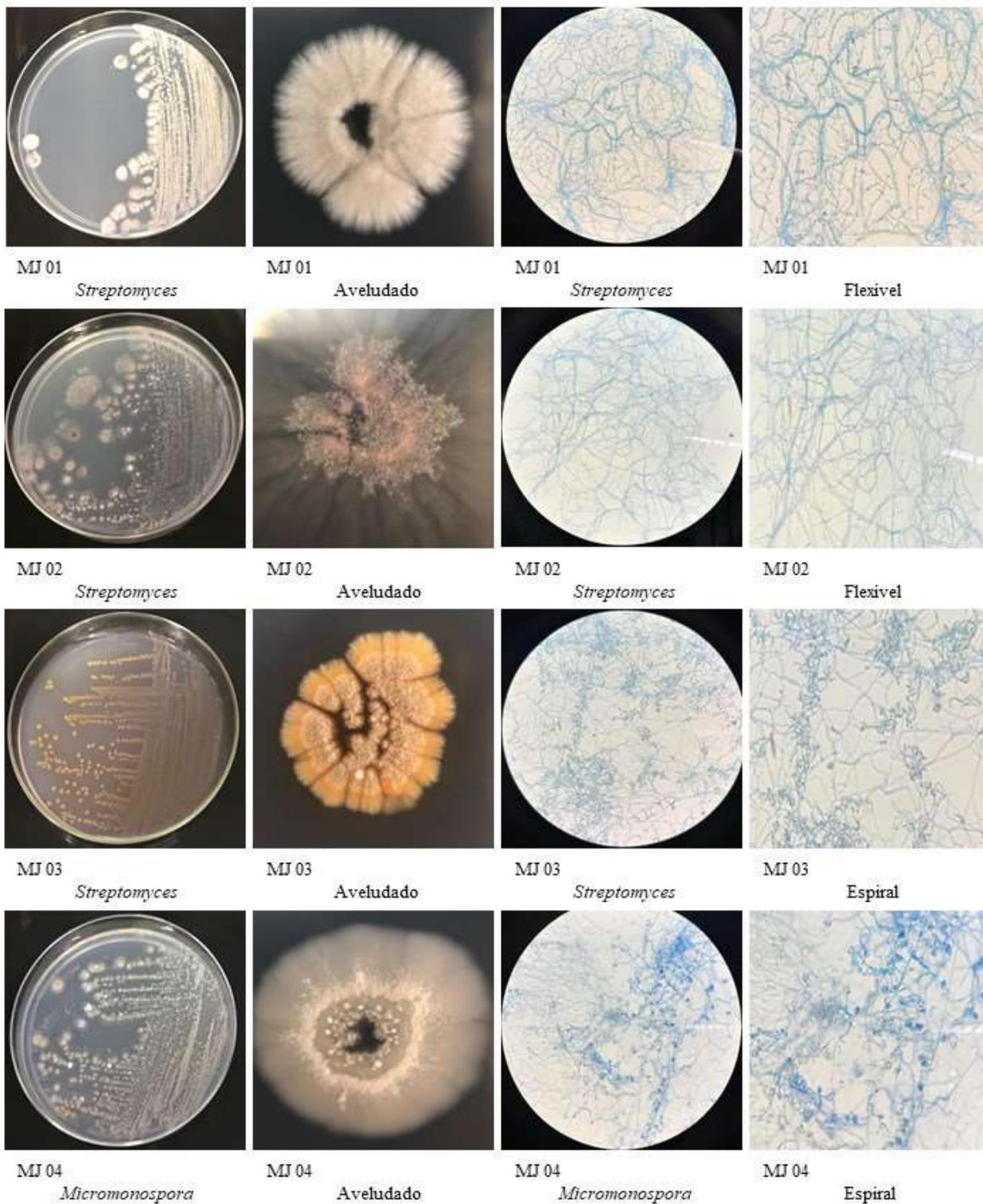
ZHAO K. *et al.* The diversity and anti-microbial activity of endophytic actinomycetes isolated from medicinal plants in Panxi Plateau China. **Current Microbiology**, v. 62, n. 1, p. 182-190, 2011.

**APÊNDICE A – REGISTRO FOTOGRÁFICO DA COLEÇÃO DE CEPAS DE
ACTINOBACTÉRIAS ISOLADAS DO SOLO DA REGIÃO DO MÉDIO
JAGUARIBE.**

Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira

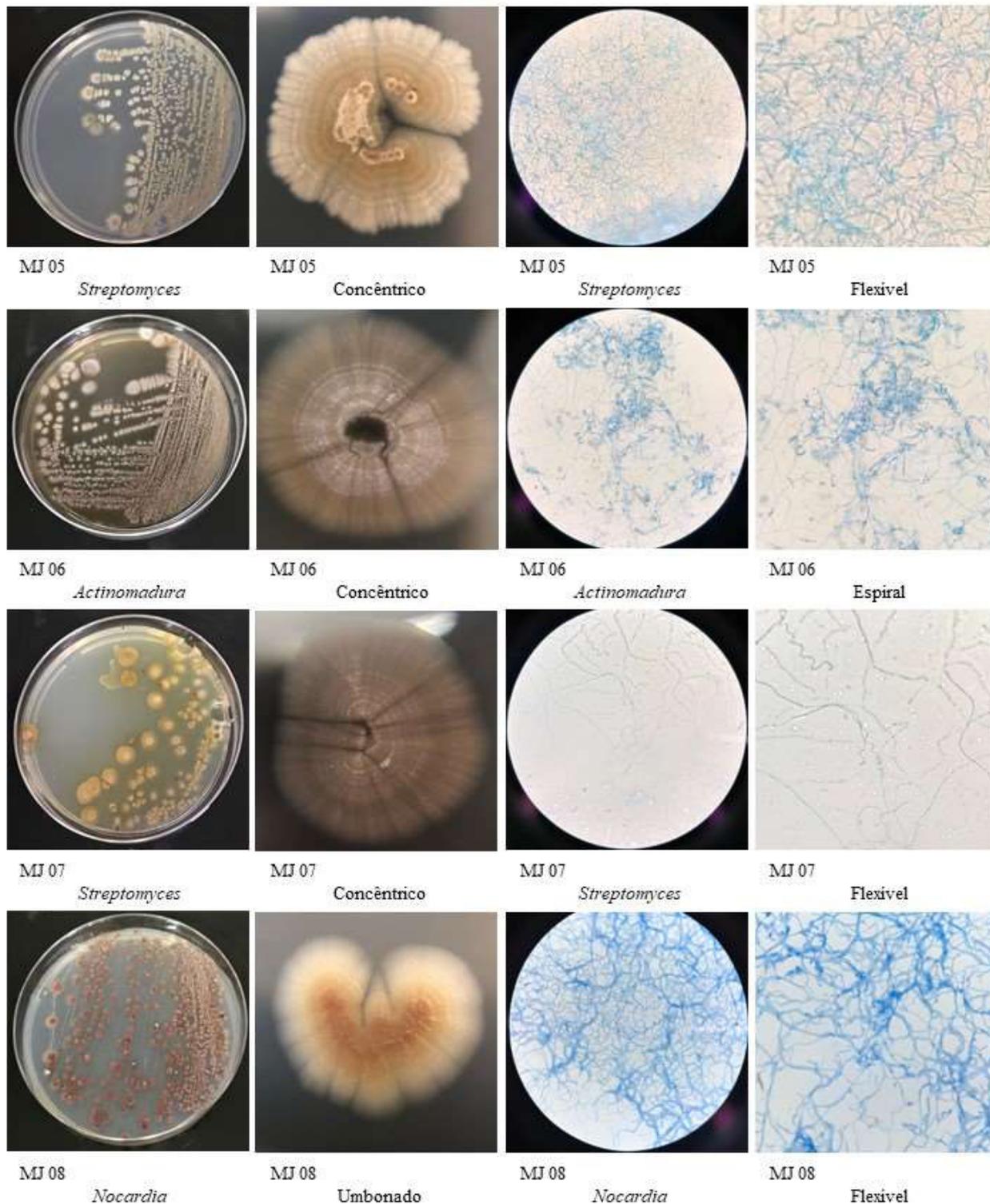
Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



MJ 09

Streptomyces

MJ 09

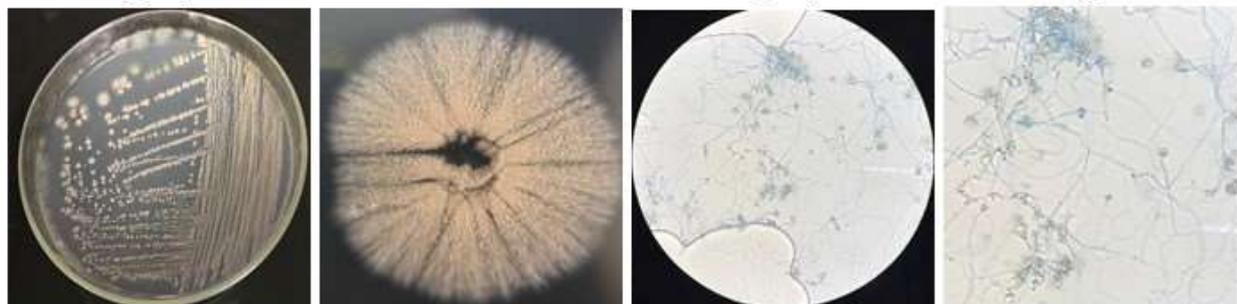
Aveludado

MJ 09

Streptomyces

MJ 09

Espiral



MJ 10

Thermomonospora

MJ 10

Concêntrico

MJ 10

Thermomonospora

MJ 10

Linha reta



MJ 11

Arthrobacter

MJ 11

Aveludado

MJ 11

Arthrobacter

MJ 11

Reticular



MJ 12

Nocardia

MJ 12

Aveludado

MJ 12

Nocardia

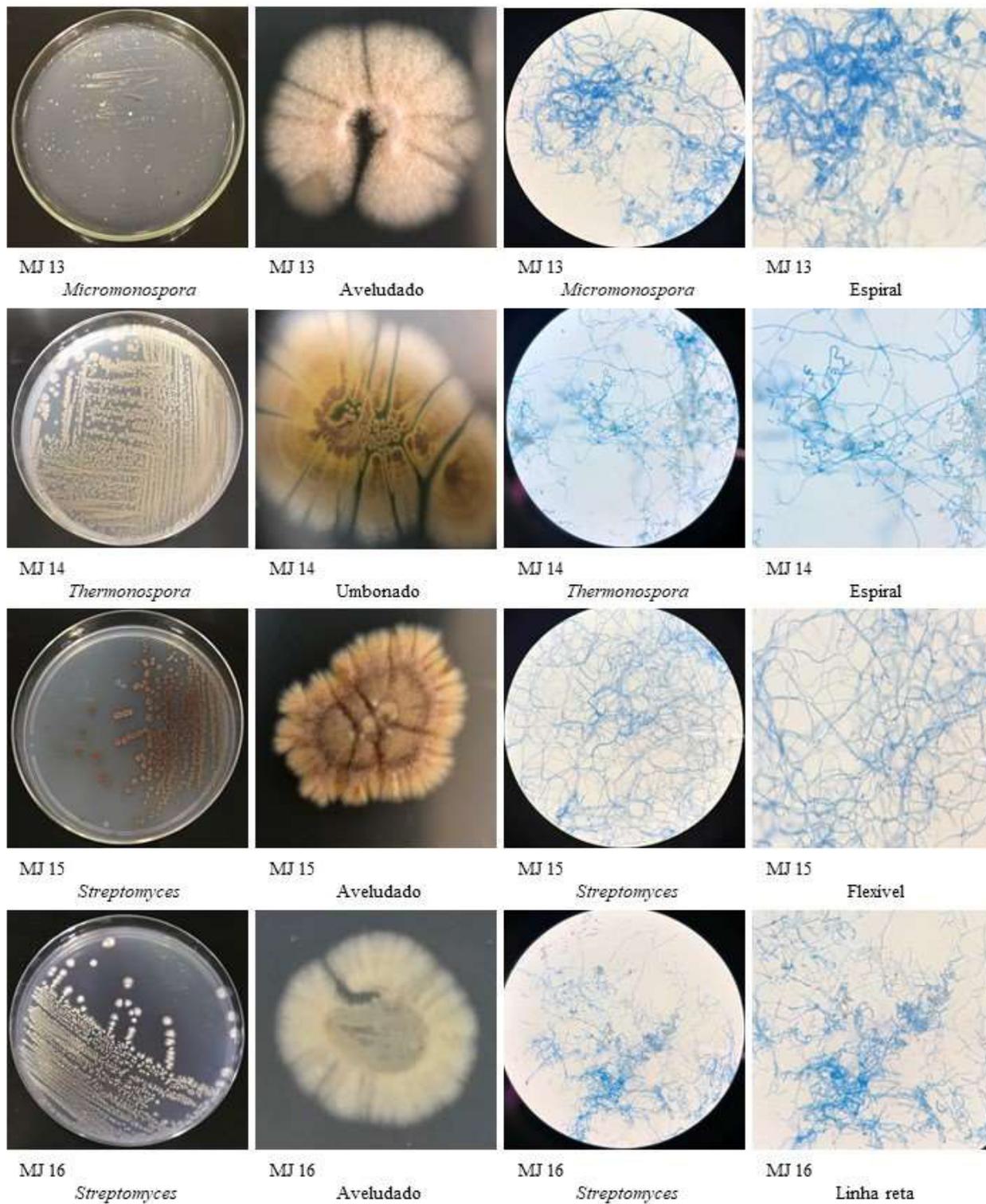
MJ 12

Flexível

Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

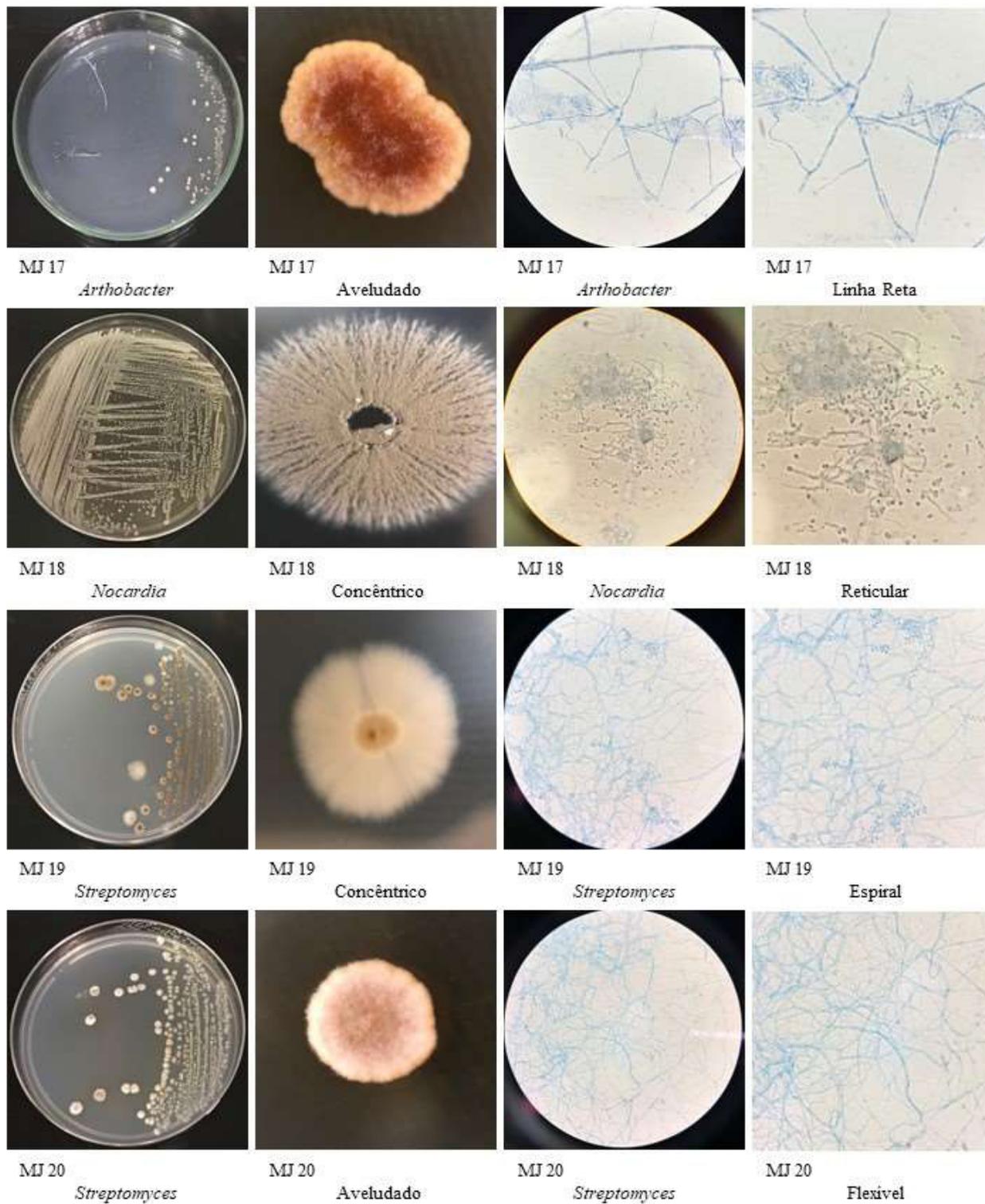
Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

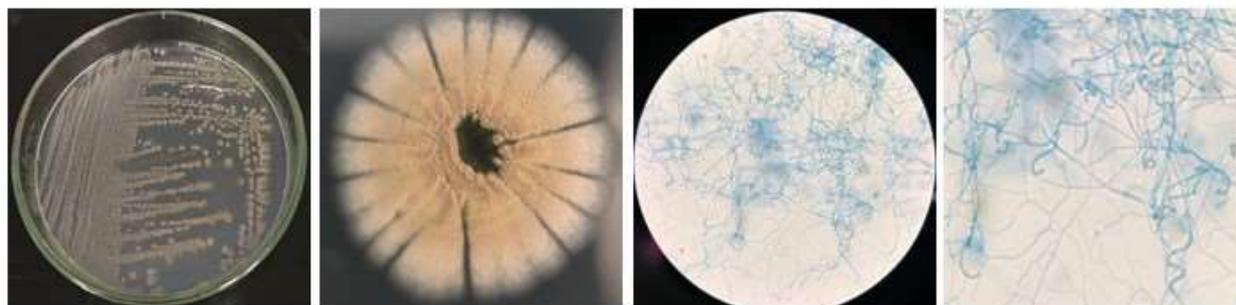
Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)

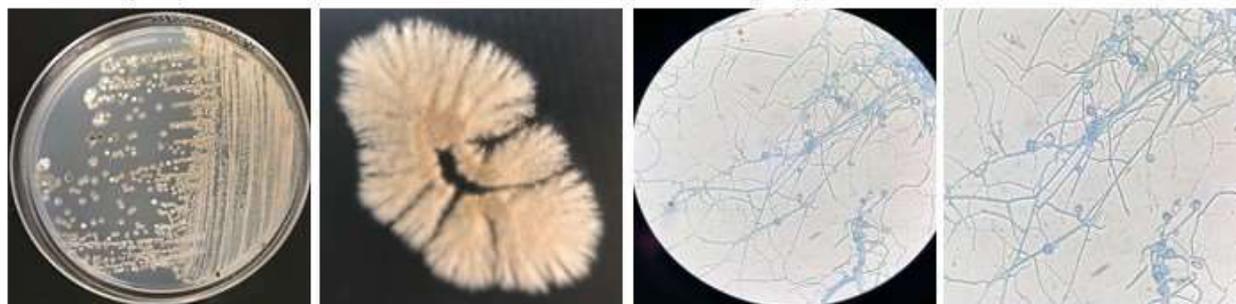


MJ 21
Streptomyces

MJ 21
Aveludado

MJ 21
Streptomyces

MJ 21
Reticular



MJ 22
Micrococcus

MJ 22
Aveludado

MJ 22
Micrococcus

MJ 22
Reticular



MJ 23
Streptomyces

MJ 23
Aveludado

MJ 23
Streptomyces

MJ 23
Espiral



MJ 24
Streptomyces

MJ 24
Aveludado

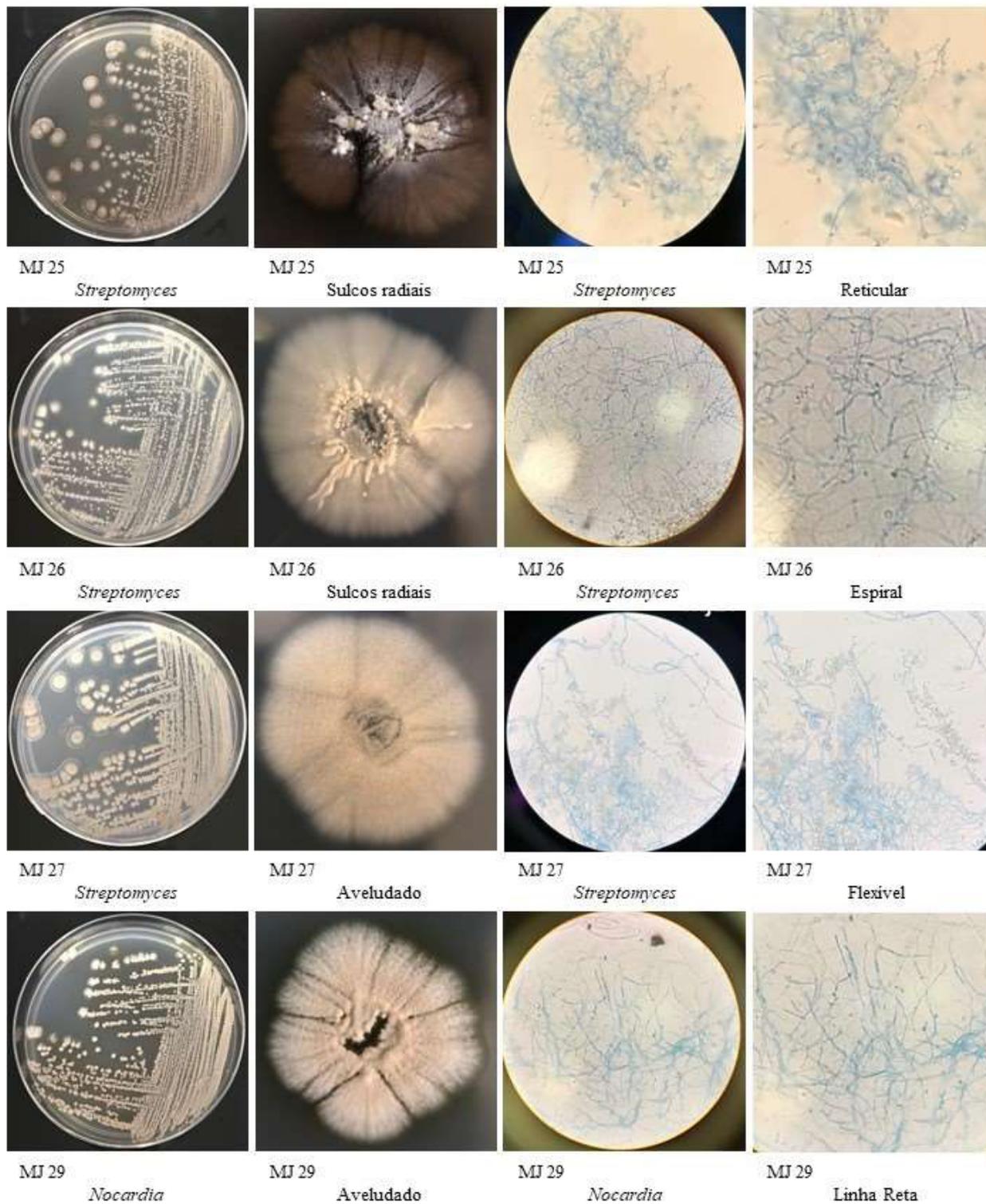
MJ 24
Streptomyces

MJ 24
Flexível

Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

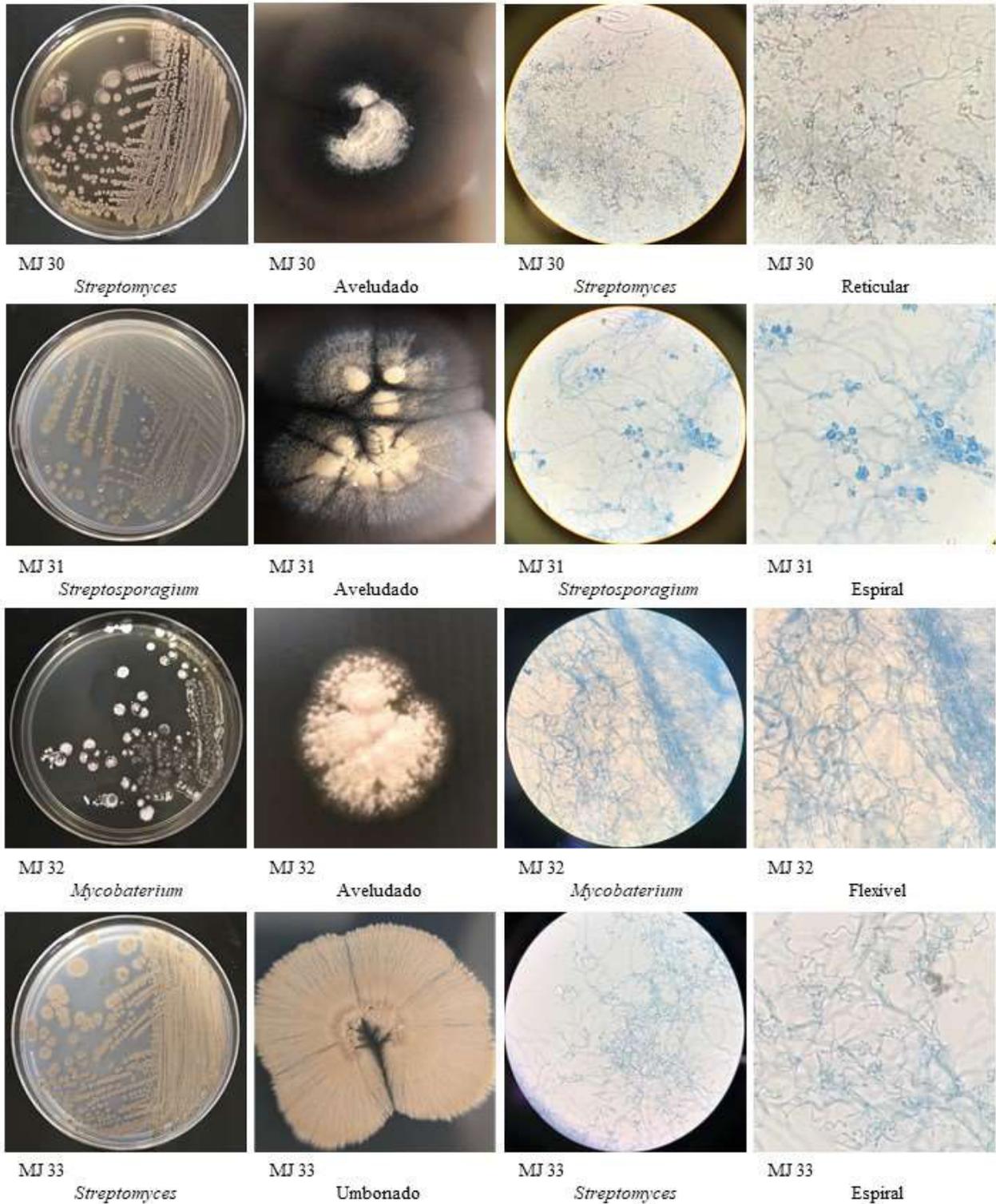
Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

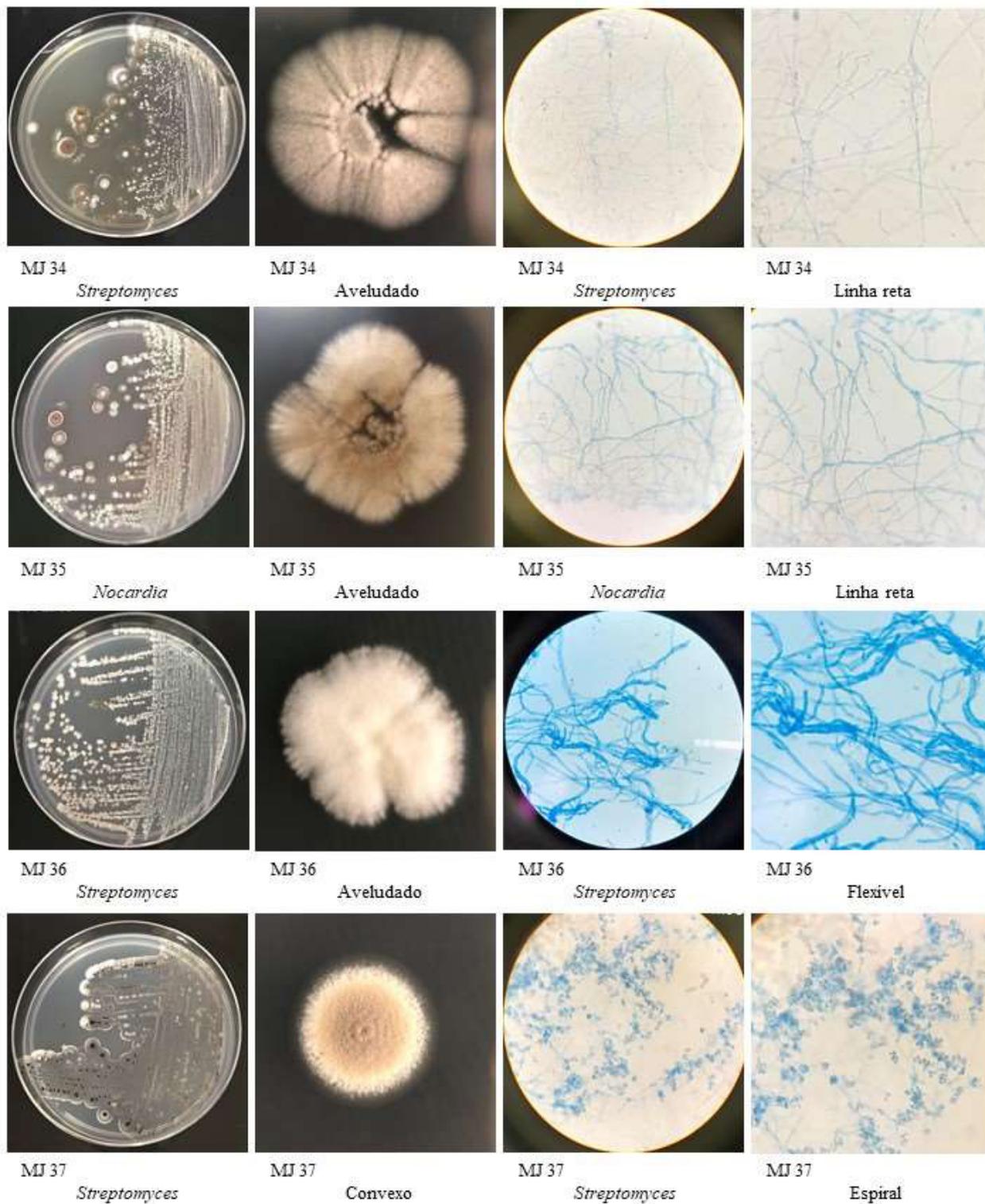
Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)

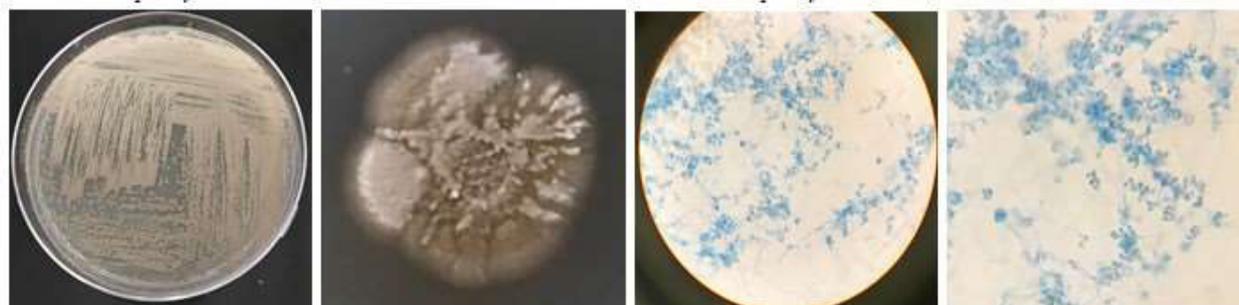


MJ 38
Streptomyces

MJ 38
Sulcos Radiais

MJ 38
Streptomyces

MJ 38
Flexível

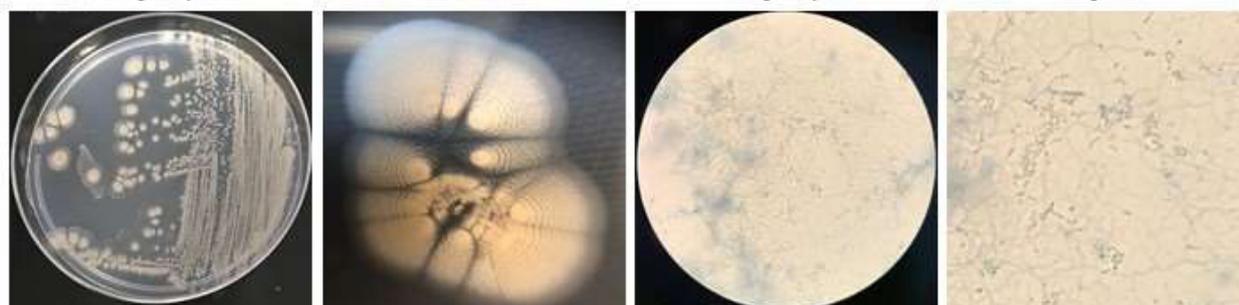


MJ 39
Streptomyces

MJ 39
Aveludado

MJ 39
Streptomyces

MJ 39
Espiral

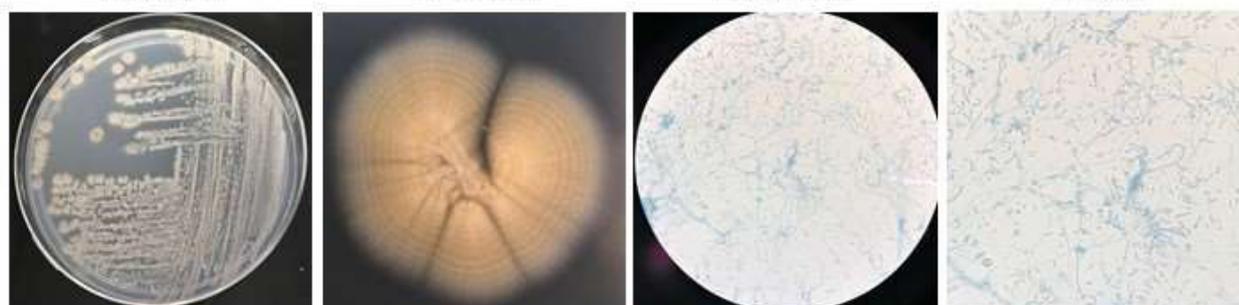


MJ 40
Streptomyces

MJ 40
Concêntrica

MJ 40
Streptomyces

MJ 40
Reticular



MJ 41
Streptomyces

MJ 41
Aveludado

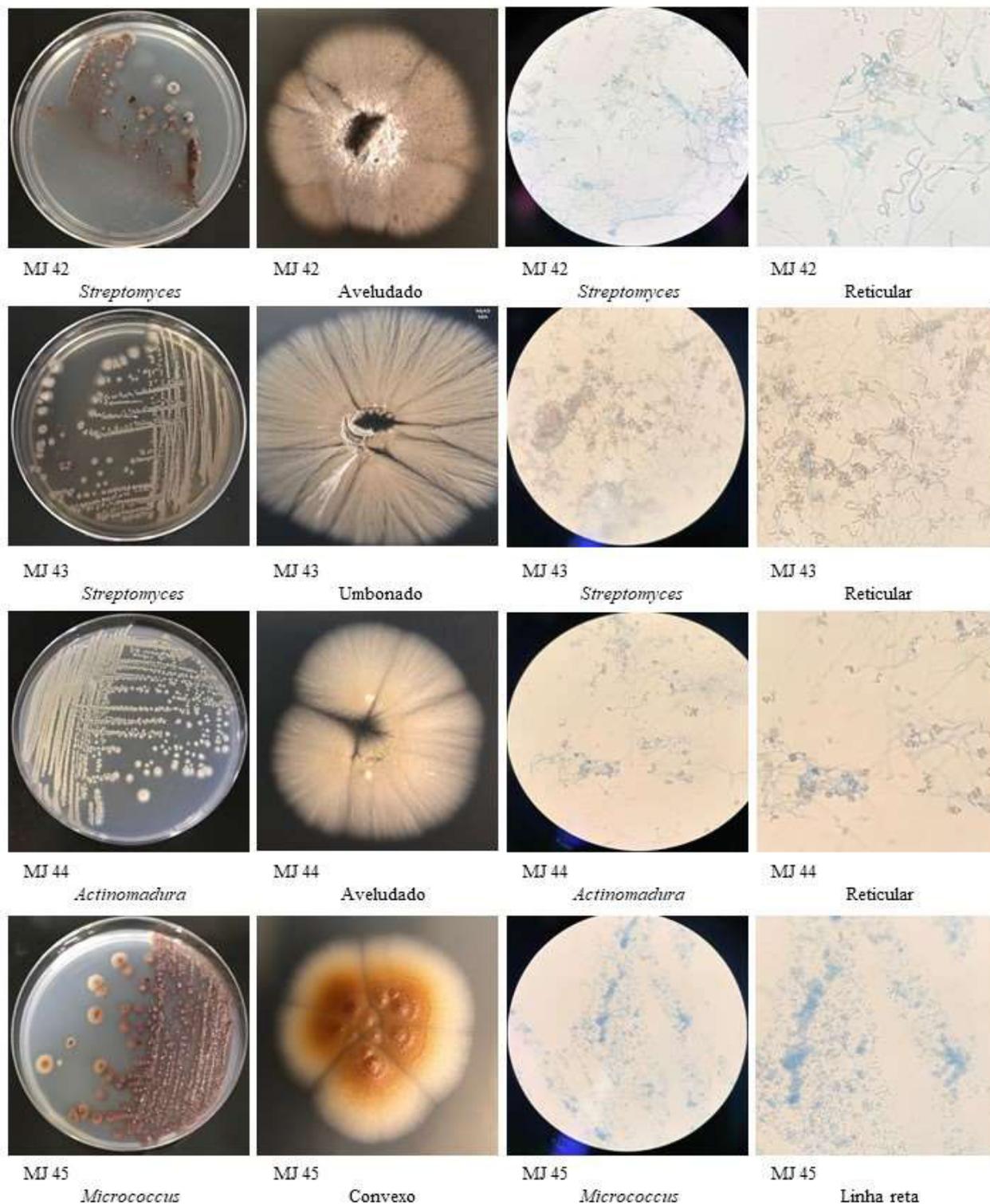
MJ 41
Streptomyces

MJ 41
Reticular

Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



Coleção de actinobactérias da microrregião do Médio Jaguaribe, CE, BRASIL

Mariane Pereira de Oliveira,

Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB)



MJ 46

Streptomyces



MJ 46

Aveludado



MJ 46

Streptomyces



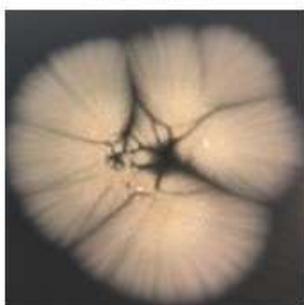
MJ 46

Espiral



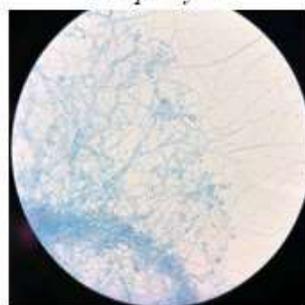
MJ 47

Streptomyces



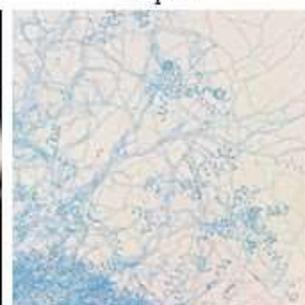
MJ 47

Aveludado



MJ 47

Streptomyces



MJ 47

Espiral