



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de São José do Rio Preto

GABRIEL CIMONETTI DE ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO, ECOLOGIA E APLICAÇÕES DE CROSTAS BIOLÓGICAS  
DE SOLO, COM DESTAQUE PARA AS ASSEMBLEIAS DE CIANOBACTÉRIAS**

São José do Rio Preto  
2022

GABRIEL CIMONETTI DE ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO, ECOLOGIA E APLICAÇÕES DE CROSTAS BIOLÓGICAS  
DE SOLO, COM DESTAQUE PARA AS ASSEMBLEIAS DE CIANOBACTÉRIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, junto ao Conselho de Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof. Dr. Luis Henrique Zanini Branco

São José do Rio Preto  
2022

A447c

Almeida, Gabriel Cimonetti de

Caracterização, ecologia e aplicações de crostas biológicas de solo, com destaque para as assembleias de cianobactérias / Gabriel Cimonetti de Almeida. -- São José do Rio Preto, 2022

71 f. : il., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientador: Luis Henrique Zanini Branco

1. Biologia. 2. Revisão de literatura. 3. Levantamento taxonômico.  
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

GABRIEL CIMONETTI DE ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO, ECOLOGIA E APLICAÇÕES DE CROSTAS BIOLÓGICAS  
DE SOLO, COM DESTAQUE PARA AS ASSEMBLEIAS DE CIANOBACTÉRIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, junto ao Conselho de Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Luis Henrique Zanini Branco  
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto  
Orientador

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lilian Casatti  
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Stela Maioli Castilho Noll  
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto

São José do Rio Preto  
18 de janeiro de 2022

## RESUMO

As crostas biológicas de solo (CBSs) são formadas por populações de cianobactérias, microalgas, líquens, briófitas, fungos e outros grupos de procariotos e ocorrem, principalmente, em ambientes semiáridos, áridos e hiperáridos, nos quais a cobertura vegetal é escassa, possibilitando que a luz solar chegue à superfície do solo. Tais comunidades são consideradas pioneiras e oferecerem serviços ecológicos de importância regional e global. Embora o tema careça de mais trabalhos dada a extrema relevância destas comunidades para o planeta e, principalmente, no cenário atual de mudanças climáticas, o número de estudos que buscam conhecer e explorar as características das CBSs vem crescendo com o passar dos anos. Tendo isso em vista, o presente trabalho tem como principal objetivo fazer uma revisão da literatura sobre estas comunidades a partir dos estudos disponíveis em plataformas digitais pertinentes, a fim de compilar informações mais recentes sobre a composição, distribuição, serviços ecológicos ofertados e possíveis aplicações das crostas biológicas de solo. As assembleias de cianobactérias têm destaque neste levantamento, devido às suas importâncias para o estabelecimento e amadurecimento das crostas, além de sua contribuição para a estabilidade e enriquecimento dos solos onde ocorrem. 192 trabalhos considerados mais relevantes, entre artigos, livros, monografias e dissertações, foram consultados, sendo que 47 deles foram usados para o levantamento taxonômico de cianobactérias presentes nestas comunidades. No total, foram compiladas 567 espécies, com seus respectivos sinônimos, pertencentes a 121 gêneros e distribuídas entre oito ordens. Foram realizadas análises de distribuição dos táxons levantados segundo o continente de ocorrência e revelaram maior riqueza de gêneros e espécies na Ásia, onde se concentra a maioria dos trabalhos, e menor na Oceania, onde poucos estudos foram conduzidos. Análises de similaridade entre as composições taxonômicas encontradas nas crostas dos diferentes continentes, mostraram maior similaridade entre Ásia e África quanto à presença de gêneros, e entre América do Norte e África, considerando a ocorrência comum de espécies.

**Palavras-chave:** Levantamento taxonômico; revisão de literatura; distribuição geográfica.

## **ABSTRACT**

The biological soil crusts (BSC) are formed by populations of cyanobacteria, microalgae, lichens, bryophytes, fungi and other groups of prokaryotes and occur mainly in semiarid, arid and hyper-arid environments, in which vegetation cover is scarce, thus enabling the sunlight to reach the soil surface. These communities are considered pioneer and provide ecological services of regional and global importance. Although the topic needs complementary works considering the extreme relevance of these communities to the planet and especially in the current climate change scenario, the number of studies that seek to understand and explore the characteristics of BSCs has been growing over the recent years. Thus, the main objective of this work is to review the literature on these communities available on relevant digital platforms, in order to compile more recent information on the composition, distribution, ecological services and possible practical applications of BSCs. The cyanobacterial assemblages are evaluated in more depth given their importance for the initial colonization and modification of the environment, which enables the establishment of other organisms. 192 most relevant works, including articles, books, monographs and dissertations, were consulted, and 47 of them were used for the taxonomic survey of cyanobacteria present in these communities. In total, 567 species, with their respective synonyms, belonging to 121 genera and distributed among eight orders, were compiled. Distribution analyses of the taxa surveyed according to the continent of occurrence revealed greater richness of genera and species in Asia, where most of the works are concentrated, and lower in Oceania, where few works were conducted. Similarity analyses of taxonomic compositions of crusts from different continents revealed greater similarity between Asia and Africa regarding the presence of genera, and between North America and Africa, considering the common occurrence of species.

**Keywords:** Taxonomic survey; literature review; geographic distribution.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

- Figura 1.** Esquemática de crostas lisas (A-B) e rugosas (C-D)..... 11
- Figura 2.** Esquemática de crostas pinaculadas (A-B) e onduladas (C-D)..... 11
- Figura 3.** Representação esquemática de uma secção de crosta biológica de solo com destaque para os componentes fotoautotróficos da comunidade..... 12
- Figura 4.** Representação dos diferentes estágios teóricos de sucessão ecológica das crostas biológicas..... 13
- Figura 5.** Espécimes de algas retiradas de amostras de crostas biológicas do Deserto do Atacama. *Cylindrocystis crassa* (a); *Xanthonema exile* (b); *Chlorococcum* cf. *oleofaciens* (c); *Xerochlorella minuta* (d); *Lobochlamys culleus* (e); *Klebsormidium nitens* (f)..... 15
- Figura 6.** Espécimes de cianobactérias retiradas de amostras de crostas biológicas do Brasil. *Leptolyngbya* sp. (a-b); *Porphyrosiphon notarisii* (c-d); *Schizothrix acutissima* (e); *Schizothrix telephoroides* (f); *Scytonema javanicum* (g)..... 16
- Figura 7.** Representação da distribuição global dos principais ambientes de ocorrência das crostas biológicas de solo. .... 20
- Figura 8.** Dendrogramas de similaridade de gêneros (A) e de espécies (B) entre os continentes. Af = África; An = Antártida; AN = América do Norte; As = Ásia; AS = América do Sul; Eu = Europa e Oc = Oceania. .... 35
- Figura 9.** Germinação das sementes (A), sobrevivência (B) e crescimento (C) das plântulas de *Agave marmorata* (a), *Prosopis laevigata* (b) e *Neobuxbaumia tetetzo* (c) em solo com crostas dominadas por cianobactérias (losangos), com crostas com cianobactérias e musgos (quadrados) e em solo sem crostas (triângulos)..... 54
- Figura 10.** Partículas perdidas em solo descoberto e coberto por crostas biológicas sob influência de simulações de chuva como agente erosivo. .... 56
- Figura 11.** Antes e depois do inóculo de organismos de CBSs em uma encosta do Parque Nacional de Yambaru, Okinawa, Japão. .... 57
- Figura 12.** Representação esquemática dos impactos da intensificação das mudanças climáticas e do uso do solo nas CBSs..... 58

## GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Riqueza de gêneros e espécies em crostas biológicas de solo por ordem de cianobactéria.....	29
<b>Gráfico 2.</b> Ocorrência de gêneros da ordem Nostocales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes. ....	30
<b>Gráfico 3.</b> Ocorrência de gêneros da ordem Oscillatoriales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes. ....	31
<b>Gráfico 4.</b> Ocorrência de gêneros da ordem Synechococcales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes. ....	32
<b>Gráfico 5.</b> Ocorrência de gêneros da ordem Chroococcales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes. ....	32
<b>Gráfico 6.</b> Ocorrência de gêneros da ordem Pleurocapsales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes. ....	33
<b>Gráfico 7.</b> Riqueza de gêneros e espécies de cianobactérias de crostas biológicas de solo por continente. ....	34

## QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania.....	36
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. TIPOS DE CROSTAS BIOLÓGICAS .....	10
3. COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA.....	12
3.1. Algas.....	13
3.2. Cianobactérias .....	15
3.3. Líquens .....	17
3.4. Briófitas .....	17
3.5. Fungos .....	18
3.6. Bactérias .....	19
4. OCORRÊNCIA E COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA DE CBSs NOS CONTINENTES ...	20
4.1. Crostas de regiões polares .....	20
4.2. Crostas de regiões alpinas.....	21
4.3. Crostas da África .....	22
4.4. Crostas da Ásia .....	23
4.5. Crostas da Europa.....	24
4.6. Crostas da Oceania .....	25
4.7. Crostas da América do Norte .....	26
4.8. Crostas da América do Sul .....	27
4.9. Crostas do Brasil.....	28
5. ASSEMBLEIAS DE CIANOACTÉRIAS DE CBS NOS CONTINENTES .....	29
6. SERVIÇOS ECOLÓGICOS E APLICAÇÕES DAS CROSTAS .....	53
6.1. Relação entre crostas biológicas e vegetais vasculares .....	53
6.2. Crostas biológicas como agentes estabilizadores do solo .....	55
7. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PERSPECTIVAS .....	57
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
REFERÊNCIAS .....	59

## 1. INTRODUÇÃO

As crostas biológicas de solo (CBSs) são comunidades compostas, majoritariamente, por cianobactérias, algas verdes, bactérias, arqueias, fungos, líquens e musgos que se encontram na superfície do solo, sobre uma camada coesa de partículas (BELNAP, BÜDEL & LANGE, 2003). Estas comunidades estão presentes nas mais diversas regiões do planeta, especialmente em ambientes áridos, semiáridos e hiper áridos, onde a cobertura vegetal é escassa, possibilitando a chegada da luz solar no solo (BELNAP, 2005).

Dentre todos os organismos comumente encontrados nas CBSs, as cianobactérias se destacam como as pioneiras e precursoras destas comunidades, uma vez que são organismos extremamente resilientes e capazes de alterar o ambiente, possibilitando o desenvolvimento de outros organismos (SCOTT, 1982). Com isso, espécies de *Microcoleus* (principalmente *M. vaginatus*) e *Nostoc* (principalmente *N. commune*), por exemplo, ocorrem em crostas de praticamente todo o planeta e são as principais responsáveis pela alteração do solo, já que são capazes de torná-lo mais estável e fértil (BELNAP, BÜDEL & LANGE, 2003).

As crostas biológicas também são conhecidas por oferecerem serviços ecológicos extremamente importantes para o ambiente, tais como a participação na ciclagem de carbono e nitrogênio, uma vez que grande parte de seus componentes é constituída por organismos fotossintetizantes e fixadores de nitrogênio (BELNAP, 2005; 2006). Destaca-se também o papel destas comunidades na proteção do solo contra processos erosivos, evidenciada pela presença de organismos filamentosos como fungos, algas e cianobactérias, com alguns representantes dos dois últimos capazes de produzir uma matriz de exopolissacarídeos que auxilia na estabilização do solo, promovendo coesão entre suas partículas (GUNDLAPALLY & GARCIA-PICHEL, 2006).

Alguns estudos também atribuem a estas comunidades influência positiva nos processos hidrológicos do solo (BELNAP, 2006; LI *et al.*, 2018), além de contribuírem para a germinação de sementes (HAWKES, 2004; PANDO-MORENO *et al.*, 2014) e de oferecerem abrigo e alimento para pequenos artrópodes em ambientes muito desfavoráveis (LALLEY *et al.*, 2006).

Com base na relevância e na falta de estudos sistematizados sobre estas comunidades, este trabalho tem como finalidade realizar uma síntese do conhecimento sobre as crostas biológicas, por meio de um revisão bibliográfica, sobre os seguintes aspectos: tipos, composição taxonômica, ocorrência, serviços ecológicos, possíveis aplicações e perspectivas

frente às mudanças climáticas, além de realizar uma análise sobre a composição das assembleias de cianobactérias de crostas nos continentes.

## 2. TIPOS DE CROSTAS BIOLÓGICAS

A classificação das crostas biológicas varia de acordo com o autor e, na maioria das vezes, leva em conta principalmente a diversidade taxonômica da comunidade e o tipo de solo em que ocorre. Nest contexto, Belnap (2003) propõe a classificação das CBSs de acordo com sua estrutura interna e externa, sendo a primeira levando em conta a diversidade dos organismos e a forma com que estes interagem com as partículas do solo.

A morfologia externa das crostas biológicas é moldada por diversos fatores como clima, histórico de perturbações, textura e química do solo, sendo os dois primeiros mais relevantes (BELNAP, 2003). Desta forma, existem quatro tipos de crosta que são nomeados de acordo com sua topologia, os quais representam um gradiente de acordo com o potencial de evapotranspiração (PET) do ambiente em que se encontram (BELNAP, 2003).

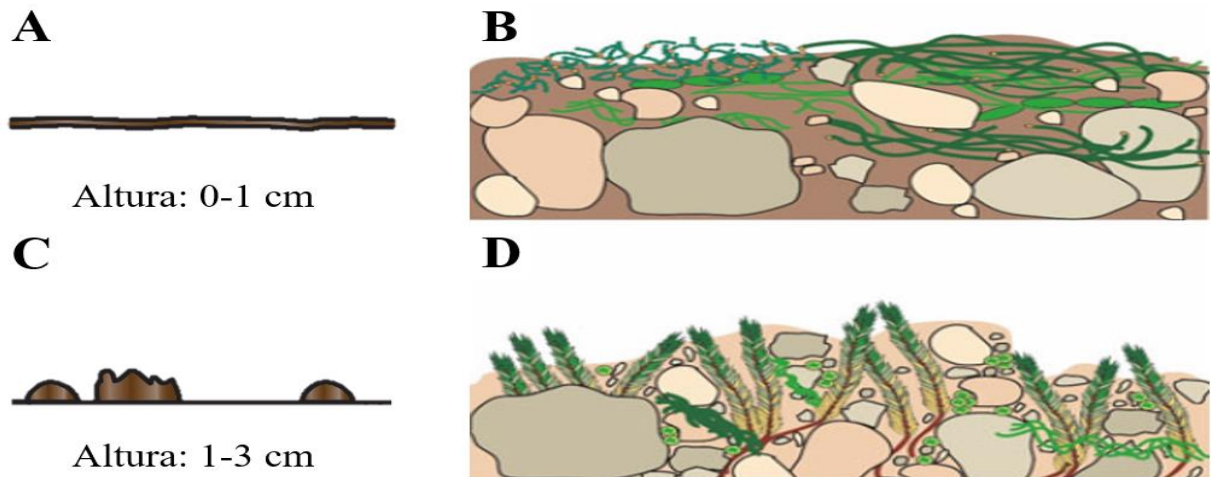
As CBSs lisas (Fig. 1 A-B) ocorrem principalmente em ambientes áridos e hiper áridos, nos quais não ocorrem congelamento da superfície e em áreas que sofrem distúrbio intenso. Além disso, tal tipo de crosta é composta majoritariamente por cianobactérias, algas e fungos vivendo logo abaixo da superfície do solo, o qual apresenta superfície plana e partículas de areia unidas pelos filamentos destes organismos (BELNAP, 2003).

As rugosas (Fig. 1 C-D) por sua vez ocorrem em ambientes áridos e semiáridos, onde não há congelamento da superfície e com PET menor que os das lisas. A composição deste tipo se assemelha com a do anterior, porém podem ser encontrados líquens e musgos crescendo sobre a comunidade. Em ambientes de clima temperado, este tipo de crosta é considerado um estágio avançado de sucessão, sendo dominado por musgos e algas filamentosas em sua superfície (BELNAP, 2003).

O tipo pinaculado (Fig. 2 A-B) geralmente é mais sensível a distúrbios e ocorre em desertos frios e demais ambientes de média latitude onde há congelamento do solo durante o inverno. É dominado por algas e cianobactérias subterrâneas, principalmente do gênero *Microcoleus*, podendo também suportar até 40% de sua superfície coberta por líquens e musgos. Estas crostas se caracterizam por formarem pequenos montes de líquens e musgos de até 15 cm de altura com colônias de cianobactérias em sua extremidade (BELNAP, 2003).

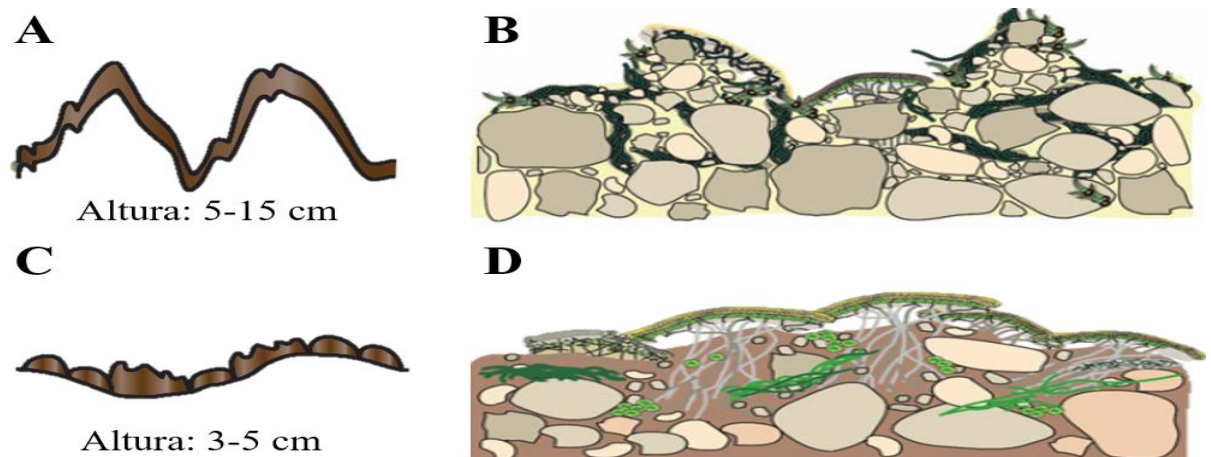
Por fim, as crostas onduladas (Fig. 2 C-D) ocorrem em ambientes mais frios como nos polos e em biomas próximos aos mesmos, onde o PET é extremamente baixo e, dessa forma, favorece a dominância de líquens, musgos e a formação de espessas colônias de cianobactérias nestas comunidades (BELNAP, 2003). A alta densidade de líquens e musgos fixados ao solo nestas CBSs garante às mesmas uma topologia diferente da encontrada no tipo pinaculado, embora a composição seja semelhante (BOWKER & BELNAP, 2008).

**Figura 1.** Esquemática de crostas lisas (A-B) e rugosas (C-D).



**Fontes:** 1A e 1C modificadas de Rosentreter, Bowker & Belnap (2007) e 1B e 1D modificadas de Colesie, Felde & Büdel (2016).

**Figura 2.** Esquemática de crostas pinaculadas (A-B) e onduladas (C-D).

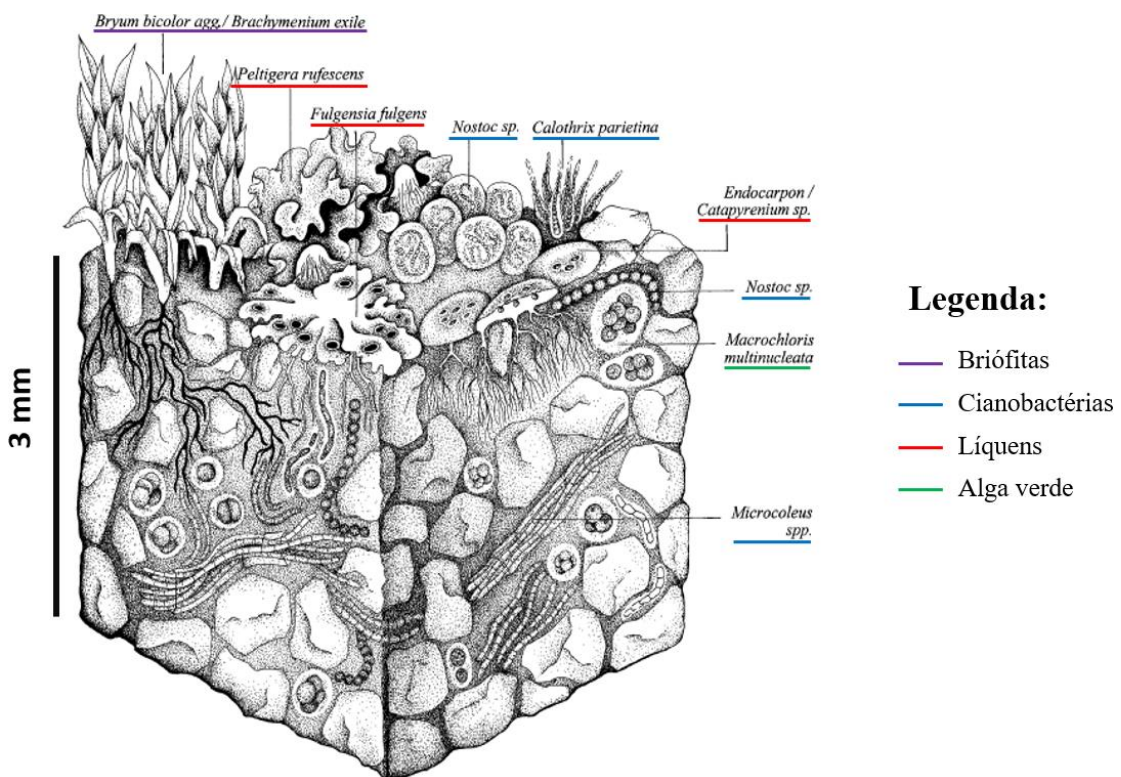


**Fontes:** 1A e 1C modificadas de Rosentreter, Bowker & Belnap (2007) e Figs. 1B e 1D modificadas de Colesie, Felde & Büdel (2016).

### 3. COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA

A estruturação das crostas biológicas se dá pela presença de populações de microrganismos autotróficos, como algas, cianobactérias, líquens e musgos e por organismos heterotróficos como fungos e bactérias (Fig. 3). Tais organismos, em especial as algas e cianobactérias, são responsáveis pela colonização e modificação do ambiente por meio de processos físicos e químicos que criam condições favoráveis ao aparecimento dos demais organismos.

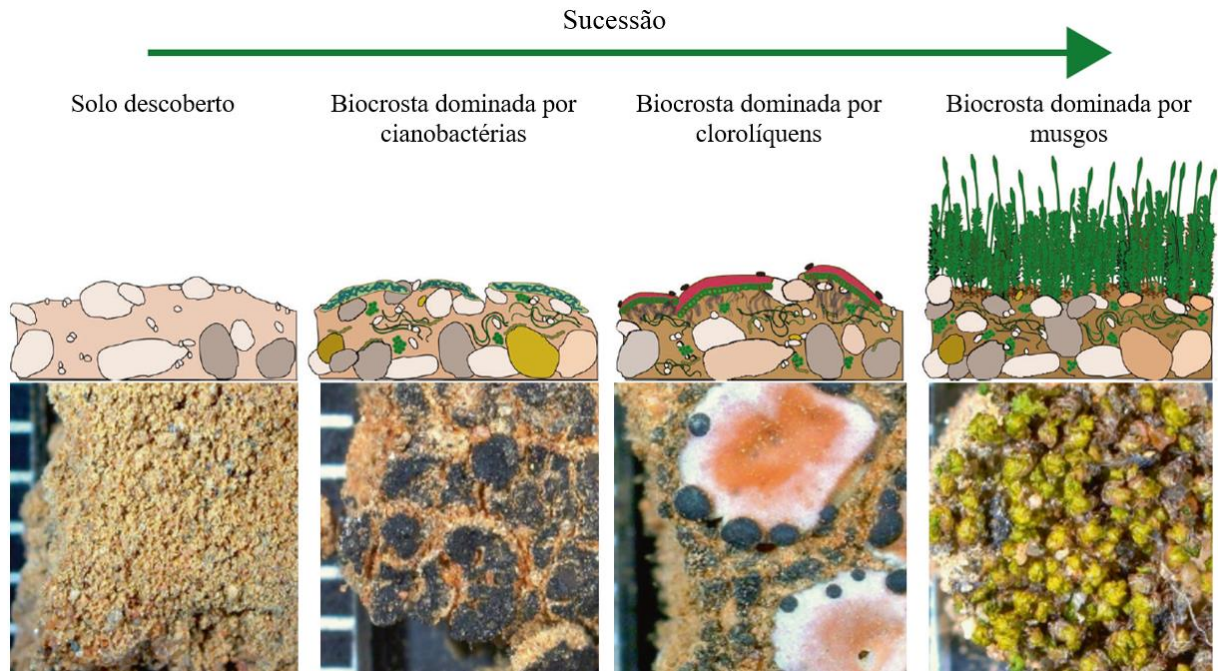
**Figura 3.** Representação esquemática de uma secção de crosta biológica de solo com destaque para os componentes fotoautotróficos da comunidade.



**Fonte:** Modificada de Belnap, Büdel & Lange (2003).

Além disso, a riqueza e abundância dos diferentes tipos de organismos presentes variam de acordo com o estágio de sucessão em que a comunidade se encontra (Fig. 4). Também há presença de outros organismos, como protozoários e pequenos invertebrados, que se aproveitam do microambiente criado nas CBSs, mesmo não sendo considerados integrantes destas comunidades.

**Figura 4.** Representação dos diferentes estágios teóricos de sucessão ecológica das crostas biológicas.



Fonte: Modificada de Maier *et al.* (2018).

### 3.1. Algas

Segundo um levantamento taxonômico feito por Büdel *et al.* (2016), os principais grupos de algas encontradas nas crostas biológicas (Fig. 5) são os filos Chlorophyta, Streptophyta e as classes Bacillariophyceae, Xanthophyceae e Eustigmatophyceae do filo Ochrophyta.

De acordo com os mesmos autores, as Chlorophyta representam o grupo mais diverso de algas presentes nestas comunidades, contando com 21 espécies distribuídas entre as classes Chlorophyceae, como as dos gêneros *Tetracystis*, *Chlorosarcinopsis*, *Macrochloris*, *Neochlorosarcina* e *Spongiochloris*, e Trebouxiophyceae, representada pelos gêneros cocoides *Chloroidium*, *Myrmecia* e *Pseudococcomyxa* entre outros.

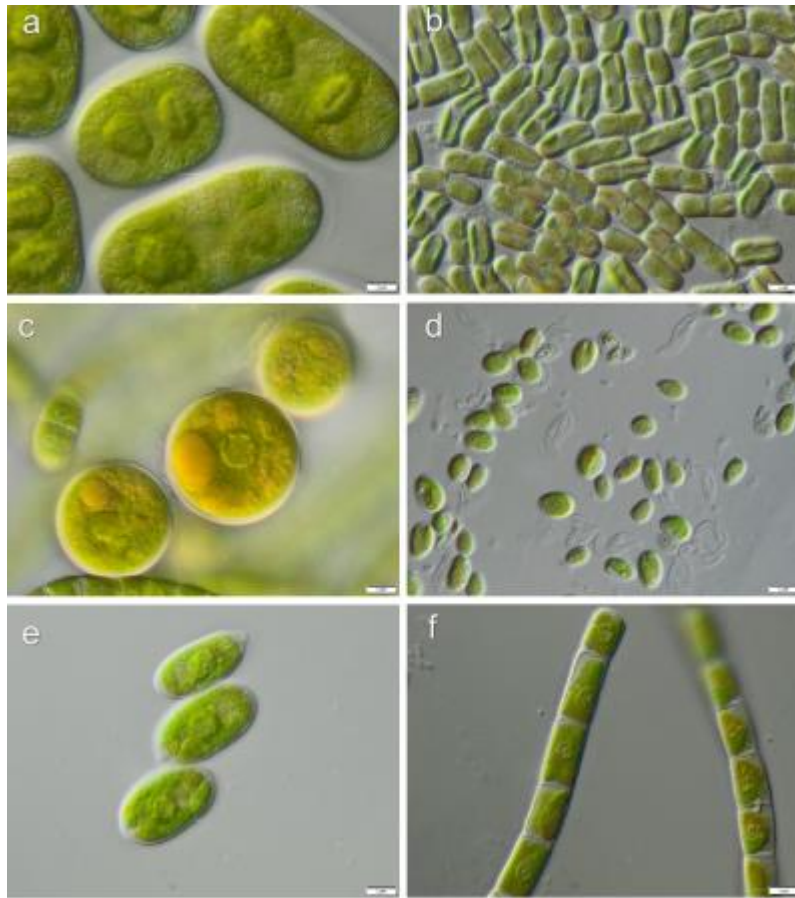
A classe Bacillariophyceae apresenta a segunda maior diversidade de algas nas CBSs, sendo *Nitzschia*, *Luticola*, *Hantzschia*, *Navicula* e *Pinnularia* os gêneros mais comuns deste filo encontrados nesta comunidade (BÜDEL *et al.*, 2016). As Streptophyta, por sua vez, representam o terceiro filo de algas mais diversificado em crostas biológicas, com gêneros amplamente distribuídos como os filamentosos *Klebsormidium* e *Zygonium* e o cocóide *Cylindrocystis* (BÜDEL *et al.*, 2016).

A classe Xanthophyceae restrita a ambientes mais frios, tendo como gênero mais comum o cocoide *Botrydiopsis*, além de alguns filamentosos como *Tribonema*, *Xanthonema* e *Heterococcus* (BÜDEL *et al.*, 2016). Já a classe Eustigmatophyceae tem apenas quatro gêneros cocoides registrados em crostas biológicas, sendo eles *Ellipsoidion*, *Eustigmatos*, *Gloeobotrys* e *Vischeria* (BÜDEL *et al.*, 2016).

Além do levantamento taxonômico, Büdel *et al.* (2016) ainda propõem a subdivisão destes organismos em quatro grupos, levando em conta as funções que desempenham nestas comunidades. O primeiro deles diz respeito aos gêneros filamentosos e produtores de mucilagem, como *Klebsormidium* e *Zygonium*, considerados responsáveis pelo aprisionamento de partículas do solo. O segundo grupo, por sua vez, compreende os grupos de algas que vivem aderidas às partículas de solo e a indivíduos do grupo citado anteriormente. Tal grupo apresenta alta biodiversidade (BÜDEL *et al.*, 2009) e engloba gêneros de algas verdes como *Spongiochloris* e *Neochლოსarcina*, além de alguns gêneros de diatomáceas, como *Hantzschia*, *Pinnularia* e *Luticola*.

O terceiro grupo trata de algas verdes que ocorrem como fotobiontes nos clorolíquens, como os gêneros *Myrmecia* e *Stichococcus*. Já o quarto grupo diz respeito às algas de água doce que podem, eventualmente, ocorrer em crostas biológicas, uma vez que estas comunidades garantem um microambiente mais úmido, possibilitando o estabelecimento de gêneros de algas verdes como *Chlorococcum*, *Chlamydomonas* e *Scenedesmus*.

**Figura 5.** Espécimes de algas retiradas de amostras de crostas biológicas do Deserto do Atacama. *Cylindrocystis crassa* (a); *Xanthonema exile* (b); *Chlorococcum* cf. *oleofaciens* (c); *Xerochlorella minuta* (d); *Lobochlamys culleus* (e); *Klebsormidium nitens* (f).



**Fonte:** Modificada de Samolov *et al.* (2020).

### 3.2. Cianobactérias

As cianobactérias (Fig. 6) são organismos de extrema importância para as crostas biológicas, uma vez que, devido à sua capacidade de tolerar situações extremas de temperatura, irradiância e aridez, geralmente são colonizadores em novos ambientes e, subsequentemente, os modificam de modo que outros organismos possam se desenvolver.

No levantamento feito por Büdel *et al.* (2016) foram identificadas 320 espécies de cianobactérias nestes ambientes, sendo 80 delas encontradas em pelo menos duas de sete regiões geográficas e 235 encontradas em apenas uma delas. Dentre elas, as espécies *Nostoc commune* e *Microcoleus vaginatus* são consideradas cosmopolitas, uma vez que ocorrem em crostas de praticamente todas as regiões geográficas do planeta, tendo assim importante papel na formação destas comunidades. As espécies *Coleofasciculus chthonoplastes* e *Trichocoleus*

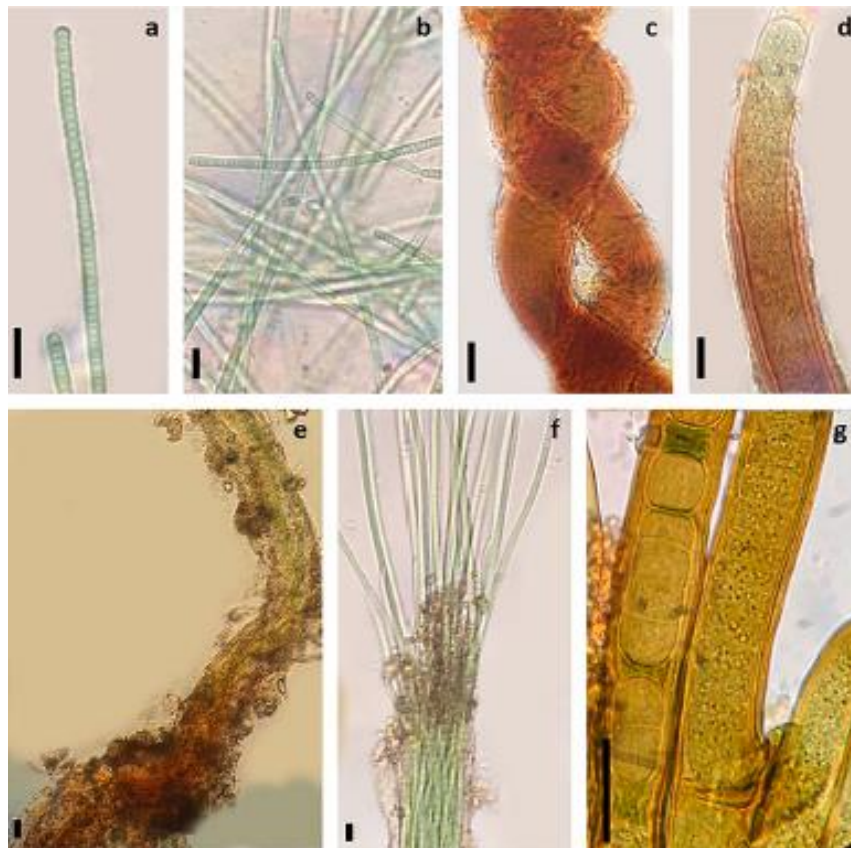


*sociatus* e representantes do gênero cocoide *Chroococidiopsis* também apresentam ampla distribuição, embora as duas primeiras não ocorram em crostas da Antártida e a última, da Europa (BÜDEL *et al.*, 2016).

Além disso, os mesmos autores dividem estes organismos em três grupos levando em conta os serviços ecológicos que oferecem. O primeiro grupo diz respeito às cianobactérias filamentosas, como *Microcoleus*, com importante papel na formação das crostas, uma vez que devido à sua morfologia e à secreção de matriz extracelular, aprisionam partículas de solo, tornando-o mais estável e facilitando o estabelecimento de outros organismos (GARCIA-PICHEL & WOJCIECHOVSKI, 2009; BÜDEL *et al.*, 2016).

O segundo grupo trata das cianobactérias que têm preferência por viver em crostas biológicas e atuam ativamente na ciclagem de carbono e nitrogênio, tais como *Scytonema*, *Nostoc* e *Stigonema*. Por fim, o terceiro grupo engloba gêneros que ocorrem aleatoriamente nas CBSs e, muitas vezes, vêm de ambientes aquáticos ou da relação simbiótica com fungos em líquens (BÜDEL *et al.*, 2016).

**Figura 6.** Espécimes de cianobactérias retiradas de amostras de crostas biológicas do Brasil. *Leptolyngbya* sp. (a-b); *Porphyrosiphon notarisii* (c-d); *Schizothrix acutissima* (e); *Schizothrix telephoroides* (f); *Scytonema javanicum* (g).



**Fonte:** Modificada de Machado-de-Lima *et al.* (2021).

### 3.3. Líquens

Os líquens são associações simbióticas entre fungos, chamados de micobiontes, e algas verdes (clorolíquens) ou cianobactérias (cianolíquens), chamados de fotobiontes (ROSENTERER *et al.*, 2016). Além disso, estes organismos são, assim como algas e cianobactérias, relativamente resistentes a ambientes extremos, tornando-os perfeitos para a colonização de ambientes polares, alpinos e muito quentes como alguns desertos e estepes, embora também estejam presentes em ambientes mais amenos (ROSENTERER *et al.*, 2016).

Líquens são considerados componentes-chave em crostas biológicas de diversas regiões do planeta (ROSENTERER *et al.*, 2016), uma vez que desempenham importantes papéis ecológicos, tais como aumento da estabilidade do solo pela emissão de estruturas de fixação, como as rizinas, aumento da infiltração e retenção de água (ELDRIDGE *et al.*, 2010; CHAMIZO *et al.*, 2012) e participação ativa na ciclagem de nutrientes, contribuindo com o aumento da fertilidade do solo (ELBERT *et al.*, 2012; DELGADO-BAQUERIZO *et al.*, 2013).

Segundo Rosentreter *et al.* (2016), os líquens estão presentes em crostas de todas as regiões do planeta e sua riqueza de espécies é fortemente dependente do bioma em que se encontram, sendo maior em ambientes polares e alpinos, onde a presença de vegetais vasculares é menor. Neste contexto, estudos conduzidos por Timdal (1986) mostraram que, apesar da diversidade de ambientes em que estes organismos se encontram, espécies como *Psora decipiens*, *Toninia sedifolia* e *Fulgensia bracteata* estão presentes em crostas de praticamente todo o planeta.

### 3.4. Briófitas

As briófitas representam o grupo de embriófitas mais comum em crostas biológicas sendo os únicos representantes destes organismos presentes nestas comunidades. Segundo o levantamento feito por Seppelt *et al.* (2016), foram identificadas até o momento pelo menos 320 espécies de briófitas em CBSs do mundo todo, sendo a maioria de musgos (cerca de 250 espécies) e de hepáticas (cerca de 66 espécies). Além disso, os mesmos autores ressaltaram que as regiões de maior riqueza de espécies são países do Pacífico, como Austrália e Nova Zelândia, e o continente europeu.

Diferente das algas e cianobactérias, as briófitas são mais sensíveis às condições ambientais e, por esse motivo, geralmente ocorrem nas CBSs quando estas se encontram em estágios mais avançados de sucessão ecológica. Apesar de serem menos representativas do que outros componentes das crostas, as briófitas também prestam importantes serviços ecológicos nos ambientes em que se encontram, tais como estabilização do solo, retenção e facilitação da penetração de água (ZHANG *et al.*, 2009), além de participarem da ciclagem de carbono, por serem fotossintetizantes (MELICK & SEPPELT, 1992), da alteração química e física do solo (DANIN & GAYNOR, 1991) e de proporcionarem abrigo para outros organismos, como invertebrados, algas e cianobactérias (DAVIDSON *et al.*, 1990).

A diversidade destes organismos em crostas biológicas varia de acordo com a localização geográfica em que estas comunidades se encontram. Neste contexto, Rosentreter *et al.* (2007) ressaltam que tanto na América do Norte quanto na Austrália as famílias de musgos dominantes nas crostas são Pottiaceae e Bryaceae. Já no continente africano, a espécie *Ceratodon purpureus* é dominante nas CBSs (WEBER, GRAF & BASS, 2012), embora espécies de *Bryum*, *Crossidium*, *Tortula* e *Campylopus* também sejam comuns (BÜDEL *et al.*, 2009).

### 3.5. Fungos

Os fungos são importantes componentes dos microbiomas de solos, tanto dentro como fora das crostas biológicas, uma vez que atuam ativamente no aumento da fertilidade do solo por serem decompositores. Como componentes das CBSs, os fungos desempenham importante papel na estabilização do solo por serem organismos filamentosos, além de atuarem como intermediários na troca de nutrientes entre os vegetais e as crostas biológicas (COLLINS *et al.*, 2008; GREEN *et al.*, 2008).

O principal filo presente nas crostas biológicas é o Ascomycota, principalmente representantes da ordem Pleosporales, como o gênero *Alternaria*, que apresenta ampla distribuição nesta comunidades em todo o planeta (BATES, GARCIA-PICHEL & NASH, 2010). Alguns gêneros que geralmente crescem sobre musgos e líquens, como *Acremonium* e *Phoma* também ocorrem com certa frequência (BATES, NASH & GARCIA-PICHEL, 2012; STEVEN *et al.*, 2015). Em contraste aos fungos filamentosos, os gêneros de leveduras não estão muito presentes nas CBSs, uma vez que não toleram condições muito extremas, com exceção

de alguns grupos de leveduras pretas, como *Exophiala crusticola*, capazes de produzir hifas (BATES, REDDY & GARCIA-PICHEL, 2006; MAIER *et al.*, 2016).

Bates, Nash & Garcia-Pichel (2012) observaram que a diversidade de fungos nas CBSs varia de acordo com a idade destas comunidades, sendo maior em estágios mais avançados de sucessão do que nos mais jovens. Além disso, o histórico de distúrbios das comunidades também influencia na abundância e diversidade destes organismos (STATES & CHRISTENSEN, 2001).

### 3.6. Bactérias

Embora as cianobactérias sejam o filo de procariotos mais abundantes nas CBSs, elas não são as únicas bactérias encontrados nestas comunidades. Estão presentes também representantes dos filios Actinobacteria, Acidobacteria, Proteobacteria (principalmente as Betaproteobacteria), todas comuns em praticamente todos os tipos de solo, e representantes de Bacteroidetes (FIERER *et al.*, 2012; MAIER *et al.*, 2016). Um estudo feito por Garcia-Pichel *et al.* (2003) no Planalto do Colorado concluiu que a biomassa destes organismos decresce com o aumento da profundidade da crosta ao mesmo tempo que se eleva com o aumento de sua idade.

A maioria dos grupos de bactérias encontradas nestas comunidades é de heterotróficos e decompositores, contribuindo diretamente com o aumento da fertilidade do solo em que se encontram. Além disso, gêneros miceliais de Actinobacteria, como *Streptomyces*, *Actinoplanes* e *Pseudonocardia* desempenham importante papel durante a formação das crostas biológicas, uma vez que auxiliam no aprisionamento e estabilização das partículas de solo, assim como gêneros de Bacteroidetes e Proteobacteria que produzem e secretam exopolissacarídeos, como observado também em cianobactérias e microalgas (GUNDLAPALLY & GARCIA-PICHEL, 2006).

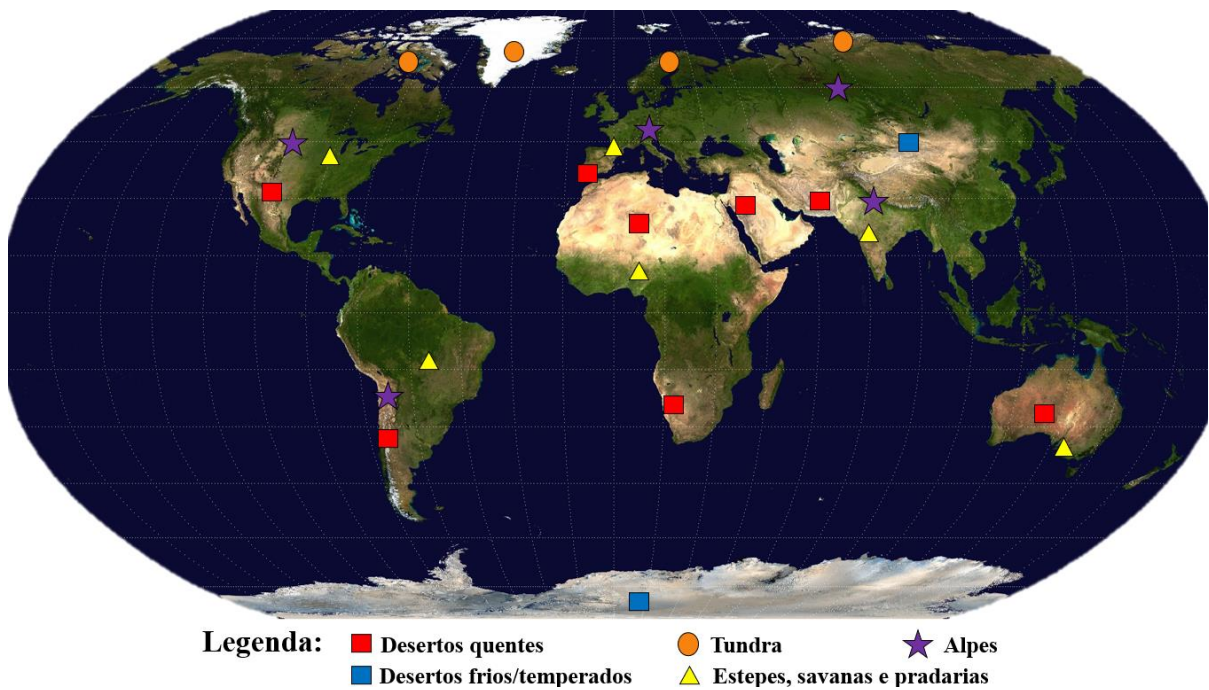
De maneira geral, a composição de procariotos, em nível de filo, nas CBSs é semelhante nas diferentes regiões do planeta.

Além disso, o posicionamento de representantes destes filios ao longo do perfil das crostas é variável. Nas regiões mais superficiais geralmente há maior abundância de cianobactérias, Actinobacteria e Alphaproteobacteria, enquanto em regiões de maior profundidade há maior abundância de Acidobacteria e Verrucomicrobia (MAIER *et al.*, 2016).

## 4. OCORRÊNCIA E COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA DE CBSs NOS CONTINENTES

Segundo Belnap (2005), para que as crostas ocorram em determinado ambiente, é necessário que este possua clima árido e cobertura vegetal escassa, possibilitando a ocorrência de espaços, nos quais ocorra a incidência da luz solar no solo. Com isso, os principais biomas com tais características ao redor do mundo (Fig. 7) são os desertos quentes, frios e temperados, savanas, estepes, tundras e alpes.

**Figura 7.** Representação da distribuição global dos principais ambientes de ocorrência das crostas biológicas de solo.



Fonte: Modificada de Wikipédia (2021).

### 4.1. Crostas de regiões polares

As regiões polares são caracterizadas por apresentarem baixos índices de irradiância, temperatura e pluviosidade e, como consequência, pouca cobertura vegetal, a qual é composta majoritariamente por briófitas e vegetais vasculares de pequeno porte ou rasteiros. As regiões polares incluem predominantemente desertos frios e, nas regiões mais próximas da costa, tundras. Embora esses dois biomas existam nestas regiões, há poucos estudos focados em crostas de tundras, sendo a maioria deles realizados no ártico e publicados em russo, dificultando o acesso (PUSHKAREVA, JOHANSEN & ELSTER, 2016).

Devido às baixas temperaturas, a decomposição da matéria orgânica nas regiões polares ocorre de forma mais lenta do que em regiões mais quentes do planeta. Desta forma, as CBSs desempenham importante papel na fertilidade do solo destes ambientes, sendo a única fonte de nutrientes em determinados locais (COLESIE *et al.*, 2014), uma vez que apresentam, de maneira geral, predominância dos organismos fotoautotróficos e alguns fixadores de nitrogênio, como cianobactérias do gênero *Nostoc*, comuns a estas comunidades (BÜDEL & COLESIE, 2014; RIPPIN *et al.*, 2018).

Em contrapartida, Colesie *et al.* (2014) reportaram, na região de *Diamond Hill*, na Antártida, a ocorrência de crostas dominadas pelo líquen *Acarospora gwynnii* e por algas verdes dos gêneros *Diplosphaera*, *Heterococcus* e *Trebouxia* e com ausência de qualquer outro tipo de organismo fotoautotrófico, incluindo cianobactérias (consideradas as precursoras destas comunidades).

## 4.2. Crostas de regiões alpinas

Regiões alpinas e subalpinas são distribuídas por praticamente todos os continentes e apresentam, de forma geral, condições climáticas e orográficas que restringem a colonização por vegetais vasculares, permitindo assim a existência de espaços descobertos no solo, ideais para a formação das crostas biológicas (TÜRK & GÄRTNER, 2003). Além disso, estas regiões apresentam pouca disponibilidade de água e cobertura sazonal de neve em alguns locais, características semelhantes às encontradas em ambientes polares. Apesar da ampla distribuição destes ambientes e das condições ideais para formação de CBSs, estudos sobre composição e ecologia destas comunidades nestas regiões são relativamente escassos (TÜRK & GÄRTNER, 2003).

Os principais organismos formadores de CBSs nestes ambientes são as algas verdes do filo Chlorophyta e cianobactérias, em especial em locais de maior altitude, sendo encontradas em até 6000 metros acima do nível do mar (REHÁKOVÁ, CHLUMSKÁ & DOLEZAL, 2011; JANATKOVÁ *et al.*, 2013; CAPKOVÁ *et al.*, 2016), já que estes organismos possuem adaptações para resistirem à intensa irradiância e longos períodos de dessecação (REHÁKOVÁ, CHLUMSKÁ & DOLEZAL, 2011; JANATKOVÁ *et al.*, 2013; KARSTEN & HOLZINGER, 2014). Apesar disso, alguns estudos também identificaram grande variedade de briófitas nestas comunidades (PEER *et al.*, 2010), principalmente em locais com solos menos ácidos e mais

férteis, e de líquens, especialmente em solos mais ácidos e menos férteis (NOVAKOVSKAYA *et al.*, 2020).

### 4.3. Crostas da África

Apesar das CBSs estarem amplamente distribuídas ao longo de toda África (BELNAP, BÜDEL & LANGE, 2003), os estudos sobre estas comunidades se concentram nas regiões setentrional e meridional do continente. Nestas áreas estão os principais biomas favoráveis à ocorrência, como os desertos quentes e savanas, que apresentam grande variação de características ambientais entre si, devido ao amplo gradiente latitudinal do continente.

Büdel *et al.* (2009) classificam as crostas presentes na África em sete tipos, sendo o tipo 1 formado por comunidades iniciais dominadas pelos gêneros *Microcoleus* e *Leptolyngbya* e o tipo 2 formado por crostas em estágio intermediário de sucessão, com predominância de *Nostoc*, *Phormidium* e *Scytonema*. Os tipos 3 e 4 resultam do desenvolvimento de crostas do tipo 2 e se caracterizam pelo aparecimento e predominância de cianolíquens e clorolíquens, respectivamente. Já o tipo 5 diz respeito às crostas em estágios mais avançados de sucessão que estão presentes em locais de maior umidade e são dominadas por briófitas. Por fim, o tipo 6 corresponde às crostas que ocorrem abaixo de grãos de quartzo presentes no solo, chamadas de hipolíticas e o tipo 7 possui predominância de algas verdes e líquens e é restrito ao Deserto da Namíbia.

Como principal deserto da África setentrional, o Saara apresenta uma variação de características ao longo de sua extensão, sendo considerado hiper árido em seu interior, enquanto em regiões mais periféricas as condições hídricas são menos extremas, devido a formação de neblina e orvalho (LE HOUÉROU, 1986; MONOD, 1986; ULLMANN & BÜDEL, 2003), possibilitando a ocorrência de CBSs, principalmente as do tipo 2, 3 e 4 (ULLMANN & BÜDEL, 2003; MANSOUR & SHAABAN, 2010; SHAABAN, MANSOUR & SABER, 2017; MANSOUR, HAMED & NOSAIR, 2020; MEHDA *et al.*, 2021).

Nos desertos da África meridional, os tipos de crostas encontradas variam dependendo do bioma, sendo os tipos 1, 2 e 3 presentes no Deserto do Kalahari, com o primeiro cobrindo de 19 a 90% da superfície do solo (THOMAS & DOUGILL, 2004; 2006; 2007; BÜDEL *et al.*, 2009). Já no Deserto da Namíbia estão presentes os tipos 6 e 7, com o segundo cobrindo até

70% da superfície do solo, formando um bioma único no mundo (ULLMANN & BÜDEL, 2003; VALVERDE *et al.*, 2015; COWAN *et al.*, 2019).

Em relação às savanas do norte da África, destaca-se a região do Sahel, que é subdividida em *sensu latu*, zona de transição com o Saara, caracterizada por apresentar um índice pluviométrico mais baixo, e em Sahel verdadeiro, que se caracteriza por formar um extenso cinturão de arbustos em uma área com índice pluviométrico um pouco mais elevado (ULLMANN & BÜDEL, 2003). Com isso, as crostas presentes nesta região são principalmente dos tipos 1 e 2 e sua composição e biomassa está mais intimamente relacionada à pluviosidade do que ao tipo de solo (ULLMANN & BÜDEL, 2003).

Já as savanas do sul da África, assim como os desertos, possuem variações no tipo de crostas encontradas dependendo do local, com o tipo 5, comum na região da Namíbia e do Kalahari (ULLMANN & BÜDEL, 2003). Em demais áreas de savanas, destacam-se os tipos 1, 2 e 4, principalmente na Região Florística do Cabo, na qual foi identificada a ocorrência de crostas dominadas por cianobactérias por Mager & Hui (2012), e no *Succulent Karoo* (BÜDEL *et al.*, 2009; HAARMEYER *et al.*, 2010; DOJANI *et al.*, 2014), onde também são encontrados os tipos 3, 5 e 6, especialmente em locais sem ocorrência de distúrbio durante algum tempo (DOJANI *et al.*, 2011; WEBER, GRAF & BASS, 2012; WEBER *et al.* 2013; 2018).

#### **4.4. Crostas da Ásia**

No continente asiático, os principais biomas nos quais ocorrem as crostas biológicas de solo são desertos temperados, localizados na região central do continente, desertos tropicais, predominantes nos países do Oriente Médio e em demais áreas do sul da Ásia, e savanas áridas e semiáridas, presentes em praticamente todo o continente.

Os estudos em desertos temperados, principalmente os localizados na China, trazem um amplo levantamento taxonômico de diversos componentes das CBSs, com cianobactérias (LI *et al.*, 2003 e 2004; LI, CHEN & YANG, 2004, ZHANG *et al.*, 2007; 2009; 2015; SU *et al.*, 2011; LIU *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2020), outros filós de procaríotos, como Proteobacteria, Acidobacteria, Planctomycetes, Bacteroidetes e Chloroflexi (LIU *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2020), fungos (LIU *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2020) e algas verdes (HU *et al.*, 2000; LI *et al.*, 2003; 2004; LI, CHEN & YANG, 2004; ZHANG *et al.*, 2007; 2009; 2015) ocorrendo em praticamente todos os tipos de crostas.



Outros estudos também identificaram líquens (ZHANG *et al.*, 2007) em crostas presentes em dunas estáveis destes desertos há pelo menos 40 anos, devido à alta sensibilidade destes organismos aos distúrbios (LI *et al.*, 2003; 2004; LI, CHEN & YANG, 2004). Também já foram identificadas briófitas (LI *et al.*, 2003; 2004), principalmente em CBSs localizadas em locais mais úmidos e sombreados, geralmente sob arbustos presentes no ambiente (ZHANG, CAO & PAN, 2002; ZHANG *et al.*, 2007).

Já nos desertos tropicais, caracterizados por apresentarem temperaturas mais altas que os temperados, os estudos sobre crostas biológicas também abrangem uma grande diversidade de organismos componentes destas comunidades, tais como as cianobactérias, algas verdes e diatomáceas (TIRKEY & ADHIKARY, 2006; BHATNAGAR *et al.*, 2008; MOGHTADERI, TAGHAVI & REZAEI, 2009; KIDRON, BARINOVA & VONSHACK, 2012; HAGEMANN *et al.*, 2015; 2017; DULIC *et al.*, 2017), fungos (ABED, *et al.*, 2013; 2019), líquens (JAFARI *et al.*, 2004; ABED, *et al.*, 2013; GHOLAMHOSSEINIAN *et al.*, 2021; GORJI *et al.*, 2021; KARIM, SALIH & AL-ZUBAIDY, 2021), briófitas (JAFARI *et al.*, 2004; GORJI *et al.*, 2021) e outros filões de procariotos, tais como Proteobacteria e Bacteroidetes (ABED, *et al.*, 2013; 2019; AABED *et al.*, 2021).

#### 4.5. Crostas da Europa

A Europa possui três climas propícios para a formação de crostas biológicas: Mediterrâneo na região sul, temperado continental na região central e polar na região norte (ver item 4.1.). No domínio Mediterrâneo, os principais biomas estudados são campos semiáridos e o Deserto de Tabernas, considerado o ecossistema mais árido do continente (RONCERO-RAMOS *et al.*, 2019). Já no domínio temperado continental, os estudos são focados em estepes áridas e em regiões de dunas.

Nos campos semiáridos, a maioria dos estudos sobre crostas tem como foco as populações de líquens presentes nestas comunidades, com a composição e distribuição destas populações sendo diretamente influenciadas pela disponibilidade de nutrientes no solo (MAESTRE *et al.*, 2011; OCHOA-HUESO *et al.*, 2011), pelo histórico de impacto do mesmo e pela variedade de vegetais vasculares dominantes no local (CONCOSTRINA-ZUBIRI *et al.*, 2017; 2019). Também foram observadas nas crostas destes biomas assembleias de cianobactérias com maior abundância de espécies não heterocitadas com distribuição e

diversidade sendo diretamente afetadas pela composição edáfica, temperatura e pluviosidade (CANO-DÍAZ *et al.* 2018; WILLIAMS *et al.*, 2018; MUÑOZ-MARTÍN *et al.*, 2019).

Ainda no domínio Mediterrâneo, o Deserto de Tabernas compreende outro bioma favorável para a ocorrência de crostas biológicas e caracteriza-se por possuir um clima semiárido, uma parte de sua superfície erodida e infértil, outra coberta por um mosaico de gramíneas, arbustos e crostas dominadas por líquens e uma terceira parte coberta quase que totalmente por CBSs dominadas por cianobactérias, líquens e com a ocorrência de poucas espécies de musgos e com algumas espécies de vegetais vasculares isoladas ao longo da paisagem (BÜDEL *et al.*, 2014). Desta forma, tal bioma exibe grande diversidade de crostas biológicas em diferentes estágios de sucessão, partindo de um mais inicial até um mais avançado (LÁZARO *et al.*, 2008). Ainda neste ecossistema, Miralles *et al.* (2012) observaram maior abundância de organismos ativos em crostas mais próximas ao estágio de clímax, com dominância de líquens.

Em ambientes temperados continentais da Europa, Hoppert *et al.* (2004) identificaram, em crostas de estepes áridas, líquens, musgos, fungos do gênero *Fusarium* e algas verdes, cuja distribuição e diversidade dependem diretamente da profundidade da comunidade, espécie dominante de vegetal vascular no bioma e de características edáficas, como salinidade e pH (KOMÁROMY, 1976; BÜDEL, 2003).

Por fim, as regiões de dunas do domínio temperado configuram ambientes relativamente áridos com solo ácido, arenoso e pouco consolidado que sofre com intenso processo de erosão eólica, principalmente em locais com pouca ou nenhuma cobertura vegetal (BÜDEL, 2003). Com isso, as crostas encontradas nestes ambientes são, de maneira geral, dominadas por organismos filamentosos, como fungos, algas verdes e cianobactérias (SCHULZ *et al.*, 2016; FISCHER & VESTE, 2018; MIKHAILYUK *et al.*, 2019) e, em locais mais estáveis, também ocorre crescimento de algumas espécies de musgos, principalmente *Polytrichum piliferum* (FISCHER & VESTE, 2018).

#### **4.6. Crostas da Oceania**

Os estudos sobre crostas biológicas na Oceania se concentram na Austrália, país com predominância de desertos quentes e campos formados por solo antigo e pouco fértil, com grande parte tomada por pastagens (ELDRIDGE, 2003). Com isso, em ambos os tipos de

biomas estudados, as crostas encontradas apresentam predominância de cianobactérias e ocorrência de algas verdes, líquens e musgos, especialmente em locais menos áridos (ELDRIDGE, 2003; WILLIAMS, ELDRIDGE & ALCHIN, 2008; WILLIAMS & BÜDEL, 2012; BÜDEL, WILLIAMS & REICHENBERGER, 2018), além de crostas hipolíticas, também dominadas por cianobactérias (TRACY *et al.*, 2010).

#### 4.7. Crostas da América do Norte

Na América do Norte, a maioria dos estudos se concentram em desertos quentes e frios, estepes e pradarias dos Estados Unidos, embora também haja trabalhos realizados em desertos quentes mexicanos e em regiões polares do Canadá. Neste sentido, o Deserto de Mojave, considerado frio, apresenta predominância de crostas rugosas dominadas por *Microcoleus vaginatus* (DURRELL, 1962), embora também ocorram outras espécies de cianobactérias e, ocasionalmente, algas verdes, líquens, briófitas e outros filos de procariotos, como Acidobacteria, Chloroflexi, Proteobacteria e Bacteroidetes (ROSENTERETER & BELNAP, 2003; MOGUL *et al.*, 2017; WILLIAMS, BUCK & BEYENE, 2012; FISHER, JEFFERSON & VAISHAMPAYAN, 2020). Schlesinger *et al.* (2003) relataram a ocorrência de crostas hipolíticas, também dominadas por cianobactérias, em algumas regiões do bioma.

Já nos desertos quentes, o mesmo padrão de crostas é encontrado, porém com algumas diferenças na composição taxonômica das mesmas (ROSENTERETER & BELNAP, 2003; SCHLESINGER *et al.*, 2003; NAGY, PÉREZ & GARCIA-PICHEL, 2005). Os trabalhos realizados nestes biomas não fazem referência à ocorrência de crostas hipolíticas. As estepes e pradarias semiáridas, por outro lado, também apresentam CBSs dominadas por cianobactérias (ROSENTERETER & BELNAP, 2003; BELNAP, 2002; HAWKES & FLECHTNER, 2002; NEHER *et al.*, 2003; BOWKER & BELNAP, 2008), porém a maioria dos estudos realizados nestes biomas são focados em líquens, briófitas e algas verdes (PONZETTI & MCCUNE, 2001; ROSENTERETER & BELNAP, 2003; MUSCHA & HILD, 2006; BOWKER & BELNAP, 2008; TORRES-CRUZ *et al.*, 2018; WARREN, ROSENTERETER & PIETRASIAK, 2020).

#### 4.8. Crostas da América do Sul

Os principais biomas propícios à ocorrência de crostas biológicas na América do Sul são, de maneira geral, desertos quentes e formações savânicas. Como desertos, destacam-se o Deserto do Atacama e os desertos peruanos, os quais configuram um ambiente hiper árido e onde Arana, Carlo & Salinas (2016) observaram a existência de crostas biológicas com predominância de cianobactérias, líquens e musgos ao longo de um gradiente orográfico. Por apresentar o maior número de estudos com crostas biológicas da América do Sul e por ser de principal interesse deste trabalho, o Brasil será tratado em um item específico.

Como principal deserto sul-americano, o Deserto do Atacama caracteriza-se por apresentar um gradiente de aridez, partindo de uma região semiárida ao sul até uma região hiper árida ao norte (AZÚA-BASTOS *et al.*, 2011; LACAP *et al.*, 2011). Este bioma corresponde também ao ambiente com mais estudos sobre CBSs da América do Sul, que são dominadas por cianobactérias e com a ocorrência de líquens e algas verdes (BAUMANN *et al.*, 2018; LEHNERT *et al.*, 2018; SAMOLOV *et al.*, 2020).

Por ter até 83,2% de sua superfície coberta por grãos de quartzo (AZÚA-BASTOS *et al.*, 2011), no Atacama também são encontradas crostas hipolíticas, nas quais há a predominância de cianobactérias e a ocorrência de representantes de outros grupo de procariotos, como os filos Proteobacteria, Acidobacteria, Bacteroidetes, Planctomycetes, Deinococcus e Chloroflexi (WARREN-RHODES *et al.*, 2006; AZÚA-BASTOS *et al.*, 2011; LACAP *et al.*, 2011).

Outra região de destaque para a ocorrência de crostas biológicas, é a Província Fitogeográfica do Monte (oeste da Argentina), na qual há um gradiente de aridez com predominância de desertos e savanas (ROMERO *et al.*, 2019a; 2019b). Com isso, a composição e abundância das CBSs nesta região varia de acordo com a aridez do local, sendo mais abundantes e com predominância de líquens e musgos em ambientes áridos e hiper áridos e menos abundantes e dominadas por cianobactérias em ambientes semiáridos (VIDELA, TABOADA & ARANIBAR, 2018; ROMERO *et al.*, 2019b).

## 4.9. Crostas do Brasil

Embora o Brasil apresente uma grande variedade de biomas, apenas três deles são considerados mais propícios para a ocorrência de crostas biológicas e, por esta razão, os estudos se concentram neles.

O primeiro deles é a Caatinga, que se localiza na região nordeste do Brasil, caracterizada por um clima semiárido, configurando o ambiente mais seco do país. Tal bioma apresenta vegetação xerófila, decídua e espinhosa, com predomínio de cactos e bromélias (BASTOS, ALBERTOS & BOAS, 1998) e a maioria dos estudos realizados nas crostas biológicas deste ecossistema tem como foco as assembleias de cianobactérias (SANT'ANNA & AZEVEDO, 1995; MENEZES, 2018; SZYJA *et al.*, 2019; MACHADO-DE-LIMA *et al.*, 2021). Outros estudos, porém, também identificaram outros filos de procariotos, como Proteobacteria, Planctomycetes e Bacteroidetes (MOREIRA, 2021), algas verdes (MENEZES, 2018 e SZYJA *et al.*, 2019), briófitas (BASTOS, ALBERTOS & BOAS, 1998; MENEZES, 2018; SZYJA *et al.*, 2019; SILVA, MACIEL-SILVA & SANTOS, 2020) e líquens (MENEZES, 2018; SZYJA *et al.*, 2019) ocorrendo nestas comunidades.

Outro bioma propício para a colonização das CBSs é o Cerrado, formação savânica localizada no centro do país e caracterizada por apresentar duas floras distintas em um clima predominantemente semiárido, com vegetação lenhosa de pequeno porte com raízes profundas ocorrendo em muitas áreas (COUTINHO, 1978; TRALLI, 2015). Os estudos com a microflora da crostas biológicas deste ambiente se concentram nas assembleias de cianobactérias (MACHADO-DE-LIMA, 2016; MACHADO-DE-LIMA *et al.*, 2019) e de algas verdes (TRALLI, 2015).

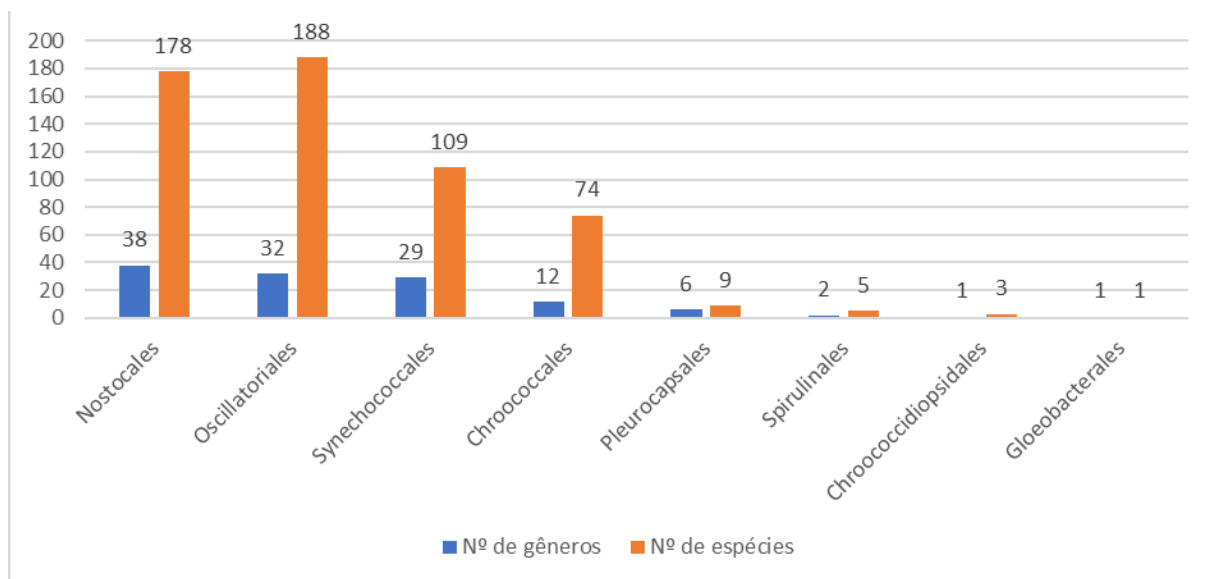
Por fim, os Pampas se localizam na região sul do Brasil e apresentam um gradiente climático que vai de uma região subtropical mais ao norte até uma região temperada mais ao sul, com vegetação majoritariamente rasteira e arbustiva e a ocorrência de areais em algumas áreas, principalmente em pontos mais degradados do bioma (BERRETA, 2001; ROESCH *et al.*, 2009). Os estudos dedicados ao levantamento da microflora das CBSs deste ecossistema têm como enfoque principal as cianobactérias (WEBBER, 2016; MACHADO-DE-LIMA *et al.*, 2021), embora também identifiquem algumas espécies de líquens e briófitas (WEBBER, 2016).

## 5. ASSEMBLEIAS DE CIANOBACTÉRIAS DE CBS NOS CONTINENTES

Como este trabalho tem como enfoque as assembleias de cianobactérias das crostas biológicas, foi realizada uma compilação de espécies destes organismos listados em trabalhos dos últimos 21 anos (Quadro 1), presentes nas plataformas Google Acadêmico e Scielo. A fim de padronizar a nomenclatura e a classificação de cada espécie, foi utilizado o banco de dados do AlgaeBase ([www.algaebase.org/](http://www.algaebase.org/)).

Ao todo, foram levantadas 567 espécies, pertencentes a 121 gêneros e distribuídas por todas as oito ordens propostas por Komárek *et al.* (2014). Neste sentido, a ordem Nostocales apresenta maior riqueza de gêneros, seguida de Oscillatoriales, Synechococcales, Chroococcales, Pleurocapsales, Spirulinales, Chroococciopsidales e Gloeobacterales. Quanto ao número de espécies, a ordem Oscillatoriales apresenta maior riqueza, seguida de Nostocales, Synechococcales, Chroococcales, Pleurocapsales, Spirulinales, Chroococciopsidales e Gloeobacterales (Gráfico 1).

**Gráfico 1.** Riqueza de gêneros e espécies em crostas biológicas de solo por ordem de cianobactéria.



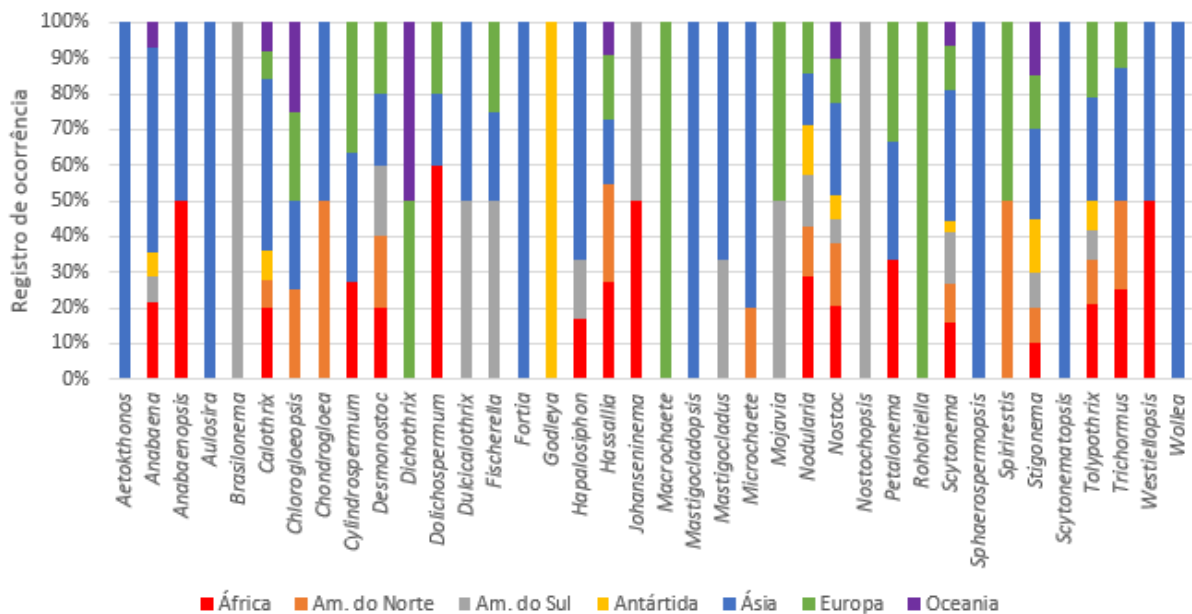
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Além de *Nostoc commune* e *Microcoleus vaginatus*, consideradas cosmopolitas por ocorrerem em todos os continentes (BÜDEL *et al.*, 2016), as espécies *Calothrix parietina*, *Nostoc punctiforme*, *Scytonema hofmanii*, *Stigonema ocellatum*, *Coleofasciculus chthonoplastes*, *Microcoleus paludosus*, *Potamolinea aerugineocaerulea*, *Trichocoleus*

*sociatus* e *Cyanothece aeruginosa* também mostraram ampla distribuição, ocorrendo em seis dos sete continentes (*C. parientina* e *C. aeruginosa* ausentes na América do Sul, *N. punctiforme* ausente na Europa, *S. hofmanii*, *C. chthonoplastes*, *M. paludosus* e *T. sociatus* ausentes na Antártida, *S. ocellatum* ausente na América do Norte e *P. aerugineocaerulea* ausente na Ásia).

Ainda em relação à distribuição geográfica das cianobactérias, os representantes de Nostocales (Gráfico 2) estão distribuídos por todos os continentes, com os gêneros *Anabaena*, *Calothrix*, *Chlorogloeopsis*, *Desmonostoc*, *Hassallia*, *Nodularia*, *Nostoc*, *Scytonema*, *Stigonema*, *Tolypothrix* e *Trichormus* ocorrendo na maioria deles. No entanto, alguns gêneros têm sua ocorrência em crostas biológicas restrita a apenas um continente, como é o caso de *Aetokthonos*, *Aulosira*, *Scytonematopsis*, *Mastigocladopsis*, *Wollea*, *Fortia* e *Sphaerospermopsis*, limitados à Ásia, *Brasilonema* e *Nostochopsis*, exclusivos da América do Sul, *Godleya*, restrito à Antártida, e *Macrochaete* e *Roholtiella*, ambos exclusivos de crostas da Europa.

**Gráfico 2.** Ocorrência de gêneros da ordem Nostocales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes.

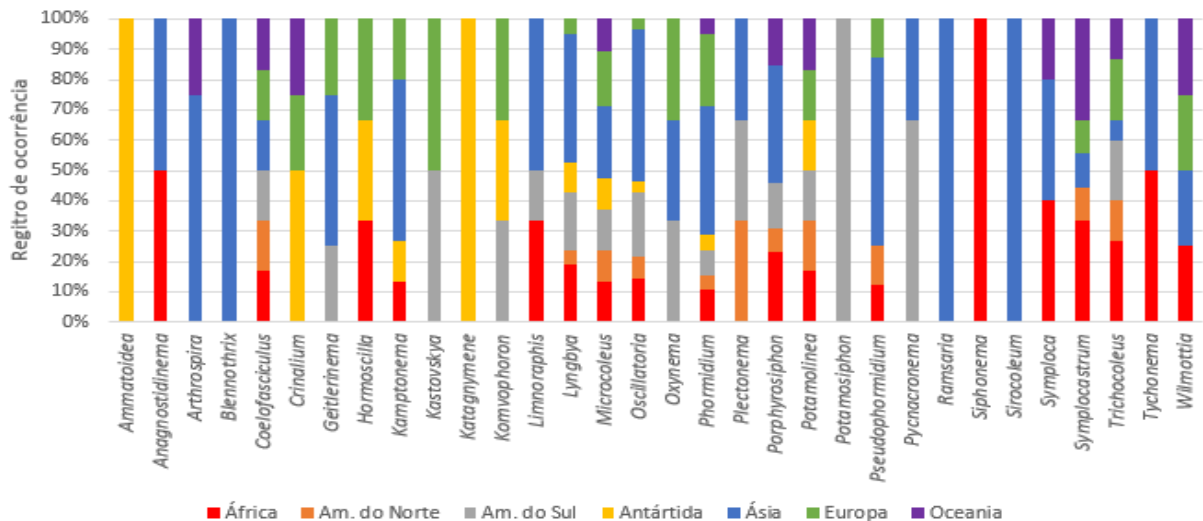


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A ordem Oscillatoriales (Gráfico 3) possui gêneros que exibem ampla ocorrência pelo planeta, tais como *Microcoleus*, *Coleofasciculus*, *Kamptonema*, *Phormidium*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Porphyrosiphon*, *Potamolinea*, *Pseudophormidium*, *Symplocastrum*, *Trichocoleus* e *Wilmottia*, estando presentes em crostas da maioria dos continentes. Em contrapartida, a ocorrência de gêneros como *Ammatoidea*, *Katagnymene*, *Blennothrix*,

*Ramsaria*, *Sirocoleum*, *Siphonema* e *Potamosiphon* se limita a apenas um continente, sendo os dois primeiros restritos à Antártida, os três seguintes, à Ásia e os dois últimos, à África e América do Sul, respectivamente.

**Gráfico 3.** Ocorrência de gêneros da ordem Oscillatoriales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes.

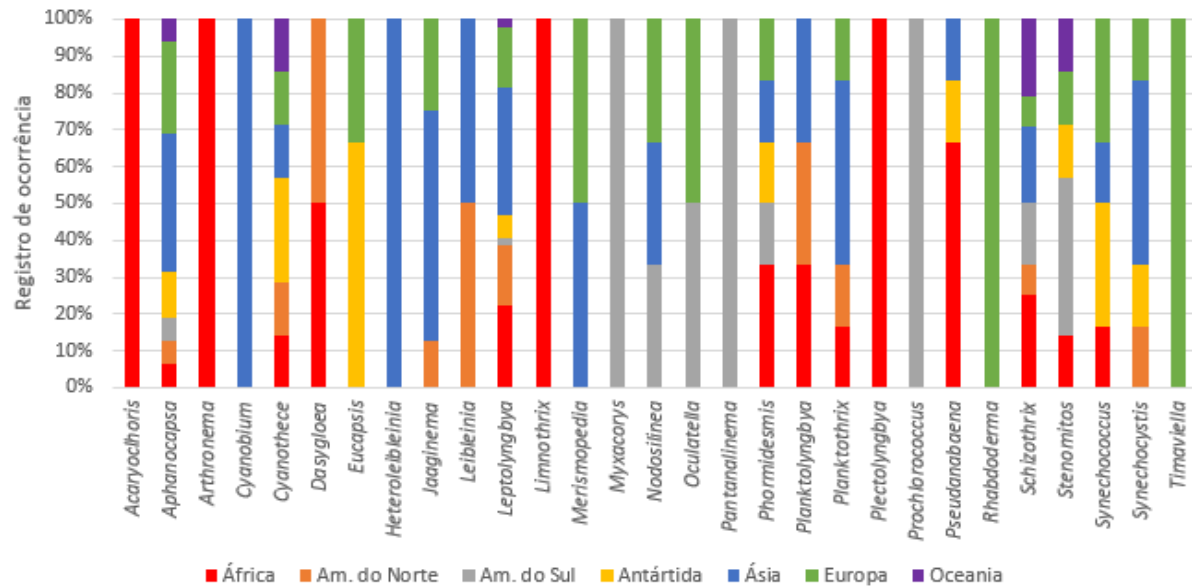


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Alguns gêneros da ordem Synechococcales, como *Aphanocapsa*, *Cyanothece*, *Leptolyngbya*, *Phormidesmis*, *Planktothrix*, *Schizothrix*, *Stenomitos*, *Synechococcus* e *Synoechocystis*, se mostraram amplamente distribuídos na maioria dos continentes, e outros restritos a apenas um continente (por exemplo *Acaryochloris*, *Arthronema*, *Limonothrix* e *Plectolyngbya*, restritos a crostas da África, *Cyanobium*, exclusivo da Ásia, *Myxacorys*, *Pantanalinema* e *Prochlorococcus*, identificados apenas em crostas da América do Sul e *Rhabdoderma* e *Timaviella*, presentes apenas em CBSs da Europa) (Gráfico 4).



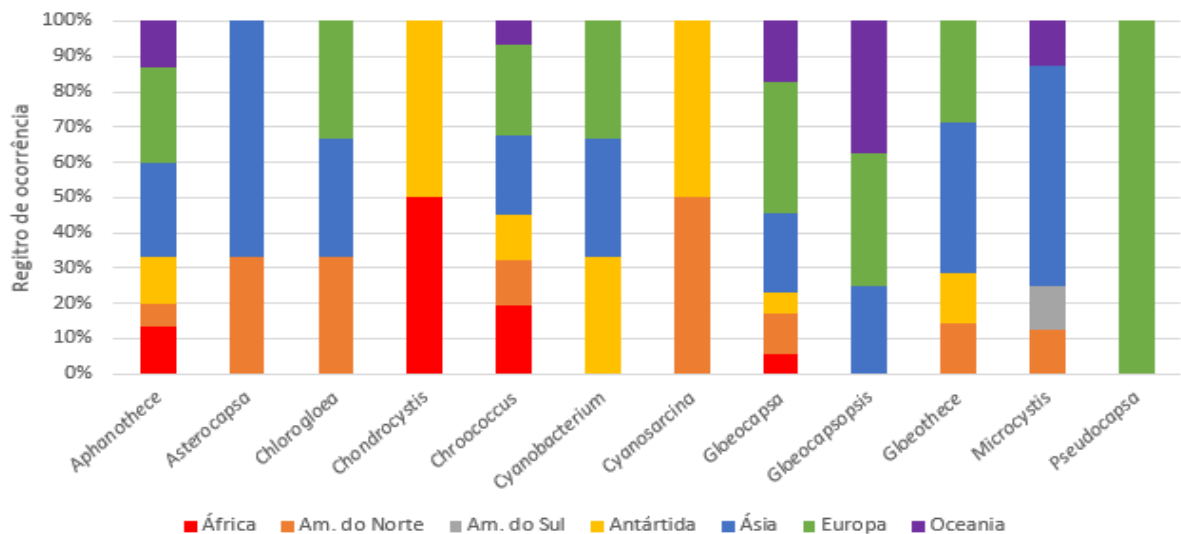
**Gráfico 4.** Ocorrência de gêneros da ordem Synechococcales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em contrapartida, a ordem Chroococcales (Gráfico 5) apresenta apenas o gênero *Pseudocapsa* com ocorrência restrita a apenas um continente (Europa). Já os gêneros *Aphanothece*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Gloeothece* e *Microcystis*, demonstram ampla distribuição, estando presentes na maioria dos continentes com o último sendo o único presente na América do Sul.

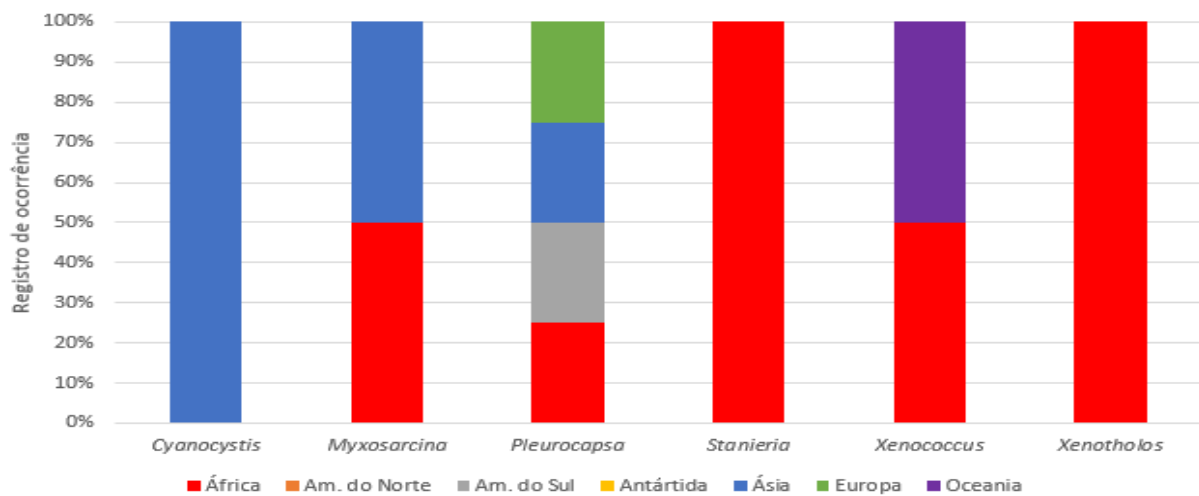
**Gráfico 5.** Ocorrência de gêneros da ordem Chroococcales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já com a ordem Pleurocapsales (Gráfico 6) ocorre o contrário: metade dos gêneros são restritos a apenas um continente, com *Cyanocystis* ocorrendo apenas na Ásia e *Stanieria* e *Xenotholos* exclusivos de CBSs africanas. Apenas *Pleurocapsa* foi identificado na maioria dos continentes, sendo também o único presente na Europa e América do Sul. Além disso, não foram encontrados representantes desta ordem em crostas da América do Norte e da Antártida e apenas *Xenococcus* se mostrou presente na Oceania.

**Gráfico 6.** Ocorrência de gêneros da ordem Pleurocapsales em crostas biológicas de solo nos diferentes continentes.



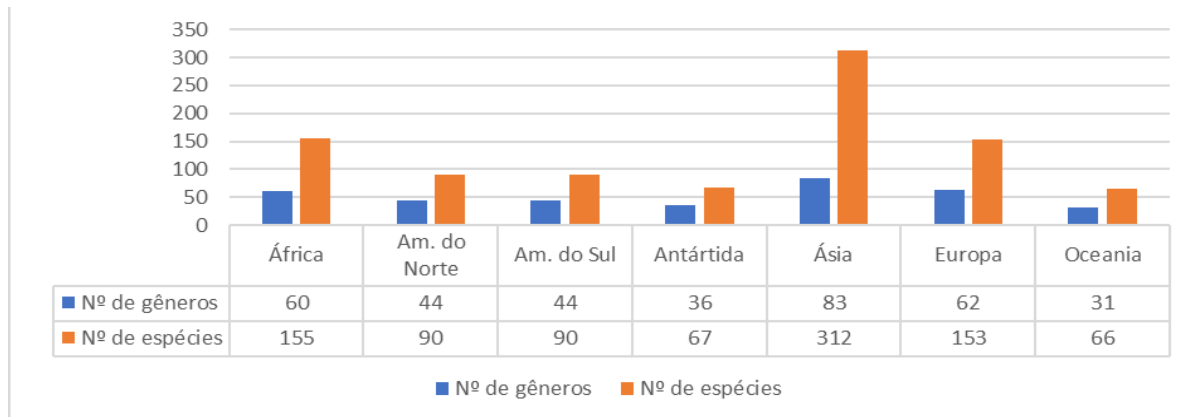
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A ordem Chroococciopsidales tem como único representante nas CBSs o gênero *Chroococciopsis*, com três espécies ocorrendo em todos os continentes, exceto na Europa.

Já a ordem Gloeobacterales possui apenas a espécie *Gloeobacter violaceus* como representante nestas comunidades, cuja ocorrência está limitada às crostas da América do Norte.

Por fim, a ordem Spirulinales conta com os gêneros *Spirulina* e *Glaucospira*, cujos representantes estão restritos às CBSs da Ásia.

Com relação à riqueza por continente, as análises mostraram que a Ásia apresentou mais registros de gêneros e espécies, seguida de África, Europa, América do Norte, América do Sul, Antártida e Oceania (Gráfico 7).

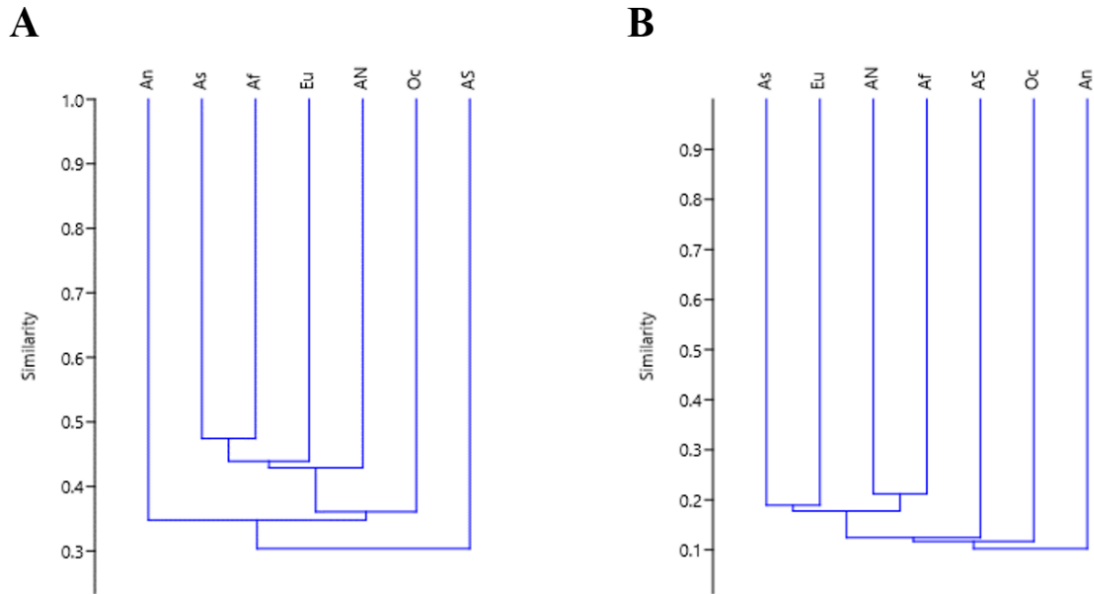
**Gráfico 7.** Riqueza de gêneros e espécies de cianobactérias de crostas biológicas de solo por continente.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Nas análises de similaridade segundo a ocorrência dos gêneros por continente (Fig. 15A), a América do Sul destacou-se pela menor similaridade com os demais continentes, com um índice de 30%. Entre os demais continentes, a Antártida, com índice de 35%, e a Oceania, com índice de 38%, apresentaram as menores similaridades em relação aos outros. Já a Europa se mostrou 45% similar à Ásia e África, que apresentaram índice de 48% de similaridade entre elas, o mais alto obtido nesta análise.

Já em relação à similaridade segundo a ocorrência das espécies (Fig. 15B), foram obtidos índices mais baixos, sendo o menor entre a Antártida e os demais continentes, com cerca de 10% de similaridade. Dentre os demais continentes, a Oceania e a América do Sul se mostraram os menos similares em relação aos outros, com índices de 12% e 13%, respectivamente. Em contrapartida, a similaridade entre Ásia e Europa, com 20%, e entre América do Norte, com aproximadamente 22%, foram as mais altas obtidas nesta análise.

**Figura 8.** Dendrogramas de similaridade de gêneros (A) e de espécies (B) entre os continentes. Af = África; An = Antártida; AN = América do Norte; As = Ásia; AS = América do Sul; Eu = Europa e Oc = Oceania.



**Fonte:** Elaborados pelo autor.

Apesar das análises feitas, os resultados obtidos neste trabalho provavelmente não refletem a real distribuição geográfica dos táxons de cianobactérias nas crostas biológicas, uma vez que o número de trabalhos realizados acerca destes organismos é desproporcional entre os continentes, assim como a complexidade da metodologia e da amostragem de cada um. Tais fatos explicam algumas inconsistências observadas nos dados levantados, como o número desproporcional de táxons entre os continentes, a baixa similaridade entre eles e a ausência de certos gêneros e espécies em alguns deles, tal qual a presença exclusiva em outros, além da ocorrência em crostas de gêneros tidos como planctônicos, como por exemplo *Spirulina*, *Glaucospira*, *Microcystis*, *Acaryochloris*, *Prochlorococcus* e *Anabaenopsis*.

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continua)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<b>NOSTOCALES</b>							
<i>Aetokthonos</i> sp. 1 Brasil <sup>(20-21)</sup>			X				
<i>Anabaena aequalis</i> Borge <sup>(5)</sup>	X						
<i>Anabaena azotica</i> Ley <sup>(44)</sup>					X		
<i>Anabaena cylindrica</i> Lemmermann <sup>(39; 41-42)</sup>					X		X
<i>Anabaena iyengarii</i> Bharadwaja <sup>(4)</sup>					X		
<i>Anabaena laxa</i> Braun <sup>(4)</sup>					X		
<i>Anabaena orientalis</i> Dixit <sup>(41)</sup>					X		
<i>Anabaena oscillarioides</i> Bory ex Born. & Flah. <sup>(22)</sup>	X						
<i>Anabaena</i> sp. Venezuela <sup>(44)</sup>			X				
<i>Anabaena</i> sp. Antártica <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Anabaena sphaerica</i> Born. & Flah. <sup>(4)</sup>					X		
<i>Anabaena torulosa</i> (Carmichael) Lagerheim ex Born. et Flah. <sup>(44)</sup>					X		
<i>Anabaena spiroides</i> (Woronichin) Elenkin <sup>(1; 4; 10; 22)</sup>	X				X		
<i>Anabaenopsis ballygungii</i> (Banerji) Kom. & Anag. = <i>Anabaena ballygungii</i> Banerji <sup>(4)</sup>					X		
<i>Anabaenopsis knipowitschii</i> (Usachev) Kom. = <i>Anabaena knipowitschii</i> Usachev <sup>(22)</sup>	X						
<i>Aulosira aenigmatica</i> Frémy <sup>(41)</sup>					X		
<i>Aulosira fertilissima</i> Ghose <sup>(38)</sup>					X		
<i>Aulosira fritschii</i> Bharadwaja <sup>(38; 41)</sup>					X		
<i>Aulosira prolifica</i> Bharadwaja <sup>(38)</sup>					X		
<i>Aulosira pseudoramosa</i> Bharadwaja <sup>(44)</sup>					X		
<i>Brasilonema</i> sp. 1 Brasil <sup>(19-20)</sup>			X				
<i>Brasilonema</i> sp. 2 Brasil <sup>(19; 21)</sup>			X				
<i>Calothrix bharadwajae</i> DeToni <sup>(16-17; 38; 44)</sup>					X		
<i>Calothrix braunii</i> Born. et Flah. <sup>(6-7; 44)</sup>	X			X			X
<i>Calothrix brevissima</i> West <sup>(38; 44)</sup>					X		
<i>Calothrix castellii</i> (Messalongo) Born. et Flah. <sup>(31; 38; 44)</sup>		X			X		
<i>Calothrix clavatoides</i> Ghose <sup>(38; 44)</sup>					X		
<i>Calothrix contarenii</i> Born. & Flah. <sup>(4)</sup>					X		
<i>Calothrix elenkinii</i> Kossinskaja <sup>(6; 17; 22; 34; 36; 41)</sup>	X				X	X	
<i>Calothrix fusca</i> Born. et Flah. <sup>(4; 44)</sup>					X		
<i>Calothrix javanica</i> De-Wildeman <sup>(44)</sup>					X		
<i>Calothrix marchica</i> Lemmermann <sup>(4; 17; 22; 38; 44)</sup>	X				X		
<i>Calothrix parietina</i> Thuret ex Born. et Flah. <sup>(4-5; 7; 26; 31; 38; 44)</sup>	X	X		X	X	X	X
<i>Calothrix scopulorum</i> Ag. ex Born. & Flah. <sup>(5)</sup>	X						
<i>Calothrix scytonemicola</i> Tilden <sup>(16-17; 38; 44)</sup>					X		
<i>Calothrix viguieri</i> Frémy <sup>(4)</sup>					X		
<i>Chlorogloeopsis fritschii</i> (Mitra) Mitra & Pandey <sup>(12; 39)</sup>		X				X	X
<i>Chondrogloea flagelliformis</i> (Schmidle) Schmidle = <i>Hapalosiphon flagelliforme</i> (Schmidle) Forti <sup>(38; 41)</sup>		X			X		
<i>Cylindrospermum alatosporum</i> Fritsch <sup>(2; 22)</sup>	X					X	

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Cylindrospermum indicum</i> Rao <sup>(38; 44)</sup>					X		
<i>Cylindrospermum licheniforme</i> Kütz. ex Born. & Flah. <sup>(2; 36)</sup>	X					X	
<i>Cylindrospermum majus</i> Kütz. ex Born. & Flah. <sup>(16-17)</sup>					X		
<i>Cylindrospermum michailovskoense</i> Elenkin <sup>(2; 4)</sup>					X	X	
<i>Cylindrospermum muscicola</i> Kütz. ex Born. et Flah. <sup>(44)</sup>						X	
<i>Cylindrospermum stagnale</i> Born. & Flah. <sup>(4)</sup>					X		
<i>Cylindrospermum gregarium</i> (Zakrzewski) Elenkin <sup>(36)</sup>	X						
<i>Desmonostoc muscorum</i> (Ag. ex Born. & Flah.) Hrouzek & Ventura <sup>(17; 19; 26)</sup> = <i>Nostoc muscorum</i> Ag. ex Born. et Flah. <sup>(1; 4-5; 10; 16; 31; 38; 44)</sup>	X	X	X		X	X	
<i>Dichothrix gypsophila</i> (Kütz.) Born. et Flah. <sup>(44)</sup>						X	X
<i>Dolichospermum affine</i> (Lemmermann) Wacklin <i>et al.</i> = <i>Anabaena affinis</i> Lemmermann <sup>(2)</sup>						X	
<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenh. ex Born. & Flah.) Wacklin <i>et al.</i> = <i>Anabaena circinalis</i> Rabenh. ex Born. & Flah. <sup>(1; 5)</sup>	X				X		
<i>Dolichospermum macrosporum</i> (Klebhan) Wacklin <i>et al.</i> = <i>Anabaena macrospora</i> Klebahn <sup>(22)</sup>	X						
<i>Dolichospermum solitarium</i> (Klebahn) Wacklin <i>et al.</i> = <i>Anabaena solitaria</i> Klebahn <sup>(5)</sup>	X						
<i>Dulcicalothrix desertica</i> (Schwabe) Saraf <i>et al.</i> = <i>Calothrix desertica</i> Schwabe (Schwabe) Saraf <i>et al.</i> <sup>(42-44)</sup>			X		X		
<i>Fischerella ambigua</i> (Nägeli) Gom. <sup>(44)</sup>					X		
<i>Fischerella muscicola</i> Gom. <sup>(17; 26; 38)</sup>					X	X	
<i>Fortiea caucasica</i> (Elenkin) De Toni <sup>(16)</sup>					X		
<i>Godleya alpina</i> Novis & Visnovsky <sup>(29)</sup>				X			
<i>Hapalosiphon baronii</i> West & West <sup>(42)</sup>					X		
<i>Hapalosiphon delicatulus</i> West & West <sup>(38; 41; 44)</sup>					X		
<i>Hapalosiphon intricatus</i> West & West <sup>(38)</sup>					X		
<i>Hapalosiphon luteolus</i> West & West <sup>(19)</sup>			X				
<i>Hapalosiphon welwitschii</i> West <sup>(25; 38; 41; 44)</sup>					X		
<i>Hassallia bouteillei</i> Born. et Flah. <sup>(440)</sup> = <i>Tolypothrix bouteillei</i> (Born. & Flah.) Lemmermann <sup>(2; 6; 11; 16-17; 31; 38; 41)</sup>	X	X			X	X	
<i>Hassallia brevis</i> Gardner <sup>(44)</sup>	X						
<i>Hassallia byssoidea</i> Hassall ex Born. et Flah. <sup>(2; 44)</sup>	X				X	X	X
<i>Hassallia californica</i> Johansen & Flechtner <sup>(12)</sup>		X					
<i>Hassallia pseudoramosissima</i> Johansen & Flechtner <sup>(12)</sup>		X					
<i>Heteroscytonema crispum</i> (Born. ex De Toni) McGregor & Sendall = <i>Scytonema crispum</i> (Ag.) Born. <sup>(40; 44)</sup>	X		X				
<i>Hydrocoryne</i> sp. 1 Europa <sup>(34)</sup>						X	
<i>Johanseninema constrictum</i> (Szafer) Hasler <i>et al.</i> = <i>Anabaena constricta</i> (Szafer) Geitler <sup>(4)</sup>					X		

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Macrochaete lichenoides</i> Berrendero <i>et al.</i> <sup>(37)</sup>			X				
<i>Mastigocladopsis</i> sp. 1 China <sup>(43)</sup>					X		
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn ex Kirchner <sup>(4)</sup>					X		
<i>Mastigocladus</i> sp. 1 Brasil <sup>(20-21)</sup>			X				
<i>Mastigocoleus testarum</i> Lagerheim ex Born. & Flah. <sup>(42)</sup>					X		
<i>Microchaete calothrichoides</i> Hansgirg <sup>(4; 41)</sup>					X		
<i>Microchaete grisea</i> Thuret ex Born. & Flah. <sup>(4)</sup>					X		
<i>Microchaete tenera</i> Thuret ex Born. et Flah. <sup>(15; 41; 44)</sup>					X		
<i>Microchaete terrestris</i> Johansen & Flechtner <sup>(12)</sup>		X					
<i>Microchaete uberrima</i> Carter <sup>(41)</sup>					X		
<i>Mojavia pulchra</i> Reháková & Johansen <sup>(3; 9)</sup>			X			X	
<i>Nodularia harveyana</i> Thuret ex Born. et Flah. <sup>(7; 36; 44)</sup>	X			X			
<i>Nodularia</i> sp. Venezuela <sup>(44)</sup>			X				
<i>Nodularia spumigena</i> Mertens ex Born. et Flah. <sup>(5; 13; 44; 46-47)</sup>	X	X			X	X	
<i>Nostoc borneti</i> Gain <sup>(12)</sup>		X					
<i>Nostoc caeruleum</i> Lyng. ex Born. et Flah. <sup>(38)</sup>					X		
<i>Nostoc carneum</i> Ag. ex Born. & Flah. <sup>(38; 44)</sup> = <i>Nostoc spongiiforme</i> Ag. ex Born. & Flah. <sup>(28)</sup>					X	X	
<i>Nostoc calcicola</i> Brébisson ex Born. et Flah. <sup>(4-6; 9; 11; 18; 32; 38; 41)</sup>	X				X	X	
<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Born. et Flah. <sup>(1-7; 12; 18-19; 22; 26-27; 31-35; 42; 44-47)</sup>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Nostoc desertorum</i> Reháková & Johansen <sup>(12; 35)</sup>		X			X		
<i>Nostoc edaphicum</i> Kondrateva <sup>(3; 18; 24-25; 33-34; 37; 44)</sup>			X			X	X
<i>Nostoc ellipsoideum</i> Gardner <sup>(37)</sup>			X				
<i>Nostoc ellipsoisporum</i> Rabenh. ex Born. et Flah. <sup>(38)</sup>					X		
<i>Nostoc flagelliforme</i> Berkeley et Curtis ex Born. et Flah. <sup>(44)</sup> = <i>Nematonostoc flagelliforme</i> (Born. & Flah.) Elenkin <sup>(22)</sup>	X	X			X		
<i>Nostoc gelatinosum</i> Schousboe ex Born. et Flah. <sup>(44)</sup>							X
<i>Nostoc indistinguendum</i> Reháková & Johansen <sup>(29; 35; 43)</sup>				X	X		
<i>Nostoc linckia</i> Born. ex Born. & Flah. <sup>(1-2; 4-5; 10; 17; 24; 31; 34; 38; 44)</sup> = <i>Nostoc piscinale</i> Kütz. ex Born. & Flah. <sup>(31; 38)</sup> = <i>Stratonostoc linckia</i> (Born. ex Born. & Flah.) Elenkin <sup>(22-36)</sup>	X	X			X	X	
<i>Nostoc microscopicum</i> Carmichael ex Born. et Flah. <sup>(2; 4; 8; 16-18; 22; 31; 38; 44)</sup>	X	X			X	X	X
<i>Nostoc minutissimum</i> Kütz. ex Born. et Flah. <sup>(44)</sup>	X						X
<i>Nostoc oryzae</i> (Fritsch) Kom. & Anag. = <i>Anabaena oryzae</i> Fritsch <sup>(4)</sup>					X		
<i>Nostoc paludosum</i> Kütz. ex Born. et Flah. <sup>(4; 12; 31; 44)</sup> = <i>Amorphonostoc paludosum</i> (Kütz. ex Born. & Flah.) Elenkin <sup>(22)</sup>	X	X					
<i>Nostoc pruniforme</i> Ag. ex Born. & Flah. <sup>(31)</sup>		X					
<i>Nostoc punctiforme</i> (Kütz. ex Hariot) Hariot <sup>(2-7; 11-12; 16-17; 22; 25-28; 33; 38; 41-42)</sup>	X	X	X	X	X	X	
<i>Nostoc</i> sp. 1 <sup>(7; 11; 44)</sup>	X			X			
<i>Nostoc</i> sp. 1 África <sup>(44)</sup>	X						

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Nostoc</i> sp. 1 Austrália <sup>(39, 44)</sup>							X
<i>Nostoc sphaericum</i> Vaucher ex Born. et Flah. <sup>(5; 12; 38; 44)</sup>	X	X			X		
<i>Nostoc verrucosum</i> Vaucher ex Born. & Flah. <sup>(5)</sup>	X						
<i>Nostoc endophytum</i> Born. & Flah. <sup>(41)</sup>					X		
<i>Nostochopsis</i> sp. 1 Brasil <sup>(20-21)</sup>			X				
<i>Petalonema crustaceum</i> Ag. ex Kirchner <sup>(44)</sup>						X	
<i>Petalonema densum</i> (A. Braun) ex Migula <sup>(44)</sup>	X						
<i>Petalonema velutinum</i> (Rabenh.) Migula <sup>(44)</sup>					X		
<i>Roholtiella edaphica</i> Bohunická & Lukesová <sup>(9)</sup>						X	
<i>Scytonema arcangelii</i> Born. & Flah. <sup>(1; 5; 9; 42)</sup>	X				X	X	
<i>Scytonema bewsii</i> Fritsch & Rich <sup>(16)</sup>					X		
<i>Scytonema bohneri</i> Schmidle <sup>(4; 19; 41)</sup>			X				
<i>Scytonema burmanicum</i> Skuja <sup>(4; 41)</sup>					X		
<i>Scytonema chiasmum</i> Geitler <sup>(38; 44)</sup>					X		
<i>Scytonema coactile</i> Montagne ex Born. & Flah. <sup>(4; 41)</sup>					X		
<i>Scytonema dilatatum</i> Bharadwaja <sup>(41)</sup>					X		
<i>Scytonema drilosiphon</i> (Kütz.) Elenkin et Poljanskij <sup>(22; 44)</sup>	X				X	X	
<i>Scytonema geitleri</i> Bharadwaja <sup>(41)</sup>					X		
<i>Scytonema guyanense</i> (Montagne) Born. et Flah. <sup>(20, 44)</sup>	X		X				
<i>Scytonema hofmanii</i> Ag. ex Born. & Flah. <sup>(4-6; 11; 19; 26-27; 31; 39; 41; 44)</sup> = <i>Scytonema hofmanbangii</i> Ag. ex Born. et Flah. <sup>(44-45)</sup>	X	X	X		X	X	X
<i>Scytonema hyalinum</i> Gardner <sup>(10-11; 23; 32; 37; 44)</sup>	X	X	X		X	X	
<i>Scytonema iyengarrii</i> Bharadwaja <sup>(41)</sup>					X		
<i>Scytonema javanicum</i> (Kütz.) Born. et Thuret ex Born. et Flah. <sup>(4; 20; 31; 41-42; 44)</sup>	X	X	X		X		
<i>Scytonema julianum</i> Meneghini ex Whitton <sup>(42)</sup>					X		
<i>Scytonema malaviyanense</i> Bharadwaja <sup>(41)</sup>					X		
<i>Scytonema millei</i> Born. ex Born. et Flah. <sup>(6; 11; 41-42; 44)</sup>	X				X		X
<i>Scytonema mirabile</i> (Dillwyn) Born. <sup>(10; 16; 44)</sup>					X	X	
<i>Scytonema myochrous</i> (Dillwyn) Ag. ex Born. et Flah. <sup>(7; 31; 44)</sup>	X	X	X	X		X	
<i>Scytonema obscurum</i> Hansgirg ex Hirn <sup>(12)</sup>		X					
<i>Scytonema ocellatum</i> (Dillwyn) Lyng. ex Born. et Flah. <sup>(2; 6; 8; 11-12; 16-17; 36; 38; 41; 44; 46-47)</sup>	X	X			X	X	X
<i>Scytonema papillicapitatum</i> Sant'Anna & Kom. <sup>(10)</sup>					X		
<i>Scytonema pascheri</i> Bharadwaja <sup>(41; 44)</sup>					X		
<i>Scytonema pseudopunctatum</i> Skuja <sup>(41-42)</sup>					X		
<i>Scytonema rivulare</i> Borzì ex Born. et Flah. <sup>(38; 44)</sup>					X		
<i>Scytonema schmidtii</i> Gom. <sup>(4; 7; 10; 19; 31; 38; 41-42; 44)</sup>		X	X	X	X		
<i>Scytonema</i> sp. 1 Austrália <sup>(44)</sup>							X
<i>Scytonema</i> sp. 1 Venezuela <sup>(44)</sup>			X				
<i>Scytonema stuposum</i> (Kütz.) Born. ex Born. et Flah. <sup>(41-42; 44)</sup>	X					X	
<i>Scytonema tolypothrichoides</i> Kütz. ex Born. & Flah. <sup>(16-17; 40)</sup>			X				



**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Scytonema varium</i> Kütz. ex Born. et Flah. (38; 41; 44)					X		
<i>Sphaerospermopsis aphanizomenoides</i> (Forti) Zapomelová <i>et al.</i> = <i>Anabaena aphanizomenoides</i> Forti (4)					X		
<i>Spirirestis rafaelsensis</i> Flechtner et Johansen in Flechtner <i>et al.</i> (9; 32; 44)		X				X	
<i>Stigonema aerugineum</i> Tilden (44)					X		
<i>Stigonema hormoides</i> Born. et Flah. (8; 44)		X			X		
<i>Stigonema mamillosum</i> Ag. ex Born. & Flah. (10; 26)					X	X	
<i>Stigonema minutissimum</i> Borzi (44-45)							X
<i>Stigonema minutum</i> Hassall ex Born. et Flah. (7; 26-27; 41; 44)	X			X		X	X
<i>Stigonema ocellatum</i> Thuret ex Born. et Flah. (7; 10-11; 19-20; 26-27; 44- 45)	X		X	X	X	X	X
<i>Stigonema</i> sp. 1 (7, 44)				X			
<i>Stigonema</i> sp. 1 Venezuela (44)			X				
<i>Stigonema tomentosum</i> (Kütz.) Hieronymus (38; 44)					X		
<i>Stigonema turfaceum</i> Cooke ex Born. et Flah. (44)		X					
<i>Scytonematopsis</i> sp. 1 Índia (44)					X		
<i>Tolypothrix campylonemoides</i> Ghose (41)					X		
<i>Tolypothrix ceylonica</i> Schmidle (4)					X		
<i>Tolypothrix distorta</i> Kütz. ex Born. et Flah. (6; 11-12; 23; 32; 41-44)	X	X			X	X	
<i>Tolypothrix epilithica</i> (Ercegović) Geitler (44)						X	
<i>Tolypothrix fasciculata</i> Gom. (18; 44)						X	
<i>Tolypothrix fragilis</i> (Gardner) Geitler (16-17; 41; 44)	X	X			X		
<i>Tolypothrix nodosa</i> Bharadwaja (38; 44)					X		
<i>Tolypothrix rechingeri</i> (Wille) Geitler (16; 41; 44)	X				X		
<i>Tolypothrix robusta</i> Gardner (16; 44)			X		X		
<i>Tolypothrix</i> sp. 1 (44)				X			
<i>Tolypothrix</i> sp. 1 África do Sul (44)	X						
<i>Tolypothrix tenuis</i> Kütz. ex Born. et Flah. (5; 7; 15; 24; 26; 31; 34; 40; 44)	X	X	X	X		X	
<i>Tolypothrix byssoidea</i> Kirchner (41-42)						X	
<i>Trichormus anomalus</i> (Fritsch) Kom. & Anag. = <i>Anabaena anomala</i> Fritsch (41)					X		
<i>Trichormus doliolum</i> (Bharadwaja) Kom. & Anag. (44) = <i>Anabaena doliolum</i> Bharadwaja (31)		X					
<i>Trichormus fertilissimus</i> (Rao) Kom. & Anag. = <i>Anabaena fertilissima</i> Rao (4)					X		
<i>Trichormus hallensis</i> (Born. & Flah.) Kom. & Anag. = <i>Anabaena hallensis</i> Born. & Flah. (22)	X						
<i>Trichormus khannae</i> (Skuja) Kom. & Anag. = <i>Anabaena khannae</i> Skuja (4; 41)					X		
<i>Trichormus variabilis</i> (Kütz. ex Born. & Flah.) Kom. & Anag. (12; 44) = <i>Anabaena variabilis</i> Kütz. ex Born. & Flah. (5; 22; 31; 36; 41)	X	X			X	X	
<i>Westiellopsis prolifica</i> Janet (36; 38; 44)	X				X		
<i>Wollea saccata</i> Born. & Flah. (1; 4)					X		

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<b>OSCILLATORIALES</b>							
<i>Ammatoidea normanii</i> W. et West <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Anagnostidinema acutissimum</i> (Kufferath) Strunecký & al. = <i>Oscillatoria acutissima</i> Kufferath <sup>(5)</sup>	X						
<i>Anagnostidinema amphibium</i> (Ag. ex Gom.) Strunecký et al. = <i>Oscillatoria amphibia</i> Ag. ex Gom. <sup>(41)</sup>					X		
<i>Arthrospira jenneri</i> Stizenberger ex Gom. <sup>(1; 4)</sup>					X		
<i>Arthrospira massartii</i> Kufferath <sup>(41)</sup>					X		
<i>Arthrospira platensis</i> Gom. = <i>Spirulina platensis</i> (Gom.) Geitler <sup>(1)</sup>					X		
<i>Arthrospira</i> sp. 1 Austrália <sup>(39)</sup>							X
<i>Blennothrix lyngbyacea</i> (Kütz. ex Gom.) Anag. & Kom. = <i>Hydrocoleum lyngbyaceum</i> Kütz. ex Gom. <sup>(41)</sup>					X		
<i>Borzia trilocularis</i> Cohn ex Gom. <sup>(2; 7-8; 44)</sup>		X		X		X	
<i>Coleofasciculus chthonoplastes</i> (Thuret ex Gom.) Siegesmund et al. <sup>(39; 44)</sup> = <i>Microcoleus chthonoplastes</i> Thuret ex Gom. <sup>(4; 6; 10-11; 31)</sup>	X	X	X		X	X	X
<i>Crinalium</i> cf. <i>magnum</i> Fritsch et John <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Crinalium epipsammum</i> de Winder <sup>(44)</sup>						X	X
<i>Crinalium</i> sp. 1 <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Geitlerinema calcuttense</i> (Biswas) Anag. = <i>Oscillatoria calcuttensis</i> Biswas <sup>(41)</sup>					X		
<i>Geitlerinema</i> sp. 1 Europa <sup>(15; 30)</sup>						X	
<i>Geitlerinema splendidum</i> (Greville ex Gom.) Anag. <sup>(10; 44)</sup> = <i>Oscillatoria splendida</i> Greville ex Gom. <sup>(35)</sup>			X		X		
<i>Hormoscilla pringsheimii</i> Anag. & Kom. <sup>(6; 11; 24; 29)</sup>	X			X		X	
<i>Kamptonema animale</i> (Ag. ex Gom.) Strunecký et al. <sup>(14)</sup> = <i>Oscillatoria animalis</i> Ag. ex Gom. <sup>(42)</sup> = <i>Phormidium animale</i> (Ag. ex Gom.) Anag. et Kom. <sup>(2; 7; 16; 44)</sup>				X	X	X	
<i>Kamptonema chlorinum</i> (Kütz. ex Gom.) Strunecký et al. = <i>Oscillatoria chlorina</i> Kütz. ex Gom. <sup>(4; 7; 38; 41; 46-47)</sup> = <i>Phormidium chlorinum</i> (Kütz. ex Gom.) Anag. <sup>(6; 11; 14; 16; 44; 46)</sup>	X			X	X		
<i>Kamptonema cortianum</i> (Meneghini ex Gom.) Strunecký et al. = <i>Oscillatoria cortiana</i> Meneghini ex Gom. <sup>(46-47)</sup>					X		
<i>Kamptonema formosum</i> (Bory ex Gom.) Strunecký et al. = <i>Oscillatoria formosa</i> Bory ex Gom. <sup>(1; 5; 41; 46-47)</sup> = <i>Phormidium formosum</i> (Bory ex Gom.) Anag. et Kom. <sup>(14; 44)</sup>	X				X		
<i>Kamptonema jatorvense</i> (Vouk) Strunecký et al. = <i>Oscillatoria jatorvensis</i> Vouk <sup>(4; 41)</sup>					X		
<i>Kamptonema laetevirens</i> (Crouan & Crouan ex Gom.) Strunecký et al. = <i>Phormidium laetevirens</i> (Crouan ex Gom.) Anag. et Kom. <sup>(44)</sup>						X	
<i>Kamptonema okenii</i> (Ag. ex Gom.) Strunecký et al. = <i>Phormidium okenii</i> (Ag. ex Gom.) Anag. & Kom. <sup>(41; 46-47)</sup>					X		
<i>Kamptonema pavlovskoense</i> (Elenkin) Anag. & Kom. = <i>Phormidium pavlovskoense</i> Elenkin <sup>(2)</sup>						X	
<i>Kamptonema proteus</i> (Skuja) Strunecký et al. = <i>Oscillatoria proteus</i> Skuja <sup>(42)</sup>					X		

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Kastovskya adunca</i> (Schwabe) Múhlsteinová <i>et al.</i> <sup>(2-3; 9)</sup> = <i>Schizothrix adunca</i> Schwabe <sup>(44)</sup>			X			X	
<i>Katagnymene accurata</i> Geitler <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Katagnymene</i> sp. 1 <sup>(44)</sup>				X			
<i>Komvophoron schmidlei</i> (Jaag) Anag. et Kom. <sup>(7; 21; 44)</sup>			X	X			
<i>Komvophoron</i> sp. 1 Europa <sup>(15; 30)</sup>						X	
<i>Limnoraphis birgei</i> (G. M. Smith) Kom. <i>et al.</i> = <i>Lyngbya birgei</i> Smith <sup>(5; 40; 41)</sup>	X		X		X		
<i>Limnoraphis cryptovaginata</i> (Schkorbatov) Kom. <i>et al.</i> = <i>Planktothrix cryptovaginata</i> (Škorbatov) Anag. et Kom. <sup>(44; 46-47)</sup>					X		
<i>Limnoraphis hieronymusii</i> (Lemmermann) Kom. <i>et al.</i> = <i>Lyngbya hieronymusii</i> Lemmermann <sup>(4-5; 41)</sup>	X				X		
<i>Lyngbya aestuarii</i> Liebman ex Gom. <sup>(10; 14; 31; 44)</sup>		X			X	X	
<i>Lyngbya arboricola</i> Brühl et Biswas <sup>(17; 38; 44)</sup>					X		
<i>Lyngbya borgertii</i> Lemmermann <sup>(1; 41)</sup>					X		
<i>Lyngbya semiplena</i> Ag. ex Gom. <sup>(6; 11)</sup>	X						
<i>Lyngbya fritschii</i> Anag. <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Lyngbya lutea</i> Gom. ex Gom. <sup>(22; 41)</sup> = <i>Oscillatoria lutea</i> Ag. <sup>(5)</sup>	X				X		
<i>Lyngbya major</i> Meneghini ex Gom. <sup>(5; 38)</sup>	X				X		
<i>Lyngbya majuscula</i> Harvey ex Gom. <sup>(44; 46-47)</sup>			X		X		
<i>Lyngbya martensiana</i> Meneghini ex Gom. <sup>(41; 44)</sup> = <i>Porphyrosiphon martensianus</i> (Meneghini ex Gom.) Anag. & Kom. <sup>(46)</sup>	X		X		X		
<i>Lyngbya palmarum</i> (Martens) Brühl et Biswas <sup>(38; 41-44)</sup>					X		
<i>Lyngbya</i> sp. 1 <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Lyngbya</i> sp. 1 Venezuela <sup>(44)</sup>			X				
<i>Lyngbya spiralis</i> Geitler <sup>(41)</sup>					X		
<i>Microcoleus amoenus</i> (Gom.) Strunecky <i>et al.</i> = <i>Oscillatoria amoena</i> Gom. <sup>(41; 46)</sup> = <i>Phormidium amoenum</i> Kütz. ex Anag. et Kom. <sup>(2; 44)</sup>					X	X	
<i>Microcoleus antarcticus</i> Casamatta & Johansen <sup>(29)</sup>				X			
<i>Microcoleus attenuatus</i> (Fritsch) Strunecky <i>et al.</i> = <i>Phormidium attenuatum</i> (Fritsch) Anag. et Kom. <sup>(7; 44; 46-47)</sup>				X	X		
<i>Microcoleus autumnalis</i> (Gom.) Strunecky <i>et al.</i> = <i>Phormidium autumnale</i> (Ag.) Trevisan ex Gom. <sup>(2; 4; 7; 15; 18; 27; 29; 42; 44)</sup>				X	X	X	
<i>Microcoleus</i> cf. <i>amplus</i> Gardner <sup>(44)</sup>			X				
<i>Microcoleus crustaceus</i> (Voronichin) Strunecky <i>et al.</i> = <i>Phormidium crustaceum</i> Woronichin <sup>(2)</sup>						X	
<i>Microcoleus favosus</i> (Gom.) Strunecky <i>et al.</i> = <i>Phormidium favosum</i> Gom. <sup>(35)</sup>					X		
<i>Microcoleus lacustris</i> (Rabenh.) Farlow ex Gom. <sup>(14; 38; 41; 44-45)</sup>					X	X	X
<i>Microcoleus paludosus</i> Gom. ex Gom. <sup>(2; 6; 9; 11; 18; 23; 31; 37; 41; 44-46)</sup>	X	X	X		X	X	X
<i>Microcoleus setchellianus</i> (Gom.) Strunecky <i>et al.</i> = <i>Phormidium setchellianum</i> Gom. <sup>(44)</sup>			X				

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Microcoleus</i> sp. 1 <sup>(44)</sup>	X						
<i>Microcoleus</i> sp. 1 Austrália <sup>(44-45)</sup>							X
<i>Microcoleus steenstrupii</i> (Boye-Petersen) Geitler <sup>(9; 11; 14; 19-20; 23; 32; 43-44)</sup>	X	X	X		X	X	
<i>Microcoleus subtorulosus</i> Gom. ex Gom. <sup>(8; 41; 44)</sup>		X			X		
<i>Microcoleus vaginatus</i> Gom. ex Gom. <sup>(2; 3; 5-7; 9; 11; 13; 18; 19; 23; 24; 29; 31; 32-35; 37; 40; 43; 45)</sup>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Microcoleus vulgaris</i> Strunecky <i>et al.</i> = <i>Phormidium vulgare</i> (Kütz.) ex Anag. <sup>(6; 11; 44)</sup>	X						
<i>Oscillatoria anguina</i> Bory ex Gom. <sup>(47)</sup>					X		
<i>Oscillatoria annae</i> Goor <sup>(35; 41)</sup>					X		
<i>Oscillatoria jenensis</i> Schmid <sup>(2; 44)</sup>			X			X	
<i>Oscillatoria chilkinsis</i> Biswas <sup>(4)</sup>					X		
<i>Oscillatoria corakiana</i> Playfair <sup>(40)</sup>			X				
<i>Oscillatoria curviceps</i> Ag. ex Gom. <sup>(10; 14)</sup>					X		
<i>Oscillatoria laetevirens</i> Hofman-Bang ex Forti <sup>(41)</sup>					X		
<i>Oscillatoria limosa</i> Ag. ex Gom. <sup>(1; 5-6; 10-11; 42; 44)</sup>	X				X		
<i>Oscillatoria obscura</i> Brühl et Biswas <sup>(4; 41-42; 44)</sup>					X		
<i>Oscillatoria ornata</i> Kütz. ex Gom. <sup>(14; 42; 44)</sup>					X		
<i>Oscillatoria perornata</i> Skuja <sup>(42)</sup>					X		
<i>Oscillatoria proboscidea</i> Gom. ex Gom. <sup>(44)</sup>			X				
<i>Oscillatoria sancta</i> Kütz. ex Gom. <sup>(42; 46-47)</sup>					X		
<i>Oscillatoria simplicissima</i> Gom. <sup>(7; 41; 44)</sup> = <i>Phormidium simplicissimum</i> (Gom.) Anag. & Kom. <sup>(40)</sup>			X	X	X		
<i>Oscillatoria</i> sp. 1 <sup>(44)</sup>	X						
<i>Oscillatoria</i> sp. 1 Estados Unidos <sup>(13, 44)</sup>		X					
<i>Oscillatoria</i> sp. 1 Venezuela <sup>(44)</sup>			X				
<i>Oscillatoria subbrevis</i> Schmidle <sup>(4; 6; 11; 16-17; 31; 35; 38-39; 41-44; 46-47)</sup>	X	X			X		
<i>Oscillatoria tenuis</i> Ag. ex Gom. <sup>(4-6; 11; 14; 33; 35; 40; 44; 46-47)</sup>	X		X		X		
<i>Oscillatoria williamsii</i> Drouet in Williams <sup>(44)</sup>					X		
<i>Oxynema acuminatum</i> (Gom.) Chatchawan <i>et al.</i> <sup>(14)</sup> = <i>Phormidium acuminatum</i> (Gom.) Anag. et Kom. <sup>(2; 44)</sup>			X		X	X	
<i>Phormidium abronema</i> Skuja <sup>(41-42)</sup>					X		
<i>Phormidium allorgei</i> (Frémy) Anag. & Kom. <sup>(40; 46)</sup> = <i>Lyngbya allorgei</i> Frémy <sup>(4; 41)</sup>			X		X		
<i>Phormidium ambiguum</i> Gom. ex Gom. <sup>(1-2; 4; 16-17; 32; 35; 38; 40; 42; 44)</sup>			X		X	X	
<i>Phormidium articulatum</i> (Gardner) Anag. & Kom. <sup>(14)</sup>					X		
<i>Phormidium arvense</i> (Rao) Anag. <sup>(14)</sup>					X		
<i>Phormidium bohneri</i> Schmidle <sup>(4; 41-42)</sup>					X		
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.) Anag. & Kom. <sup>(2; 16; 46)</sup> = <i>Oscillatoria boryana</i> Bory ex Gom. <sup>(5; 47)</sup>	X				X	X	
<i>Phormidium breve</i> (Kütz. ex Gom.) Anag. & Kom. <sup>(2; 40)</sup> = <i>Oscillatoria brevis</i> Kütz. ex Gom. <sup>(5)</sup>			X			X	
<i>Phormidium bulgaricum</i> (Kom.) Anag. & Kom. <sup>(16; 46)</sup>					X		

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Phormidium carbonicophilum</i> (Prát) Anag. & Kom. = <i>Oscillatoria carboniciphila</i> Prát <sup>(47)</sup>					X		
<i>Phormidium caerulescens</i> (Gicklhorn) Anag. <sup>(6; 11; 44)</sup>	X						
<i>Phormidium nigrum</i> (Vaucher ex Gom.) Anag. et Kom. <sup>(6; 11; 14; 44)</sup> = <i>Oscillatoria nigra</i> Vaucher ex Gom. <sup>(1; 41)</sup>	X				X		
<i>Phormidium chalybeum</i> (Mertens ex Gom.) Anag. & Kom. <sup>(2; 35)</sup> = <i>Oscillatoria chalybea</i> Mertens ex Gom. <sup>(41)</sup>					X	X	
<i>Phormidium corium</i> Gom. <sup>(7; 34; 44)</sup>				X	X	X	
<i>Phormidium crouanii</i> Gom. <sup>(44)</sup>			X				
<i>Phormidium diguetii</i> (Gom.) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya diguetii</i> Gom. <sup>(4)</sup>					X		
<i>Phormidium dimorphum</i> Lemmermann <sup>(2)</sup>						X	
<i>Phormidium foreauii</i> (Frémy) Umezaki & Watanabe = <i>Oscillatoria foreauii</i> Frémy <sup>(41)</sup>					X		
<i>Phormidium granulatum</i> (Gardner) Anag. = <i>Tychonema granulatum</i> (Gardner) Anag. & Kom. <sup>(2; 46-47)</sup>					X	X	
<i>Phormidium hamelii</i> (Frémy) Anag. & Kom. = <i>Oscillatoria hamelii</i> Frémy <sup>(31; 44)</sup>	X	X					
<i>Phormidium hansgirgii</i> Schmidle <sup>(41)</sup>					X		
<i>Phormidium henningsii</i> Lemmermann = <i>Leptolyngbya henningsii</i> (Lemmermann) Anag. <sup>(3; 19; 24-25; 33-34)</sup>			X		X	X	
<i>Phormidium incrustatum</i> Gom. ex Gom. <sup>(16; 46)</sup>					X		
<i>Phormidium interruptum</i> Kütz. ex Forti <sup>(2)</sup>						X	
<i>Phormidium inundatum</i> Kütz. ex Gom. <sup>(2; 4-5; 8)</sup>	X	X			X	X	
<i>Phormidium irriguum</i> (Kütz. ex Gom.) Anag. & Kom. <sup>(17; 44; 46-47)</sup> = <i>Oscillatoria irrigua</i> Kütz. ex Gom. <sup>(4; 7; 35; 41)</sup>			X	X	X		
<i>Phormidium jadinianum</i> Gom. <sup>(2; 4; 41)</sup>					X	X	
<i>Phormidium jenkelianum</i> Schmid <sup>(41)</sup>					X		
<i>Phormidium kuetzingianum</i> (Kirchner ex Hansgirg) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya kuetzingiana</i> Kirchner ex Hansgirg <sup>(41)</sup>					X		
<i>Phormidium lividum</i> (Hansgirg) Forti <sup>(2)</sup>						X	
<i>Phormidium martinii</i> (Frémy) Anag. & Kom. = <i>Oscillatoria martinii</i> Frémy <sup>(46-47)</sup>					X		
<i>Phormidium minnesotense</i> (Tilden) Drouet <sup>(5; 31; 44)</sup>	X	X					
<i>Phormidium paulsenianum</i> Boye-Petersen <sup>(44)</sup>						X	
<i>Phormidium pseudopriestleyi</i> Anag. et Kom. <sup>(7; 29; 44)</sup>				X			
<i>Phormidium retzii</i> (Ag.) Gom. ex Gom. <sup>(2; 4-5; 10; 44; 46-47)</sup>	X		X		X	X	
<i>Phormidium rubidum</i> (Frémy) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya rubida</i> Frémy <sup>(4)</sup>					X		
<i>Phormidium rubriterricola</i> Gardner <sup>(42)</sup>					X		
<i>Phormidium schroeteri</i> (Hansgirg) Anag. <sup>(2)</sup>						X	
<i>Phormidium schultzi</i> (Lemmermann) Anag. & Kom. = <i>Oscillatoria schultzi</i> Lemmermann <sup>(2; 38)</sup>					X	X	
<i>Phormidium</i> sp. 1 <sup>(11; 44; 45)</sup>	X						X
<i>Phormidium</i> sp. 1 Austrália <sup>(44; 45)</sup>							X
<i>Phormidium</i> sp. 2 Austrália <sup>(44; 45)</sup>							X

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Phormidium</i> sp. 3 Austrália <sup>(44; 45)</sup>							X
<i>Phormidium stagninum</i> Anag. <sup>(4)</sup>					X		
<i>Phormidium subfuscum</i> Kütz. ex Gom. <sup>(2)</sup>						X	
<i>Phormidium subincrustatum</i> Fritsch & M.F.Rich <sup>(41)</sup>					X		
<i>Phormidium terebriforme</i> (Ag. ex Gom.) Anag. & Kom. <sup>(2)</sup> = <i>Oscillatoria terebriformis</i> Ag. ex Gom. <sup>(41)</sup>					X	X	
<i>Phormidium tergestinum</i> (Rabenh. ex Gom.) Anag. & Kom. <sup>(2; 16; 35; 46)</sup>					X	X	
<i>Phormidium thwaitesii</i> I.Umezaki & M.Watanabe = <i>Oscillatoria subuliformis</i> Kütz. ex Gom. <sup>(41)</sup>					X		
<i>Phormidium uncinatum</i> Gom. ex Gom. <sup>(4; 7; 35; 44)</sup>				X	X		
<i>Phormidium usteri</i> Schmidle <sup>(41-42)</sup>					X		
<i>Phormidium viscosum</i> Lemmermann <sup>(13)</sup>		X					
<i>Phormidium rotheanum</i> Itzigsohn <sup>(2; 41)</sup>					X	X	
<i>Plectonema polymorphum</i> Schwabe <sup>(44)</sup>			X				
<i>Plectonema puteale</i> (Kirchner) Hansgirg <sup>(38; 41-42; 44)</sup>					X		
<i>Plectonema</i> sp. 1 Venezuela <sup>(44)</sup>			X				
<i>Plectonema tomasinianum</i> Born. ex Gom. <sup>(12; 31; 41; 44)</sup>		X					
<i>Porphyrosiphon calciferus</i> (Brühl & Biswas) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya calcifera</i> Brühl & Biswas <sup>(41)</sup>					X		
<i>Porphyrosiphon ceylanicus</i> (Wille) Anag. & Kom. <sup>(4; 44)</sup> = <i>Lyngbya ceylanica</i> Wille <sup>(38; 41)</sup>					X		
<i>Porphyrosiphon fuscus</i> Gom. ex Frémy <sup>(16; 31; 44)</sup>		X			X		
<i>Porphyrosiphon kashyapii</i> (Ghose) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya kashyapii</i> Ghose <sup>(42)</sup>					X		
<i>Porphyrosiphon lomniczensis</i> (Kol.) Anag. et Kom. <sup>(6; 44)</sup>	X						
<i>Porphyrosiphon notarissii</i> Kütz. ex Gom. <sup>(19-21; 44-45)</sup>	X		X				X
<i>Porphyrosiphon shackletonii</i> (West & West) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya shackletonii</i> West & West <sup>(41)</sup>					X		
<i>Porphyrosiphon</i> sp. 1 Austrália <sup>(44-45)</sup>							X
<i>Porphyrosiphon</i> sp. 1 Venezuela <sup>(44)</sup>			X				
<i>Porphyrosiphon versicolor</i> (Gom.) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya versicolor</i> Gom. <sup>(5)</sup>	X						
<i>Potamolinea aerugineocaerulea</i> (Gom.) Martins & Branco <sup>(26)</sup> = <i>Lyngbya aerugineocaerulea</i> Gom. <sup>(7; 13; 44)</sup> = <i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i> (Gom.) Anag. & Kom. <sup>(6-7; 11; 19; 44)</sup>	X	X	X	X		X	X
<i>Potamosiphon</i> sp. 1 Brasil <sup>(21)</sup>			X				
<i>Pseudophormidium batrachosperma</i> (Starmach) Anag. & Kom. <sup>(25)</sup>					X		
<i>Pseudophormidium flexuosum</i> (Gardner) Anag. & Kom. <sup>(16)</sup>					X		
<i>Pseudophormidium hansgirgii</i> (Schmidle) Anag. & Kom. <sup>(44)</sup> = <i>Plectonema hansgirgii</i> Schmidle <sup>(41)</sup>					X		
<i>Pseudophormidium hollerbachianum</i> (Elenkin) Anag. <sup>(2-3; 6; 11; 16; 24; 33-34; 44)</sup>	X				X	X	
<i>Pseudophormidium radiosum</i> (Gom.) Anag. & Kom. = <i>Plectonema radiosum</i> (Schiedermayer) Gom. <sup>(4; 31; 41-44)</sup>		X			X		

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Pycnacronema arboriculum</i> Martins & Branco <sup>(43)</sup>					X		
<i>Pycnacronema</i> sp. 1 Brasil <sup>(20-21)</sup>			X				
<i>Ramsaria aviceannae</i> Heidari & Hauer <sup>(43)</sup>					X		
<i>Siphonema</i> sp. 1 Egito <sup>(22)</sup>	X						
<i>Sirocoleum</i> sp. 1 Índia <sup>(4)</sup>					X		
<i>Symploca atlantica</i> Gom. <sup>(44)</sup>					X		
<i>Symploca dubia</i> Gom. ex Gom. <sup>(44)</sup>							X
<i>Symploca laeteviridis</i> Gom. <sup>(41)</sup>					X		
<i>Symploca muralis</i> Kütz. ex Gom. <sup>(22; 41)</sup>	X				X		
<i>Symploca muscorum</i> Gom. ex Gom. <sup>(22; 41)</sup>	X				X		
<i>Symploca parietina</i> Gom. ex Gom. <sup>(44)</sup>	X						
<i>Symploca</i> sp. 1 África <sup>(44)</sup>	X						
<i>Symploca</i> sp. 1 Austrália <sup>(44)</sup>							X
<i>Symplocastrum californicum</i> (Drouet) Pietrasiak & Johansen = <i>Schizothrix californica</i> Drouet <sup>(31; 44)</sup>		X					
<i>Symplocastrum friesii</i> Ag. ex Kirchner <sup>(6; 11; 26; 44)</sup>	X				X	X	X
<i>Symplocastrum penicillatum</i> (Kütz. ex Gom.) Anag. <sup>(44)</sup>	X						X
<i>Symplocastrum purpurascens</i> (Gom. ex Gom.) Anag. <sup>(4; 44)</sup>	X						
<i>Symplocastrum</i> sp. 1 Austrália <sup>(44)</sup>							X
<i>Trichocoleus abiscoensis</i> (Skuja) Kom. & Kovacik <sup>(15)</sup>						X	
<i>Trichocoleus badius</i> (Johansen & Lowe) Mühlsteinová <i>et al.</i> <sup>(33)</sup>			X				
<i>Trichocoleus cavanillesii</i> (González Guerrero) Anag. <sup>(6; 11)</sup>	X						
<i>Trichocoleus delicatulus</i> (West et West) Anag. <sup>(6; 11-12; 44)</sup>	X	X					
<i>Trichocoleus sociatus</i> (West et West) Anag. <sup>(3; 6; 11; 23-24; 33; 44-45)</sup> = <i>Microcoleus sociatus</i> West & G. S. West <sup>(31; 38; 41-42)</sup>	X	X	X		X	X	X
<i>Trichocoleus tenerrimus</i> (Gom.) Anag. <sup>(44)</sup>							X
<i>Trichocoleus desertorum</i> Mühlsteinová <i>et al.</i> <sup>(3; 23; 32-33)</sup>	X		X			X	
<i>Tychonema decoloratum</i> (West) Anag. & Kom. = <i>Oscillatoria decolorata</i> West <sup>(41)</sup>					X		
<i>Tychonema</i> sp. 1 África <sup>(44)</sup>	X						
<i>Wilmottia murrayi</i> (West & West) Strunecký <i>et al.</i> <sup>(43)</sup> = <i>Phormidium murrayi</i> (West & West) Anag. & Kom. <sup>(11; 39)</sup>					X		X
<i>Wilmottia</i> sp. 1 Europa <sup>(9)</sup>						X	
<b>SYNECHOCOCCALES</b>							
<i>Acaryochloris</i> sp. 1 África <sup>(44)</sup>	X						
<i>Aphanocapsa banaresensis</i> Bharadwaja <sup>(46)</sup>					X		
<i>Aphanocapsa biformis</i> A. Braun <sup>(4; 41; 44)</sup>					X		
<i>Aphanocapsa elachista</i> West & West <sup>(4)</sup>					X		
<i>Aphanocapsa fonticola</i> Hansgirg <sup>(15)</sup>						X	
<i>Aphanocapsa fuscolutea</i> Hansgirg <sup>(12)</sup>		X					
<i>Aphanocapsa hyalina</i> (Lyng.) Hansgirg <sup>(15)</sup>						X	
<i>Aphanocapsa muscicola</i> (Meneghini) Wille <sup>(15; 44)</sup> = <i>Aphanocapsa montana</i> Cramer <sup>(7; 46-47)</sup>	X			X	X	X	X

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Aphanocapsa parasitica</i> (Kütz.) Kom. et Anag. <sup>(7; 44)</sup> = <i>Microcystis parasitica</i> Kütz. <sup>(7)</sup>				X			
<i>Aphanocapsa parietina</i> Nägeli <sup>(25; 44)</sup> = <i>Aphanocapsa virescens</i> (Hassall) Rabenh. <sup>(41)</sup>					X	X	
<i>Aphanocapsa roeseana</i> De Bary <sup>(41)</sup>					X		
<i>Aphanocapsa</i> sp. 1 Brasil <sup>(37)</sup>			X				
<i>Arthronema africanum</i> (Schwabe & Simonsen) Kom. & Lukavsky <sup>(6)</sup>	X						
<i>Cyanobium parvum</i> (Migula) Kom. et al. = <i>Synechococcus parvus</i> Migula <sup>(46-47)</sup>					X		
<i>Cyanothece aeruginosa</i> (Nägeli) Kom. <sup>(7; 15; 29; 31; 44; 46-47)</sup> = <i>Synechococcus aeruginosus</i> Nägeli <sup>(5)</sup>	X	X		X	X	X	X
<i>Cyanothece major</i> (Schröter) Kom. <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Dasygloea lamyi</i> (Gom. ex Gom.) Senna & Kom. <sup>(44)</sup> = <i>Schizothrix lamyi</i> Gom. ex Gom. <sup>(31)</sup>	X	X					
<i>Eucapsis minor</i> (Skuja) Elenkin <sup>(7; 15; 44)</sup>				X		X	
<i>Eucapsis minuta</i> Fritsch <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Heteroleibleinia lachneri</i> (Zimmermann) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya lachneri</i> (Zimmermann) Geitler <sup>(42)</sup>					X		
<i>Jaaginema geminatum</i> (Meneghini ex Gom.) Anag. et Kom. <sup>(44)</sup> = <i>Oscillatoria geminata</i> Schwabe ex Gom. <sup>(31)</sup>		X					
<i>Jaaginema kuetzingianum</i> (Nägeli ex Gom.) Anag. & Kom. <sup>(2)</sup>						X	
<i>Jaaginema neglectum</i> (Lemmermann) Anag. & Kom. = <i>Oscillatoria fremyi</i> G.de Toni <sup>(4)</sup>					X		
<i>Jaaginema pseudogeminatum</i> (Schmid) Anag. & Kom. <sup>(46-47)</sup>					X		
<i>Jaaginema quadripunctulatum</i> (Brühl & Biswas) Anag. & Kom. = <i>Oscillatoria quadripunctulata</i> Brühl & Biswas <sup>(4)</sup>					X		
<i>Jaaginema subtilissimum</i> (Kütz. ex Forti) Anag. & Kom. <sup>(2)</sup> = <i>Oscillatoria subtilissima</i> Kütz. ex Forti <sup>(4; 41)</sup>					X	X	
<i>Jaaginema woronichinii</i> (Anisimova) Anag. & Kom. <sup>(14)</sup>					X		
<i>Leibleinia edaphica</i> Johansen & Flechtner <sup>(12; 44)</sup>		X					
<i>Leibleinia gracilis</i> (Rabenh. ex Gom.) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya gracilis</i> Rabenh. ex Gom. <sup>(4; 41; 46-47)</sup>					X		
<i>Leptolyngbya africana</i> (Lemmermann) Anag. & Kom. <sup>(6)</sup> = <i>Phormidium africanum</i> Lemmermann <sup>(4; 41-42)</sup>	X				X		
<i>Leptolyngbya blennophila</i> Anag. & Kom. <sup>(2)</sup>						X	
<i>Leptolyngbya boryana</i> (Gom.) Anag. & Kom. <sup>(2; 9; 24-25; 35)</sup>					X	X	
<i>Leptolyngbya breviarticulata</i> (Claus) Anag. <sup>(14)</sup>					X		
<i>Leptolyngbya cebennensis</i> (Gom.) Umezaki & Watanabe = <i>Phormidium cebennense</i> Gom. <sup>(4; 41)</sup>					X		
<i>Leptolyngbya compacta</i> (Kütz. ex Hansgirg) Kom. in Anag. <sup>(6; 11; 29; 44)</sup>	X			X			
<i>Leptolyngbya crispata</i> (Playfair) Anag. & Kom. <sup>(11; 12)</sup>	X	X					
<i>Leptolyngbya edaphica</i> (Elenkin) Anag. et Kom. in Anag. <sup>(24; 34; 44)</sup> = <i>Chroakolemma edaphicum</i> (Elenkin) Becerra-Absalón & Johansen						X	



**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gom.) Anag. & Kom. (2; 6-7; 11-12; 27; 29; 44) = <i>Phormidium foveolarum</i> (Montagne) Gom. (4; 7; 41-44)	X	X		X	X	X	
<i>Leptolyngbya fragilis</i> (Gom.) Anag. et Kom. (2; 44) = <i>Phormidium fragile</i> Gom. (31; 41-42)		X			X	X	
<i>Leptolyngbya gelatinosa</i> (Woronichin) Anag. & Kom. = <i>Phormidium gelatinosum</i> Woronichin (47)					X		
<i>Leptolyngbya gracillima</i> (Hansgirg) Anag. & Kom. = <i>Plectonema gracillimum</i> Zopf ex Hansgirg (22; 41)	X				X		
<i>Leptolyngbya laminosa</i> (Gom. ex Gom.) Anag. & Kom. = <i>Phormidium laminosum</i> Gom. ex Gom. (4)					X		
<i>Leptolyngbya mucosa</i> (Gardner) Anag. et Kom. (44)	X						
<i>Leptolyngbya nostocorum</i> (Born. ex Gom.) Anag. et Kom. (12; 44) = <i>Plectonema nostocorum</i> Born. ex Gom. (4; 31; 41-42)		X			X		
<i>Leptolyngbya notata</i> (Schmidle) Anag. et Kom. (24; 34; 44) = <i>Plectonema notatum</i> Schmidle (38)					X	X	
<i>Leptolyngbya rivulariarum</i> (Gom.) Anag. & Kom. = <i>Lyngbya rivulariarum</i> Gom. (42)					X		
<i>Leptolyngbya schmidlei</i> (Limanowska) Anag. et Kom. (6; 11; 44)	X						
<i>Leptolyngbya scottii</i> (Fritsch) Anag. et Kom. (6; 10-11; 44) = <i>Lyngbya scottii</i> Fritsch (7; 31; 41)	X	X		X	X		
<i>Leptolyngbya</i> sp. 1 (44)	X						
<i>Leptolyngbya subcapitata</i> (Petersen) Anag. = <i>Phormidium subcapitatum</i> Petersen (2)						X	
<i>Leptolyngbya subtilis</i> (West) Anag. (44) = <i>Lyngbya subtilis</i> West (4; 31)		X			X		
<i>Leptolyngbya subtilissima</i> (Kütz. ex Hansgirg) Kom. in Anag. (6; 11; 44)	X						
<i>Leptolyngbya tenerrima</i> (Hansgirg) Kom. (35)					X		
<i>Leptolyngbya tenuis</i> (Gom.) Anag. et Kom. (3; 33; 44) = <i>Phormidium tenue</i> Gom. (4-5; 31; 38; 41-42)	X	X	X		X		
<i>Leptolyngbya terebrans</i> (Born. & Flah. ex Gom.) Anag. & Kom. = <i>Plectonema terebrans</i> Born. & Flah. ex Gom. (41)					X		
<i>Leptolyngbya thermalis</i> Anag. in Anag. et Kom. (44)		X					X
<i>Leptolyngbya vincentii</i> Kom. (10)					X		
<i>Leptolyngbya voronichiniana</i> Anag. & Kom. (2)						X	
<i>Limnothrix vacuolifera</i> (Skuja) Kom. ex McGregor (6; 44)	X						
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kütz. (1)					X		
<i>Merismopedia sphagnicola</i> Joosten (15)						X	
<i>Myxacorys</i> sp. 1 Chile (33)			X				
<i>Myxacorys</i> sp. 2 Chile (33)			X				
<i>Nodosilinea epilithica</i> Perkerson & Casamatta (3; 9; 24-25; 33)			X		X	X	
<i>Oculatella kazantipica</i> Vinogradova & Mikhailiuk (32)						X	
<i>Oculatella</i> sp. 1 Brasil (20)			X				
<i>Pantalaninema</i> sp. 1 Brasil (20-21)			X				
<i>Phormidesmis mollis</i> (Gom.) Turicchia <i>et al.</i> = <i>Phormidium molle</i> Gom. (1; 2; 4-5; 41; 44)	X				X	X	

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Phormidesmis priestleyi</i> (F.E.Fritsch) Kom. et al. <sup>(29)</sup> = <i>Phormidium priestleyi</i> Fritsch <sup>(7; 11; 44)</sup>	X			X			
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg = <i>Lyngbya limnetica</i> Lemmermann <sup>(4-5; 31; 36; 41)</sup>	X	X			X		
<i>Planktothrix Ag.ii</i> (Gom.) Anag. & Kom. <sup>(2; 44)</sup> = <i>Oscillatoria Ag.ii</i> Gom. <sup>(5; 31; 41)</sup>	X	X			X	X	
<i>Planktothrix prolifica</i> (Gom.) Anag. & Kom. = <i>Oscillatoria prolifica</i> Gom. <sup>(38)</sup>					X		
<i>Planktothrix rubescens</i> (De Candolle ex Gom.) Anag. & Kom. = <i>Oscillatoria mougeotii</i> Kütz. ex Forti <sup>(41)</sup> = <i>Oscillatoria rubescens</i> De Candolle ex Gom. <sup>(10)</sup>					X		
<i>Plectolyngbya hodgsonii</i> Taton et al. <sup>(11)</sup>	X						
<i>Prochlorococcus</i> sp. 1 Brasil <sup>(20-21)</sup>			X				
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Kom. <sup>(14)</sup> = <i>Oscillatoria limnetica</i> Lemmermann <sup>(4-5)</sup>	X				X		
<i>Pseudanabaena minima</i> Anag. <sup>(6; 11; 44)</sup>	X						
<i>Pseudanabaena spelea</i> Anag. <sup>(44)</sup>				X			
<i>Pseudanabaena tenuis</i> Koppe <sup>(6; 11; 44)</sup>	X						
<i>Pseudanabaena starmachii</i> Anag. <sup>(6; 11; 44)</sup>	X						
<i>Rhabdoderma</i> sp. 1 Europa <sup>(30)</sup>						X	
<i>Schizothrix acutissima</i> Drouet <sup>(20)</sup>			X				
<i>Schizothrix arenaria</i> Gom. <sup>(6; 11; 13; 44)</sup>	X	X			X		
<i>Schizothrix atacamensis</i> Schwabe <sup>(44)</sup>			X				
<i>Schizothrix calcicola</i> Gom. <sup>(13; 31-32; 44)</sup>		X	X		X	X	X
<i>Schizothrix fuscescens</i> Kütz. ex Gom. <sup>(44-45)</sup>							X
<i>Schizothrix kialingensis</i> Jao <sup>(44)</sup>							X
<i>Schizothrix lardacea</i> Gom. <sup>(6; 11; 16; 41; 44)</sup>	X				X		
<i>Schizothrix lutea</i> Frémy <sup>(22)</sup>	X						
<i>Schizothrix pallida</i> (Nägeli) Geitler <sup>(44)</sup>	X						
<i>Schizothrix parciramosa</i> (Gardner) Geitler <sup>(44)</sup>							X
<i>Schizothrix</i> sp. 1 <sup>(44)</sup>	X						
<i>Schizothrix</i> sp. 2 Austrália <sup>(44-45)</sup>							X
<i>Schizothrix</i> sp. 3 Europa <sup>(44)</sup>						X	
<i>Schizothrix telephoroides</i> Gom. <sup>(14; 19-20; 44)</sup>			X		X		
<i>Schizothrix tinctoria</i> Gom. ex Gom. <sup>(10; 14; 22)</sup>	X				X		
<i>Stenomitos frigidus</i> (Fritsch) Miscoe & Johansen <sup>(33)</sup> = <i>Leptolyngbya frigida</i> (Fritsch) Anag. et Kom. <sup>(7; 19; 29; 32; 39; 44)</sup> = <i>Pseudanabaena frigida</i> (Fritsch) Anag. <sup>(6; 11; 44)</sup>	X		X	X		X	X
<i>Stenomitos</i> sp. 1 Chile <sup>(33)</sup>			X				
<i>Stenomitos</i> sp. 2 Chile <sup>(33)</sup>			X				
<i>Synechococcus elongatus</i> (Nägeli) Nägeli <sup>(2; 4; 22; 41-42; 44)</sup>	X				X	X	
<i>Synechococcus sciophilus</i> Skuja <sup>(18)</sup>						X	
<i>Synechococcus sigmoideus</i> (Moore et Carter) Kom. <sup>(44)</sup>				X			
<i>Synechococcus</i> sp. 1 <sup>(7; 44)</sup>				X			

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau <sup>(4)</sup>					X		
<i>Synechocystis crassa</i> Woronichin <sup>(46-47)</sup>					X		
<i>Synechocystis minuscula</i> Woronichin <sup>(2)</sup>						X	
<i>Synechocystis pevalekii</i> Ercegović <sup>(12; 41-42; 44)</sup>		X			X		
<i>Synechocystis</i> sp. 1 <sup>(7; 44)</sup>				X			
<i>Timaviella</i> sp. 1 Alemanha <sup>(24)</sup>						X	
<b>CHROOCOCCALES</b>							
<i>Aphanothece castagnei</i> (Brébisson) Rabenh. <sup>(10; 44)</sup>					X		X
<i>Aphanothece maritima</i> Johansen & Flechtner <sup>(12)</sup>		X					
<i>Aphanothece microscopica</i> Nägeli <sup>(15)</sup>						X	
<i>Aphanothece naegeli</i> Wartmann <sup>(4)</sup>					X		
<i>Aphanothece nidulans</i> P.Richter <sup>(5)</sup>	X						
<i>Aphanothece pallida</i> (Kütz.) Rabenh. <sup>(44)</sup>					X	X	
<i>Aphanothece saxicola</i> Nägeli <sup>(7; 44)</sup>				X	X	X	X
<i>Aphanothece</i> sp. 1 <sup>(44)</sup>				X		X	
<i>Aphanothece gelatinosa</i> (Hennings) Lemmermann <sup>(5)</sup>	X						
<i>Asterocapsa belizensis</i> Kom. & Komárková-Legnerová <sup>(35)</sup>					X		
<i>Asterocapsa divina</i> Kom. <sup>(16)</sup>					X		
<i>Chlorogloea</i> sp. 1 Europa <sup>(15)</sup>						X	
<i>Chlorogloea</i> sp. 1 Índia <sup>(10)</sup>					X		
<i>Chlorogloea</i> sp. 1 México <sup>(31)</sup>		X					
<i>Chondrocystis dermochroa</i> (Nägeli) Kom. & Anag. <sup>(7; 44)</sup> = <i>Gloeocapsa dermochroa</i> Nägeli ex Kütz. <sup>(7)</sup>	X			X			
<i>Chroococcus cohaerens</i> (Brébisson) Nägeli <sup>(7; 12; 44)</sup>		X		X			
<i>Chroococcus epiphyticus</i> Jao <sup>(44)</sup>					X		
<i>Chroococcus hansgirgii</i> Schmidle <sup>(5)</sup>	X						
<i>Chroococcus helveticus</i> Nägeli <sup>(15; 34; 44)</sup>						X	
<i>Chroococcus lithophilus</i> Ercegović <sup>(44)</sup>						X	
<i>Chroococcus major</i> Komarék & Komárková-Legnerová <sup>(1)</sup>					X		
<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann <sup>(31; 44)</sup>		X					
<i>Chroococcus minor</i> (Kütz.) Nägeli <sup>(1; 4-5; 13; 41; 44)</sup>	X	X			X	X	
<i>Chroococcus minutus</i> (Kütz.) Nägeli <sup>(4; 7; 41; 44; 46-47)</sup>				X	X		
<i>Chroococcus pallidus</i> (Nägeli) Nägeli <sup>(18; 44)</sup>						X	
<i>Chroococcus prescottii</i> Drouet & Daily <sup>(15)</sup>						X	
<i>Chroococcus</i> sp. 1 <sup>(44)</sup>				X			
<i>Chroococcus</i> sp. Austrália <sup>(44-45)</sup>							X
<i>Chroococcus tenax</i> (Kirchner) Hieronymus <sup>(44)</sup>					X	X	X
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kütz.) Nägeli <sup>(1; 4-5; 7; 13; 31; 44; 46-47)</sup>	X	X		X	X	X	
<i>Chroococcus varius</i> A. Braun in Rabenh. <sup>(5; 41; 44)</sup>	X					X	
<i>Chroococcus westii</i> Boye-Petersen <sup>(2; 4; 44; 46-47)</sup>	X				X		
<i>Chroococcus rufescens</i> (Kütz.) Nägeli <sup>(5; 44)</sup>	X						

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (continuação)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Cyanobacterium cedrorum</i> (Sauvageau) Kom. et al. (2; 7; 44) = <i>Synechococcus cedrorum</i> Sauvageau (4; 41)				X	X	X	
<i>Cyanosarcina atrovoneta</i> Johansen & Flechtner (12)		X					
<i>Cyanosarcina chroococcoides</i> (Geitler) Kováčik (7; 44)				X			
<i>Cyanosarcina spectabilis</i> (Geitler) Kováčik (7; 44) = <i>Myxosarcina spectabilis</i> Geitler (31)		X		X			
<i>Gloeocapsa aeruginosa</i> Kütz. (5; 41)	X				X		
<i>Gloeocapsa alpina</i> (Nägeli) Brand (15; 44)						X	X
<i>Gloeocapsa arenaria</i> (Hassall) Rabenh. (44)						X	
<i>Gloeocapsa biformis</i> Ercegović (12; 44)		X				X	
<i>Gloeocapsa calcarea</i> Tilden (41)					X		
<i>Gloeocapsa caldriorum</i> Rabenh. (44)						X	
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>kuetzingiana</i> Nägeli (7-8; 44)				X		X	
<i>Gloeocapsa compacta</i> Kütz. (12; 16; 18; 44)		X			X	X	
<i>Gloeocapsa cordae</i> Guiry = <i>Gloeocapsa violacea</i> (Corda) Rabenh. (44)						X	X
<i>Gloeocapsa decorticans</i> (A.Braun) P.Richter (4)					X		
<i>Gloeocapsa haematodes</i> Kütz. (44)							X
<i>Gloeocapsa livida</i> (Carmichael) Kütz. (41)					X		
<i>Gloeocapsa nigrescens</i> Nägeli in Rabenh. (15; 44)						X	
<i>Gloeocapsa novacekii</i> Kom. et Anag. (44)						X	X
<i>Gloeocapsa punctata</i> Nägeli (8; 44)		X				X	
<i>Gloeocapsa ralfsii</i> (Harvey) Kütz. (7; 44)				X			
<i>Gloeocapsa rupestris</i> Kütz. (4-5; 15; 41-42)	X				X	X	X
<i>Gloeocapsa rupicola</i> Kütz. (44)						X	X
<i>Gloeocapsa sanguinea</i> (Ag.) Kütz. (15; 44)					X	X	
<i>Gloeocapsa atrata</i> Kütz. (8; 10)		X			X		
<i>Gloeocapsopsis dvorakii</i> (Nováček) Kom. & Anag. ex Kom. (44-45)							X
<i>Gloeocapsopsis magma</i> (Brébisson) Kom. & Anag. ex Kom. (27) = <i>Gloeocapsa magma</i> (Brébisson) Kütz. (35)					X	X	
<i>Gloeocapsopsis pleurocapsoides</i> (Nováček) Kom. et Anag. (4; 44)					X	X	X
<i>Gloeocapsopsis polyedrica</i> (Ercegović) Kom. et Anag. (44)						X	
<i>Gloeocapsopsis</i> sp. 1 Austrália (44;45)							X
<i>Gloeothece fuscolutea</i> Nägeli (44)						X	
<i>Gloeothece palea</i> (Kütz.) Rabenh. (31; 44)		X				X	
<i>Gloeothece rhodochlamys</i> Skuja (10)					X		
<i>Gloeothece samoensis</i> Wille (4; 10)					X		
<i>Gloeothece</i> sp. 1 (7)				X			
<i>Gloeothece tepidariorum</i> (Braun) Lagerheim (25)					X		
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Kütz. (1; 13; 39; 41-42)		X			X		X
<i>Microcystis flosaquae</i> (Wittrock) Kirchner (1)					X		
<i>Microcystis pulvereae</i> (Wood) Forti (41)					X		

**Quadro 1.** Distribuição de espécies de cianobactérias por continente. Af = África, AN = América do Norte, AS = América do Sul, An = Antártida, As = Ásia, Eu = Europa e Oc = Oceania. (conclusão)

	Af	AN	AS	An	As	Eu	Oc
<i>Microcystis smithii</i> Kom. & Anag. = <i>Aphanocapsa pulchra</i> (Kütz.) Rabenh. <sup>(41)</sup>					X		
<i>Microcystis</i> sp. 1 Índia <sup>(4)</sup>					X		
<i>Pseudocapsa dubia</i> Ercegovic <sup>(44)</sup>						X	
<b>PLEUROCAPSALES</b>							
<i>Cyanocystis</i> sp. 1 Índia <sup>(42)</sup>					X		
<i>Myxosarcina minuta</i> Vogel <sup>(43)</sup>	X						
<i>Myxosarcina</i> sp. Israel <sup>(43)</sup>					X		
<i>Pleurocapsa minor</i> Hansgirg <sup>(33; 44)</sup>	X		X			X	
<i>Pleurocapsa</i> sp. 1 Índia <sup>(4)</sup>					X		
<i>Stanieria</i> cf. <i>cyanosphaera</i> (Kom. et Hindák) Kom. et Anag. <sup>(43)</sup>	X						
<i>Xenococcus</i> sp. 1 África <sup>(43)</sup>	X						
<i>Xenococcus</i> sp. 1 Austrália <sup>(39)</sup>							X
<i>Xenotholos kernerii</i> (Hansgirg) Gold-Morgan & Montejano et Kom. <sup>(44)</sup>	X						
<b>CHROOCOCCIDIOPSIDALES</b>							
<i>Chroococcidiopsis</i> sp. 1 <sup>(43)</sup>	X	X	X	X	X		X
<i>Chroococcidiopsis kashayi</i> Friedmann <sup>(16)</sup>					X		
<i>Chroococcidiopsis edaphica</i> Johansen & Flechtner <sup>(12)</sup>		X					
<b>SPIRULINALES</b>							
<i>Spirulina laxa</i> Smith <sup>(1)</sup>					X		
<i>Spirulina major</i> Kütz. ex Gom. <sup>(1)</sup>					X		
<i>Spirulina subsalsa</i> Oersted ex Gom. <sup>(1)</sup>					X		
<i>Spirulina tenerrima</i> Kütz. ex Gom. <sup>(16)</sup>					X		
<i>Glaucospira laxissima</i> (West) Simic <i>et al.</i> = <i>Spirulina laxissima</i> West <sup>(42)</sup>					X		
<b>GLOEOBACTERALES</b>							
<i>Gloeobacter violaceus</i> Rippka <i>et al.</i> = <i>Gloeotheca linearis</i> Nägeli <sup>(31; 43)</sup>		X					

**Fontes:** <sup>1</sup> Al-Sodany *et al.* (2018); <sup>2</sup> Bakieva *et al.* (2012); <sup>3</sup> Baumann *et al.* (2018); <sup>4</sup> Bhatnagar *et al.* (2008); <sup>5</sup> Borie & Ibraheem (2003); <sup>6</sup> Büdel *et al.* (2009); <sup>7</sup> Büdel & Colesie (2014); <sup>8</sup> Büdel, Vivas & Lange (2013); <sup>9</sup> Cano-Díaz *et al.* (2018); <sup>10</sup> Dirborne & Ramanujam (2020); <sup>11</sup> Dojani *et al.* (2014); <sup>12</sup> Flechtner, Johansen & Belnap (2008); <sup>13</sup> Hawkes & Flechtner (2002); <sup>14</sup> Hokmollahi *et al.* (2017); <sup>15</sup> Komárek *et al.* (2012); <sup>16</sup> Kumar & Adhikary (2015); <sup>17</sup> Kumar, Kastánek & Adhikary (2016); <sup>18</sup> Langhans, Storm & Schwabe (2009); <sup>19</sup> Machado-de-Lima (2016); <sup>20; 21</sup> Machado-de-Lima *et al.* (2019; 2021); <sup>22</sup> Mansour & Shaaban (2010); <sup>23</sup> Mehda *et al.* (2021); <sup>24</sup> Mikhailiyuk *et al.* (2019); <sup>25</sup> Nguyen, Sumimoto & Suda (2017); <sup>26</sup> Novakovskaya *et al.* (2020); <sup>27</sup> Patova, Novakovskaya & Deneva (2018); <sup>28</sup> Peer *et al.* (2010); <sup>29</sup> Pushkareva *et al.* (2018); <sup>30</sup> Pushkareva, Johansen & Elster (2016); <sup>31</sup> Rivera-Aguilar *et al.* (2006); <sup>32</sup> Roncero-Ramos *et al.* (2019); <sup>33</sup> Samolov *et al.* (2020); <sup>34</sup> Schulz *et al.* (2016); <sup>35</sup> Sepehr, Hasanzadeh & Rodriguez-Caballero (2018); <sup>36</sup> Shaaban, Mansour & Saber (2017); <sup>37</sup> Szyja *et al.* (2019); <sup>38</sup> Tirkey & Adhikary (2006); <sup>39</sup> Tracy *et al.* (2010); <sup>40</sup> Videla, Taboada & Aranibar (2018); <sup>41; 42</sup> Vinoth *et al.* (2017; 2019); <sup>43</sup> Wang *et al.* (2020); <sup>44</sup> Weber, Büdel & Belnap (2016); <sup>45</sup> Williams & Büdel (2012); <sup>46; 47</sup> Zhang *et al.* (2009; 2011).

## 6. SERVIÇOS ECOLÓGICOS E APLICAÇÕES DAS CROSTAS

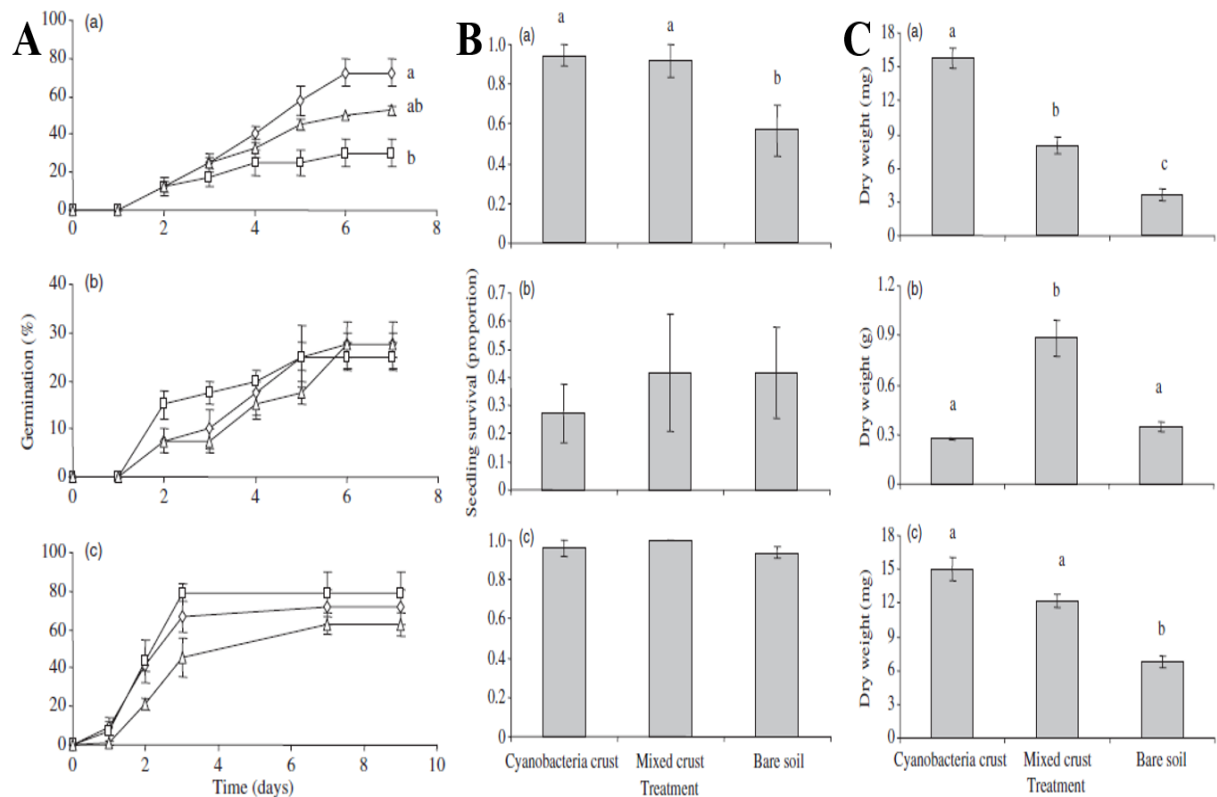
Devido à variedade de organismos que compõem as CBSs, tais comunidades oferecem diversos serviços ecológicos de extrema importância para o ambiente em que ocorrem. Dentre eles, vale destacar a participação na ciclagem de nutrientes e o aumento da fertilidade e da estabilidade dos solos. Além disso, estas comunidades também causam alterações significativas de rugosidade, textura, temperatura e pH do solo, além de também influenciarem em processos hidrológicos.

### 6.1. Relação entre crostas biológicas e vegetais vasculares

A relação entre as crostas biológicas e os vegetais vasculares é considerada controversa, uma vez que há estudos que apontam influência positiva, neutra ou negativa destas comunidades na germinação, nutrição e sobrevivência dos vegetais vasculares (BELNAP, PRASSE & HARPER, 2003). Em geral, estes efeitos dependem da topografia das CBSs que, em certos casos, atua como uma barreira que retém água e partículas do solo, juntamente com alguns nutrientes e, como consequência, criam um ambiente propício para o desenvolvimento de certos vegetais vasculares (BOWKER, BELNAP & MILLER, 2006).

Neste sentido, Godínez-Alvarez, Morín & Rivera-Aguilar (2012) aplicaram crostas dominadas por cianobactérias e crostas com cianobactérias e musgos em amostras de solo contendo sementes de *Agave marmorata*, *Prosopis laevigata* e *Neobuxbaumia tetetzo*. Não foi observada nenhuma influência das CBSs em relação à germinação das sementes de *P. laevigata* e *N. tetetzo*. Entretanto, os autores observaram maior taxa de germinação de *A. marmorata* em crostas dominadas por cianobactérias, devido à maior disponibilidade de nitrogênio no solo, e a menor taxa em crostas com musgos, que diminuem a disponibilidade de água no ambiente. Quanto à sobrevivência e crescimento das plântulas, notou-se influência positiva das crostas com cianobactérias e musgos nas três espécies, e negativa das crostas dominadas por cianobactérias em *P. laevigata* (Fig. 16).

**Figura 9.** Germinação das sementes (A), sobrevivência (B) e crescimento (C) das plântulas de *Agave marmorata* (a), *Prosopis laevigata* (b) e *Neobuxbaumia tetetzo* (c) em solo com crostas dominadas por cianobactérias (losangos), com crostas com cianobactérias e musgos (quadrados) e em solo sem crostas (triângulos).



Fonte: Godínez-Alvarez, Morín & Rivera-Aguilar (2012).

Já Steggle *et al.* (2019), em um estudo com bancos de sementes, mostraram que o tamanho dos propágulos, assim como o estágio de sucessão e a integridade das crostas, são fatores relevantes para o estabelecimento de uma relação entre eles. Os pesquisadores observaram influência positiva das crostas em estágios iniciais na germinação de *Enneapogon cylindricus*, *Lepidium phlebopetalum* e *Rhodanthe floribunda*, devido à maior suscetibilidade das sementes aos compostos químicos produzidos pelas cianobactérias, enquanto crostas em estágios mais avançados de sucessão inibiram a germinação destas espécies. Além disso, o mesmo estudo também revelou uma maior emergência de plântulas em crostas parcialmente removidas, em decorrência da quebra da barreira física criada por estas comunidades.

Zhang & Belnap (2015) mostraram que o tipo de influência das crostas no processo de germinação está intimamente relacionado à composição da comunidade e à espécie da planta. Os autores observaram influência negativa na germinação de *Haloxylon persicum*, *Ceratocarpus arenarius* e *Lappula semiglabra*, as quais possuem sementes com apêndices. O mesmo trabalho também revelou aumento da altura de plântulas de *L. semiglabra*, *Ephedra*

*distachya* e *Malcolmia africana* e aumento da biomassa da primeira e da última, quando tratadas com crostas. Além disso, também foi observada influência positiva e negativa das CBSs na concentração de nutrientes nos tecidos das espécies estudadas.

Em um estudo feito com *Lespedeza capitata* e *Lupinus perennis*, espécies de ambiente temperado, Gilbert & Corbin (2019) observaram que a taxa de germinação de ambas foi de três a cinco vezes maior em solos sem crosta. Já Pando-Moreno *et al.* (2014) observaram que as CBSs não exercem influência na germinação de *Muhlenbergia arenicola* e *Frankenia gypsophila* quando a umidade do solo está alta. Por fim, Song, Li & Hui (2017), em um estudo com *Artemisia capillaris* e *Eragrostis poaeoides*, nativas do Deserto de Tengger, e *Stipa glareosa*, invasora do mesmo bioma, observaram a inibição da germinação em todas as espécies estudadas, mostrando a importância das crostas no controle populacional dos vegetais nativos e na proteção do ambiente contra o estabelecimento de espécies exóticas.

## **6.2. Crostas biológicas como agentes estabilizadores do solo**

De maneira geral, os processos erosivos impactam o solo de maneira negativa, reduzindo a fertilidade em decorrência da perda de nutrientes (NEFF *et al.*, 2005). Além disso, tais processos também trazem consequência para o ambiente em sua volta, assim como para os organismos que ali vivem, uma vez que o transporte excessivo de partículas do solo e sua deposição em corpos d'água comprometem a qualidade dos mesmos assim como, em lugares mais frios, ocorre a aceleração do derretimento de camadas de neve (PAINTER *et al.*, 2010).

Como os ambientes favoráveis à ocorrência das crostas biológicas são, também, mais suscetíveis à processos erosivos, sabe-se que as CBSs exercem um papel importante na proteção e estabilização do solo, devido a presença de organismos filamentosos e produtores de exopolissacarídeos e de estruturas de fixação, como os rizoides das briófitas e as rizinas dos líquens (BELNAP, 2003; BELNAP & BÜDEL, 2016; ROSSI, MUGNAI & PHILIPPIS, 2018). Desta forma, alguns estudos visam explorar a aplicação destas comunidades para a redução do impacto destes processos nocivos.

Neste sentido, ao inocular *Phormidium ambiguum* e *Scytonema javanicum*, cianobactérias comuns de crostas, Chamizo *et al.* (2020) observaram redução da hidrofobicidade do solo, assim como aumento de sua estabilidade. Como os testes foram

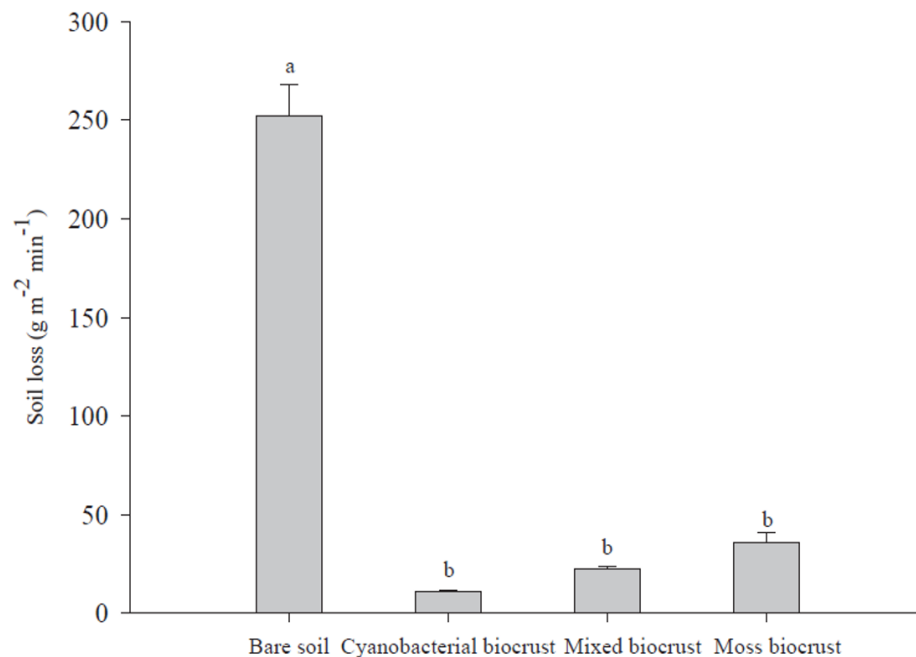


realizados em solo queimado de florestas, os resultados obtidos reforçam a importância das CBSs na recuperação de solos degradados.

Hashim, Al-Madhhachi & Alzubaidi (2020) realizaram testes *in situ* em solos sem cobertura, com crostas dominadas por cianobactérias e com crostas dominadas por Chlorophyta, utilizando jatos de água como agente erosivo. Como resultado, os pesquisadores observaram diminuição do coeficiente de erosão nas porções cobertas por crostas de cianobactérias, devido à presença de espécies produtoras de exopolissacarídeos, seguidas das porções cobertas por crostas de Chlorophyta. Além disso, foi observado também aumento na concentração de sais e de matéria orgânica nas porções cobertas pelos dois tipos de crostas.

Por fim, Gao *et al.* (2017) testaram e compararam, *in situ*, a proteção oferecida por crostas jovens com dominância de *Phormidium tenue* e *P. angustissimum* e por crostas mais desenvolvidas, dominadas por musgos do gênero *Didymodon*. Utilizando simulações de chuva como agente erosivo, os pesquisadores observaram aumento expressivo da concentração de matéria orgânica em solos cobertos, sendo de até 161% em crostas de *Didymodon*, além de uma redução no tamanho e no número de partículas perdidas em relação ao solo descoberto (Fig. 17).

**Figura 10.** Partículas perdidas em solo descoberto e coberto por crostas biológicas sob influência de simulações de chuva como agente erosivo.



**Fonte:** Gao *et al.* (2017).

A atuação das CBSs na estabilização do solo é de total relevância, sendo explorada por empresas que oferecem soluções ambientais para recuperação de áreas degradadas, como a japonesa Nippon Koei, a qual obteve uma patente do uso de inóculos de organismos de crostas para a prevenção de deslizamentos em encostas através da recuperação da vegetação perdida no local (Fig. 18) (<https://www.bosai-jp.org/en/solution/detail/89>).

**Figura 11.** Antes e depois do inóculo de organismos de CBSs em uma encosta do Parque Nacional de Yambaru, Okinawa, Japão.



Fonte: Modificada de *Japan Bosai Platform* (2020).

## 7. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PERSPECTIVAS

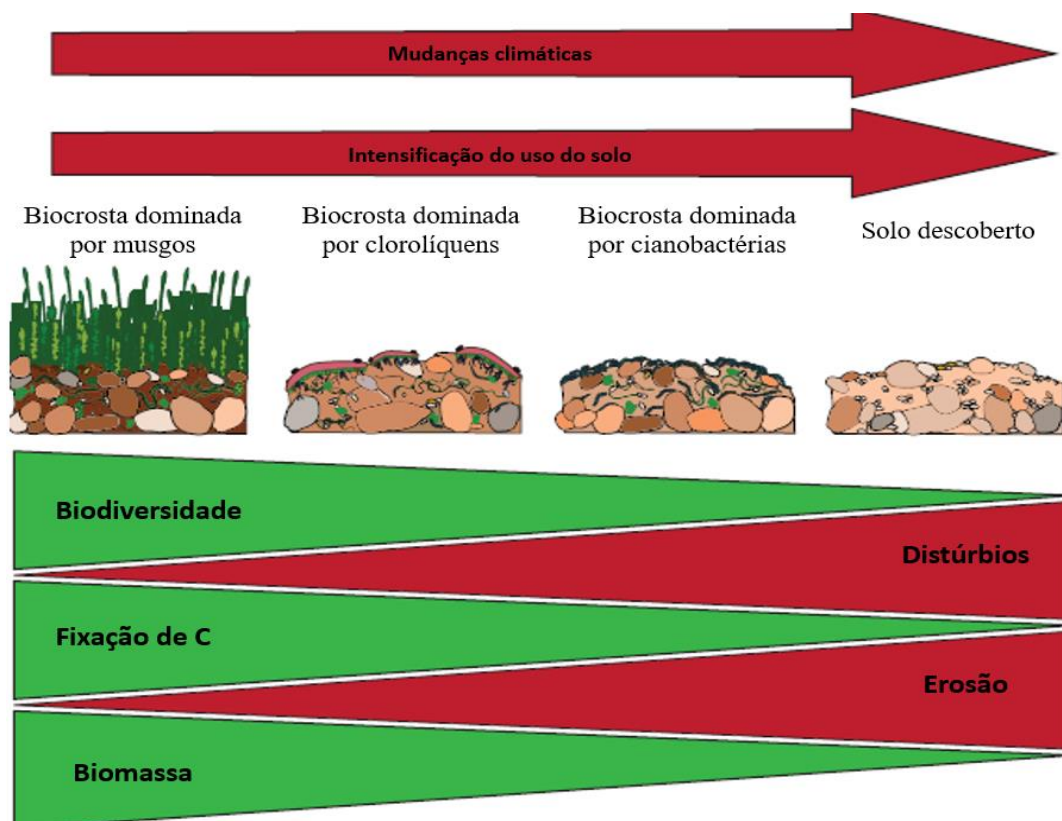
As crostas biológicas cobrem, atualmente, aproximadamente 12% da superfície terrestre do planeta e estima-se que essa área seja reduzida de 25 a 40% nos próximos 65 anos, sendo mais acentuada em locais hiper áridos, semiáridos e sub úmidos e menos em ambientes áridos (RODRIGUEZ-CABALLERO *et al.* 2018). As mudanças climáticas e a intensificação do uso indiscriminado do solo configuram as principais ameaças que afetam estas comunidades, uma vez que a ocorrência delas depende, principalmente, da combinação entre precipitação, temperatura e de características edáficas (RODRIGUEZ-CABALLERO *et al.* 2018), atuando na redução da biodiversidade e da biomassa dos organismos presentes, o que resulta na perda de importantes serviços ecológicos e aumento de distúrbios no ambiente (Fig. 19) (WEBER *et al.*, 2018).

Como as crostas biológicas são formadas por uma grande diversidade de organismos, o tipo e a intensidade do impacto são altamente dependentes da composição e estrutura delas. Neste sentido, Escolar *et al.* (2012) obtiveram, por meio de um experimento realizado ao longo

de três anos com simulações de aumento de temperatura e de redução de pluviosidade em crostas de um local de clima Mediterrâneo semiárido, redução de 40 a 70% na cobertura de líquens destas comunidades em resposta ao aumento da temperatura. Em contrapartida, os mesmos autores observaram um aumento de 0.3 a 7% na cobertura de musgos em resposta à mesma condição, assim como nenhuma influência da redução de pluviosidade na cobertura de nenhum dos dois tipos de organismos.

De Guevara *et al.* (2017) observaram o mesmo padrão de interferência nas crostas em resposta ao aumento da temperatura e à intensificação de períodos de seca com a realização de um experimento, ao longo de oito anos, com crostas de um ambiente de mesmo clima. Os autores ressaltam ainda a influência negativa que a redução da riqueza da biodiversidade de líquens traz para a capacidade que os ambientes propícios à ocorrência de crostas de sequestrar carbono e de fixar nitrogênio possuem, trazendo consequências para o planeta como um todo.

**Figura 12.** Representação esquemática dos impactos da intensificação das mudanças climáticas e do uso do solo nas CBSs.



**Fonte:** Modificada de Weber *et al.* (2018).

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente à relevância global e ao atual cenário de intensificação das mudanças climáticas e do avanço de atividades prejudiciais ao solo, faz-se necessária a realização de mais estudos visando compreender melhor as características das crostas biológicas, tais como sua composição, estrutura, distribuição geográfica, desenvolvimento e oferta de serviços ecológicos, a fim de preencher lacunas que, apesar do aumento do número de estudos nos últimos anos, ainda existem no entendimento destas comunidades. Além de auxiliar na proteção das CBSs frente às ameaças que enfrentam e que estão se agravando, o melhor entendimento de suas características nos dá também a oportunidade de utilizá-las para resolver problemas ambientais, como reduzir o impacto de processos erosivos e recuperar áreas degradadas.

## REFERÊNCIAS

- AABED, K.; ALMUTAIRI, A.; AL-SHWUAI, A.; AL-OTAIBI, A.; ALHAZZANI, A.; AL-SHBI, A.; AL-MOEGELTH, H.; AL-ASSAF, L. & AL-OMRI, S. Diversity and distribution of thermophiles and thermotolerant bacteria in the soil samples obtained from different regions in Saudi Arabia. **Biosciences Biotechnology Research Asia**, v. 18, p. 163-172, 2021.
- ABED, R. M. M.; AL-SADI, A. M.; AL-SHEHI, M.; AL-HINAI, SHIEKHA & ROBINSON, M. D. Diversity of free-living and lichenized fungal communities in biological soil crusts of the Sultanate of Oman and their role in improving soil properties. **Oil Biology & Biochemistry**, v. 57, p. 695-705, 2013.
- ABED, R. M. M.; TAMM, A.; HASSEN RÜCK, C.; AL-RAWAHI, A. N.; RODRÍGUEZ-CABALLERO, E.; FIEDLER, S.; MAIER, S. & WEBER, B. Habitat-dependent composition of bacterial and fungal communities in biological soil crusts from Oman. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-19, 2019.
- AL-SODANY, Y. M.; ISSA, A. A.; KAHIL, A. A. & ALI, E. F. Diversity of soil cyanobacteria in relation to dominant wild plants and edaphic factors at Western Saudi Arabia. **Annual Research & Review in Biology**, v. 26, p. 1-14, 2018.
- ARANA, C.; CARLO, T. A. & SALINAS, L. Biological soil crust in Peru: first record and description. **Zonas Áridas**, v. 16, p. 112-119, 2016.
- AZÚA-BASTOS, A.; GONZÁLEZ-SILVA, C.; MANCILLA, R. A.; SALAS, L.; GÓMEZ-SILVA, B.; MCKAY, C. P. & VICUÑA, R. Hypolithic cyanobacteria supported mainly by fog in the coastal range of the Atacama Desert. **Zonas Áridas**, v. 61, p. 568-581, 2011.
- BAKIEVA, G. R.; KHAIBULLINA, L. S.; GAISINA, L. A. & KABIROV, R. R. Ecological-floristic analysis of soil algae and cyanobacteria on the Tra-Tau and Yurak-Tau Mounts, Bashkiria. **Eurasian Soil Science**, v. 45, p. 873-881, 2012.
- BASTOS, C. J. P.; ALBERTOS, B. & BOAS, S. B. V. Bryophytes from some caatinga areas in the state of Bahia (Brazil). **Tropical Bryology**, v. 14, p. 69-75, 1998.
- BATES, S. T.; GARCIA-PICHEL, F. & NASH, T. H. Fungal components of biological soil crusts: insights from culture dependent and culture independent studies. **Bibliotheca Lichenologica**, v. 105, p. 197-210, 2010.
- BATES, S. T.; NASH, T. H. & GARCIA-PICHEL, F. Patterns of diversity for fungal assemblages of biological soil crust from the southwestern United States. **Mycologia**, v. 104, p. 353-561, 2012.

- BATES, S. T.; REDDY, G. S. N. & GARCIA-PICHEL, F. *Exophiala crusticola* anam. nov. (affinity Herpotrichiellaceae), a novel black yeast from biological soil crusts in the Western United States. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 56, p. 269-702, 2006.
- BAUMANN, K.; JUNG, P.; SAMOLOV, E.; LENHERT, L. W.; BÜDEL, B.; KARSTEN, U.; BENDIX, J.; ACHILLES, S.; SCHERMER, M.; MATUS, F.; OSES, R.; OSSES, P.; MORSHEDIZAD, M.; OEHLSCHLÄGER, C.; HU, Y.; KLYSUBUN, W. & LEINWEBER, P. Biological soil crusts along a climatic gradient in Chile: Richness and imprints of phototrophic microorganisms in phosphorus biogeochemical cycling. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 127, p. 286-300, 2018.
- BELNAP, J. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 128-135, 2002.
- BELNAP, J. Comparative Structure of Physical and Biological Soil Crusts. *In*: BELNAP, J & LANGE, O. L. (eds.). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**, Berlin: Springer, 2003. p. 177-192.
- BELNAP, J. Crusts: Biological. *In*: HILLEL, D.; HATFIELD, J. H.; POWLON, D. D.; ROSENZEIG, C.; SCOW, K. M.; SINGER, M. J. & SPARKS, D. L. (eds.). **Encyclopedia of Soils in the Environment**, Oxford U. K. Elsevier, 2005. p. 339-347.
- BELNAP, J. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. **Hydrological Processes**, v. 20, p. 3159-3178, 2006.
- BELNAP, J.; BÜDEL, B. & LANGE, O. L. Biological Soil Crusts: Characteristics and Distribution. *In*: BELNAP, J & LANGE, O. L. (eds.). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**, Berlin: Springer, 2003. p. 3-30.
- BELNAP, J.; PRASSE, R. & HARPER, K. T. Influence of biological soil crusts on soil environments and vascular plants. *In*: BELNAP, J & LANGE, O. L. (eds.). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**. Berlin: Springer, 2003. p. 281-302.
- BERRETA, E. Ecophysiology and management response of the subtropical grasslands of Southern America. *In*: GOMIDE, J. A.; MATTOS, W. R. S. & SILVA, S.C. (eds.), **Proceedings of the XIX International Grassland Congress**. Piracicaba, São Paulo. p. 939-946, 2001.
- BHATNAGAR, A.; MAKANDAR, M. B.; GARG, M. K. & BHATNAGAR, M. Community structure and diversity of cyanobacteria and green algae in the soils of Thar Desert (India). **Journal of Arid Environments**, v. 72, p. 73-83, 2008.
- BORIE, I. & IBRAHEEM, M. Preliminary survey of microalgal soil crusts in a xeric habitat (Wadi-Araba, Eastern Desert, Egypt). **Egyptian Journal of Phycology**, v. 4, p. 19-35, 2003.
- BOWKER, M. A. & BELNAP, J. A. simple classification of soil types as habitats of biological soil crusts on the Colorado Plateau, USA. **Journal of Vegetation Science**, v. 19, p. 831-840, 2008.
- BOWKER, M. A.; BELNAP, J. & MILLER, M. E. Spatial modeling of biological soil crusts to support rangeland assessment and monitoring. **Rangeland Ecology & Management**, v. 59, p. 519-529, 2006.
- BÜDEL, B. Biological soil crusts of European temperate and Mediterranean regions. *In*: BELNAP, J. & LANGE, O. L. (eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**, Berlin: Springer, 2003. p. 75-86.
- BÜDEL, B. & COLESIE, C. Biological soil crusts. *In*: COWAN, D. A. (eds) **Antarctic terrestrial microbiology: physical and biological properties of Antarctic soil habitats**. Springer, Heidelberg, 2014. p. 131-161.
- BÜDEL, B.; COLESIE, C.; GREEN, T. G. A.; GRUBE, M.; SUAUA, R. L.; LOEWEN-SCHNEIDER, K.; MAIER, S.; PEER, T.; PINTADO, A.; RAGGIO, J.; RUPRECHT, U.; SANCHO, L. G.; SCHROETER, B.; TÜRK, R.; WEBER, B.; WEDIN, M.; WESTBERG, M.; WILLIAMS, L. & ZHENG, L. Improved appreciation of the functioning and importance of biological soil crusts in Europe: the Soil Crust International Project (SCIN). **Biodiversity Conservation**, v. 23, p. 1639-1658, 2014.
- BÜDEL, B.; DARIENKO, T.; DEUTSCHEWITZ, K.; DOJANI, S.; FRIEDL, T.; MORH, K. I.; SALISCH, M.; REISSER, W. & WEBER, B. Southern African biological soil crusts are ubiquitous and highly diverse in drylands, being restricted by rainfall frequency. **Microbial Ecology**, v. 57, p. 289-247, 2009.

- BÜDEL, B.; DULIC, T.; DARIENKO, T.; RYBALKA, N. & FRIEDL, T. Cyanobacteria and Algae of Biological Soil Crusts. *In*: WEBER, B.; BÜDEL, B.; BELNAP, J. (eds) **Biological Soil Crusts: An Organizing Principle on Drylands**, Springer Switzerland, 2016. p. 55-80.
- BÜDEL, B.; VIVAS, M. & LANGE, O. L. Lichen species and the resulting photosynthetic behavior of Sonoran Desert soil crust types (Baja California, Mexico). **Ecological Processes**, v. 2, p. 1-9, 2013.
- BÜDEL, B.; WILLIAMS, W. J. & REICHENBERGER, H. Annual net primary productivity of a cyanobacteria-dominated biological soil crust in the Gulf Savannah, Queensland, Australia. **Biogeosciences**, v. 15, p. 491-505, 2018.
- CANO-DÍAZ, C.; MATEO, P.; MUÑOZ-MARTÍN, M. A. & MAESTRE, F. T. Diversity of biocrust-forming cyanobacteria in a semiarid gypsiferous site from Central Spain. **Journal of Arid Environments**, v. 151, p. 83-89, 2018.
- CAPKOVÁ, K.; HAUER, T.; ŘEHÁKOVÁ, K. & DOLEZAL, J. Some like it high! Phylogenetic diversity of high-elevation cyanobacterial community from biological soil crusts of Western Himalaya. **Microbial Ecology**, v. 71, p. 113-123, 2016.
- CHAMIZO, S.; ADESSI, A.; CERTINI, G. & DE PHILIPPS, R. Cyanobacteria inoculation as a potential tool for stabilization of burned soils. **Restoration Ecology**, v. 28, p. 1-9, 2020.
- CHAMIZO, S.; CANTÓN, Y.; RODRÍGUEZ-CABALLERO, R.; DOMINGO, F. & ESCUDERO, A. runoff at contrasting scales in a semiarid ecosystem: a complex balance between biological soil crust features and rainfall characteristics. **Journal of Hydrology**, v. 452-453, p. 130-138, 2012.
- COLESIE, C.; FELDE, V. J. M. N. L. & BÜDEL, B. Composition and Macrostructure of Biological Soil Crusts. *In*: WEBER, B.; BÜDEL, B.; BELNAP, J. (eds) **Biological Soil Crusts: An Organizing Principle on Drylands**, Switzerland: Springer, 2016. p. 159-172.
- COLESIE, C.; GOMMEAUX, M.; GREEN, T. G. A. & BÜDEL, B. Biological soil crusts in continental Antarctica: Garwood Valley, southern Victoria Land, and Diamond Hill, Darwin Mountains region. **Antarctic Science**, v. 26, p. 115-123, 2014.
- COLLINS, S. L.; SINSABAUGH, R. L.; CRENSHAW, C.; GREEN, L.; PORRAS-ALFARO, A.; STURSOVA, M. & ZEGLIN, L. H. Pulse dynamics and microbial processes in arid land ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 96, p. 413-420, 2008.
- CONCOSTRINA-ZUBIRI, L.; ARENAS, J. M.; MARTÍNEZ, I. & ESCUDERO, A. Unassisted establishment of biological soil crusts on dryland road slopes. **Web Ecology**, v. 19, p. 39-51, 2019.
- CONCOSTRINA-ZUBIRI, L.; MOLLA, I.; VELIZAROVA, E. & BRANQUINHO C. Grazing or not grazing: implications for ecosystem services provided by biocrusts in Mediterranean Cork Oak Woodlands. **Land Degradation & Development**, v. 28, p. 1345-1353, 2017.
- COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, p. 17-23, 1978.
- COWAN, D. A.; HOPKINS, D. W.; JONES, B. E.; MAGGS-KÖLLING, G.; MAJWESKA, R. & RAMOND, J. Microbiomics of Namib Desert habitats. **Extremophiles**, v. 24, p. 17-29, 2019.
- DANIN, A. & GAYNOR, E. Trapping of airborne dust by mosses in the Negev Desert, Israel. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 16, p. 153-162, 1991.
- DAVIDSON, A. J.; HARBORNE, J. B. & LONGTON, R. E. The acceptability of mosses as food for generalist herbivores, slugs in the Arionidae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 104, p. 99-103, 1990.
- DELGADO-BAQUERIZO, M.; MAESTRE, F. T. & GALLARDO, A. Biological soil crusts increase the resistance of soil nitrogen dynamics to changes in temperatures in a semi-arid ecosystem. **Plant Soil**, v. 366, p. 35-47, 2013.
- DE GUEVARA, M. L.; GOZALO, B.; RAGGIO, J.; LAFUENTE, A.; PRIETO, M. & MAESTRE, F. T. Warming reduces the cover, richness and evenness of lichen-dominated biocrust but promotes moss growth: insights from an 8 yr experiment. **New Phytologist**, v. 220, p. 811-823, 2017.

- DIRBORNE, C. M. & RAMANUJAM, P. Cyanobacteria and algae in biological soil crust of East Khasi Hills, Meghalaya. **Journal of Algal Biomass Utilization**, v. 11, p. 13-24, 2020.
- DOJANI, S.; BÜDEL, B.; DEUTSCHEWITZ, K. & WEBER, B. Rapid succession of biological soil crusts after experimental disturbance in the Succulent Karoo, South Africa. **Applied Soil Ecology**, v. 48, p. 263-269, 2011.
- DOJANI, S.; KAUFF, F.; WEBER, B. & BÜDEL, B. Genotypic and phenotypic diversity of cyanobacteria in biological soil crusts of the Succulent Karoo and Nama Karoo of Southern Africa. **Microbial Ecology**, v. 67, p. 286-301, 2014.
- DULIC, T.; MERILUOTO, J.; MALESEVIC, T. P.; GAJIC, V.; VAZIC, T.; TOKODI, N.; OBREHT, I.; KOSTIC, B.; KOSIJER, P.; KHORMALI, F. & SVIRCEV, Z. Cyanobacterial diversity and toxicity of biocrusts from the Caspian Lowland loess deposits, North Iran. **Quaternary International**, v. 429, p. 74-85, 2017.
- DURRELL, L. W. Algae of Death Valley. **Transactions of the American Microscopical Society**, v. 81, p. 267-273, 1962.
- ELBERT, W.; WEBER, B.; BURROWS, S.; STEINKAMP, J.; BÜDEL, B.; ANDREAE, M. O. & PÖSCHL, U. Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen. **Nature Geoscience**, v. 5, p. 459-462, 2012.
- ELDRIDGE, D. J. Biological soil crusts of Australia. In: BELNAP, J & LANGE, O. L. (eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**, Berlin: Springer, 2003. p. 119-132.
- ELDRIDGE, J.; BOWKER, M. A.; MAESTRE, F. T.; ALONSO, P.; MAU, R.L.; PAPADOPOULOS, J. & ESCUDERO, A. Interactive effects of three ecosystem engineers on infiltration in a semi-arid Mediterranean grassland. **Ecosystems**, v. 4, p. 499-510, 2010.
- ESCOLAR, C.; MARTÍNEZ, I.; BOWKER, M. A. & MAESTRE, F. T. Warming reduces the growth and diversity of biological soil crusts in a semi-arid environment: implications for ecosystem structure and functioning. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 367, p. 3087-3099, 2012.
- FIERER, N.; LEFF, J. W.; ADAMS, B. J.; NIELSEN, U. N.; LAUBER, C. L.; OWENS, S.; GILBERT, J. A.; WALL D. H. & CAPORASO, G. J. Cross-biome metagenomic analyses of soil microbial communities and their functional attributes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, p. 21390-21395, 2012.
- FISHER, K.; JEFFERSON, J. S. & VAISHAMPAYAN, P. Bacterial communities of Mojave Desert biological soil crusts are shaped by dominant photoautotrophs and the presence of hypolithic niches. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, p. 1-11, 2020.
- FISCHER, T. & VESTE, M. Carbon cycling of biological soil crusts mirrors ecological maturity along a Central European inland dune catena. **Catena**, v. 160, p. 68-75, 2018.
- FLECHTNER, V. R.; JOHANSEN, J. R. & BELNAP, J. The Biological soil crusts of the San Nicolas Island: enigmatic algae from a geographically isolated ecosystem. **Western North America Naturalist**, v. 68, p. 405-436, 2008.
- GAO, L.; BOWKER, M. A.; XU, M.; SUN, H.; TUO, D. & ZHAO, Y. Biological soil crusts decrease erodibility by modifying inherent soil properties on the Loess Plateau, China. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 105, p. 49-58, 2017.
- GARCIA-PICHEL, F.; JOHNSON, S. L.; YOUNGKIN, D. & BELNAP, J. Small-scale vertical distribution of bacterial biomass and diversity in biological soil crusts from arid lands in the Colorado Plateau. **Microbial Ecology**, v. 46, p. 312-321, 2003.
- GARCIA-PICHEL, F. & WOJCIECHOWSKI, M. F. The evolution of a capacity to build supra-cellular ropes enabled filamentous cyanobacteria to colonize highly erodible substrates. **PLoS One**, v. 4, p. 1-6, 2009.
- GHOLAMHOSSEINIAN, A.; SEPEHR, A.; SOHRABI, M. & EMADODIN, I. Assessing the role of lichens in the prevention of dust emission in dryland: case study at north-eastern Iran. **Aeolian Research**, v. 50, p. 1-11, 2021.

- GILBERT, J. A. & CORBIN, J. D. Biological soil crusts inhibit seed germination in a temperate pine barren ecosystem. **PLoS One**, v. 14, p. 1-9, 2019.
- GODÍNEZ-ALVAREZ, H.; MORÍN, C. & RIVERA-AGUILAR, V. Germination, survival and growth of three vascular plants on biological soil crusts from a Mexican tropical desert. **Plant Biology**, v. 14, p. 157-162, 2012.
- GORJI, M.; BAKHOSH, M.; SOHRABI, M. & POURBABELI, A. A. Assessing the function of biological soil crusts on soil fertility (case study: Kiamaky wildlife refuge, east Azerbaijan, Iran). **Eurasian Solo Science**, v. 54, p. 409-416, 2021.
- GREEN, L. E.; PORRAS-ALFARO, A. & SINSABAUGH, R. L. Translocation of nitrogen and carbon integrates biotic crust and grass production in desert grassland. **Journal of Ecology**, v. 96, p. 1076-1085, 2008.
- GUIRY, M. D. & GUIRY, G. M. **Algaebase**: listing the world's algae, 2021. Página Inicial. Disponível em: [www.algaebase.org/](http://www.algaebase.org/). Acesso em: 12 de ago. de 2021.
- GUNDLAPALLY, S. R. & GARCIA-PICHEL, F. The community and phylogenetic diversity of biological soil crusts in the Colorado Plateau studied by molecular fingerprinting and intensive cultivation. **Microbial Ecology**, v. 52, p. 345-357, 2006.
- HAARMAYER, D. H.; LUTHER-MOSEBACH, J.; DENGLER, J.; SCHMIEDEL, U.; FINCKH, M.; BERGER, K.; DECKERT, J.; DOMPTAIL, S. E. & GIBREEL, T. The BIOTA observatories. In: JÜRGENS, N.; HAARMAYER, D. H.; LUTHER-MOSEBACH, J.; DENGLER, J.; FINCKH, M. & SCHMIEDEL, U. (eds). **Biodiversity in Southern Africa**, vol. 1: Patterns at local scale – the BIOTA Observatories. Göttingen, 2010. p. 6-801.
- HAGEMANN, M.; HENNEBERG, M.; FELDE, V. J. M. N. L.; BERKOWICZ, S. M.; RAANAN, H.; PADE, N.; FELIX-HENNINGSSEN, P. & KAPLAN, A. Cyanobacterial populations in biological soil crusts of the northwest Negev Desert, Israel-effects of local conditions and disturbance. **Federation of European Microbiological Societies**, v. 93, p. 1-9, 2017.
- HAGEMANN, M.; HENNEBERG, M.; FELDE, V. J. M. N. L.; DRAHORAD, S. L.; BERKOWICZ, S. M.; PADE, N.; FELIX-HENNINGSSEN, P. & KAPLAN, A. Cyanobacterial diversity in biological soil crusts along a precipitation gradient, northwest Negev Desert, Israel. **Microbial Ecology**, v. 70, 219-230 p. 2015.
- HASHIM, Z. E.; AL-MADHHACHI, A. S. T. & ALZUBAIDI, L. A. Behavior of soil erodibility parameters due to biological soil crusts using jet erosion tests. **Ecological Engineering**, v. 153, p. 1-11, 2020.
- HAWKES, C. V. Effects of biological soil crusts on seed germination of four endangered herbs in a xeric Florida shrubland during drought. **Plant Ecology**, v. 170, p. 121-134, 2004.
- HAWKES, C. V. & FLECHTNER, V. R. Biological soil crusts in a xeric Florid shrubland: composition, abundance, and spatial heterogeneity of crusts with different disturbance histories. **Microbial Ecology**, v. 43, p. 1-12, 2002.
- HOKMOLLAHI, F.; RIAHI, H.; SOLTANI, N.; SHARIATMADARI, Z. & MEYBODI, M. H. H. A taxonomic study on non-heterocystous filamentous cyanoprokaryotes from soil of Yazd Province, Iran. **Iranian Journal of Botany**, v. 23, 60-71 p. 2017.
- HOPPERT, M.; REIMER, R.; KEMMLING, A.; SCHRÖDER, A.; GÜNZL, B. & HEINKEN, T. Structure and reactivity of a biological soil crust from a xeric sandy soil in Central Europe. **Geomicrobiology Journal**, v. 21, p. 183-191, 2004.
- HU, C. X.; LIU, Y. D.; SONG, L. R. & HUANG, Z. B. Species composition and distribution of algae in semidesert algal crusts. **Chinese Journal of Applied Ecology**, v. 11, p. 61-65, 2000.
- JAFARI, M.; TAVILI, A.; ZARGHAM, N.; HESHMATI, G. A.; CHAHOUKI, M. A. Z.; SHIRZADIAN, S.; AZARNIVAND, H.; ZEHTABIAN, G. R. & OHRABI, M. Comparing some properties of crusted and uncrusted soils in alagol region of Iran. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 3, p. 273-277, 2004.
- JANATKOVÁ, K.; ŘEHÁKOVÁ, K.; DOLEZAL, J.; ŠIMEK, M.; CHLUMSKÁ, Z.; DVORSKÝ, M. & KOPECKÝ, M. Community structure of soil phototrophs along environmental gradients in arid Himalaya. **Environmental Microbiology**, v. 15, p. 2505-2516, 2013.



- JAPAN BOSAI PLATFORM. **Japan Bosai Platform**: holistic approach to reduce disaster impacts, 2020. Bosai solution ID: JBP00089. Disponível em: <https://www.bosai-jp.org/en/solution/detail/89/>. Acesso em: 12 de dez. de 2021.
- KARIM, S. H.; SALIH, S. A. & AL-ZUBAIDY, A. A. A checklist of lichens from Iraq, with four new records of lichens from Iraq. **Lindbergia**, v. 44, p. 1-6, 2021.
- KARSTEN, U. & HOLZINGER, A. Green algae in alpine biological soil crust communities: acclimation strategies against ultraviolet radiation and dehydration. **Biodiversity and Conservation**, v. 23, p. 1845-1858, 2014.
- KIDRON, G. J.; BARINOVA, S. & VONSHACK, A. The effects of heavy winter rains and rare summer rains on biological soil crusts in the Negev Desert. **Catena**, v. 95, p. 6-11, 2012.
- KOMÁREK, J.; KASTOVSKÝ, J.; MARES, J. & JOHANSEN, J. R. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. **Preslia**, v. 86, p. 295-335, 2014.
- KOMÁREK, J.; KOVAČIK, L.; ELSTER, J. & KOMÁREK, O. Cyanobacterial diversity of Petuniabukta, Billefjorden, central Spitsbergen. **Polish Polar Research**, v. 33, 347-368, 2012.
- KOMÁROMY, Z. P. Soil algal growth types as edaphic adaptations in Hungarian forest and grass steppe ecosystems. **Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae**, v. 22, p. 373-379, 1976.
- KUMAR, D. & ADHIKARY, S. P. Diversity, molecular phylogeny, and metabolic activity of cyanobacteria in biological soil crusts from Santiniketan (India). **Journal of Applied Phycology**, v. 27, p. 339-349, 2015.
- KUMAR, D.; KASTÁNEK, P. & ADHIKARY, S. P. Diversity of cyanobacteria in biological crusts on arid soils in the Eastern region of India and their molecular phylogeny. **Current Science Association**, v. 110, p. 1999-2004, 2016.
- LACAP, D. C.; WARREN-RHODES, K. A.; MCKAY, C. P. & POINTING, S. B. Cyanobacteria and Chloroflexi-dominated hypolithic colonization of quartz at the hyper-arid core of the Atacama Desert, Chile. **Extremophiles**, v. 15, p. 31-38, 2011.
- LALLEY, J. S.; VILES, H. A.; HENSCHER, J. R. & LALLEY, V. Lichen-dominated soil crusts as arthropod habitat in warm deserts. **Journal of Arid Environments**, v. 67, p. 579-593, 2006.
- LANGHANS, T. M.; STORM, C. & SCHWABE, A. Community assembly of biological soil crusts of different successional stages in a temperate sand ecosystem, as assessed by direct determination and enrichment techniques. **Microbial Ecology**, v. 58, p. 394-407, 2009.
- LÁZARO, R.; CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; BEVAN, J.; ALEXANDER, R.; SANCHO, L. G. & PUIGDEFÁBREGAS, J. The influence of competition between lichen colonization and erosion on the evolution of soil surfaces in the Tabernas badlands (SE Spain) and its landscape effects. **Geomorphology**, v. 102, p. 252-266, 2008.
- LE HOUÉROU, H. N. The desert and arid zones of northern Africa. *In*: EVENARI, M.; NOY-MEIR, I. & GOODALL, D. W. (eds.). **Hot deserts and arid shrublands. Ecosystems of the world 12 B**, Amsterdã: Elsevier, 1986. p. 101-147.
- LEHNERT, L. W.; JUNG, P.; OBERMEIER, W. A.; BÜDEL, B. & BENDIX, J. Estimating net photosynthesis of biological soil crusts in the Atacama using hyperspectral remote sensing. **Remote Sensing**, v. 10, p. 1-17, 2018.
- LI, X. R.; CHEN, Y. W. & YANG, L. W. Cryptogam diversity and formation of soil crusts in temperate desert. **Annals of Arid Zone**, v. 43, p. 335-353, 2004.
- LI, X.; JIA, R.; ZHANG, Z.; ZHANG, P. & HUI, R. Hydrological response of biological soil crusts to global warming: a ten-year simulative study. **Global Change Biology**, v. 24, p. 4960-4971, 2018.
- LI, X. R.; XIAO, H. L.; ZHANG, J. G. & WANG, X. P. Long-term ecosystem effects of sand-binding vegetation in the Tengger Desert, Northern China. **Restoration Ecology**, v. 12, p. 376-390, 2004.
- LI, X. R.; ZHOU, H. Y.; WANG, X. P.; ZHU, Y. G. & O'CONNOR, P. J. The effects of sand stabilization and revegetation on cryptogam species diversity and soil fertility in the Tengger Desert, Northern China. **Plant and Soil**, v. 251, p. 237-245, 2003.

- LI, Y. J.; JIN, X. Y.; ZHANG, X. C.; CHEN, L.; LIU, J. L.; CHANG, H. M.; ZHANG, X.; ZHANG, Y. F.; ZHAO, J. H.; MA, Z. S. & JIN, D. Comparative metagenomics of two distinct biological soil crusts in the Tengger Desert, China. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 140, p. 1-12, 2020.
- LIU, L.; LIU, Y.; HUI, R. & XIE, M. Recovery of microbial community structure of biological soil crusts in successional stages of Shapotou Desert revegetation, Northwest China. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 107, p. 125-128, 2017.
- LIU, Y.; WANG, Z.; ZHAO, L.; WANG, X.; LIU, L.; HUI, R.; ZHANG, W.; ZHANG, P.; SONG, G. & SUN, J. Differences in bacterial community structure between three types of biological soil crusts and soil below crusts from the Gurbantunggut Desert, China. **European Journal of Soil Science**, v. 70, p. 630-643, 2018.
- MACHADO-DE-LIMA, N. M. **Diversidade de cianobactérias em crostas biológicas e avaliação de perfil celulolítico e hemicelulolítico**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. São José do Rio Preto, p. 98. 2016.
- MACHADO-DE-LIMA, N. M.; FERNANDES, V. M. C.; ROUSH, D.; AYUSO, S. V.; RIGONATO, J.; GARCIA-PICHEL, F. & BRANCO, L. H. Z. The compositionally distinct cyanobacterial biocrusts from Brazilian savanna and their environmental drivers of community diversity. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, p. 1-10, 2019.
- MACHADO-DE-LIMA, N. M.; MUÑOZ-ROJAS, M.; VÁZQUEZ-CAMPOS, X. & BRANCO, L. H. Z. Biocrust cyanobacterial composition, diversity, and environmental drivers in two contrasting climatic regions in Brazil. **Geoderma**, v. 386, p. 1-11, 2021.
- MAESTRE, F. T.; BOWKER, M. A.; CANTÓN, Y.; CASTILLO-MONROY, A. P.; CORTINA, J.; ESCOLAR, C.; ESCUDERO, A.; LÁZARO, R. & MARTÍNEZ, I. Ecology and functional roles of biological soil crusts in semi-arid ecosystems of Spain. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p. 1282-1291, 2011.
- MAGER, D. M. & HUI, C. A first record of biological soil crusts in the Cape Floristic Region. **South African Journal of Science**, v. 108, p. 1-4, 2012.
- MAIER, S.; MUGGIA, L.; KUSKE, C. R. & GRUBE, M. Bacteria and Non-lichenized Fungi Within Biological Soil Crusts. In: WEBER, B.; BÜDEL, B.; BELNAP, J. (eds.). **Biological Soil Crusts: An Organizing Principle on Drylands**, Springer Switzerland, 2016. 81-100 p.
- MAIER, S.; WU, D.; CAESAR, J.; GRUBE, M. & WEBER, B. Photoautotrophic organisms control microbial abundance, diversity, and physiology in different types of biological soil crusts. **The ISME Journal**, v. 12, p. 1032-1046, 2018.
- MANSOUR, H. A.; HAMED, A. F. & NOSAIR, H. R. Morphological and molecular taxonomic studies of edaphic cyanobacteria from Siwa Oasis, Egypt. **The Egyptian Journal of Experimental Biology**, v. 16, p. 149-160, 2020.
- MANSOUR, H. A. & SHAABAN, A. S. Algae of soil surface layer of Wadi Al-Hitan protective area (world heritage site), El-Fayum depression, Egypt. **Journal of American Science**, v. 6, p. 243-255, 2010.
- MEHDA, S.; MUÑOZ-MARTÍN, M. A.; OUSTANI, M.; HAMDIA-ÄSSA, B.; PRONA, E. & MATEO, P. Microenvironmental conditions drive the differential cyanobacterial community composition of biocrusts from the Sahara Desert. **Microorganisms**, v. 9, p. 1-27, 2021.
- MELICK, D. R. & SEPPELT, R. D. Loss of soluble carbohydrates and changes in freezing point of Antarctic bryophytes after leaching and repeated freeze-thaw cycles. **Antarctic Science**, v. 4, p. 339-404, 1992.
- MENEZES, A. G. S. **Organização das crostas biológicas de solo em uma paisagem antrópica na Caatinga**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 71. 2018.
- MIKHAILYUK, T.; GLASER, K.; TSARENKO, P.; DEMCHENKO, E. & KARSTEN, U. Composition of biological soil crusts from sand dunes of the Baltic Sea coast in the context of an integrative approach to the taxonomy of microalgae and cyanobacteria. **European Journal of Phycology**, v. 54, p. 1-28, 2019.
- MIRALLES, I.; DOMINGO, F.; GARCÍA-CAMPOS, E.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M. C. & GIL-SOTRES, F. Biological and microbial activity in biological soil crusts from the Tabernas Desert, a sub-arid zone in SE Spain. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 55, p. 113-121, 2012.

- MOGHTADERI, A.; TAGHAVI, M. & REZAEI, R. Cyanobacteria in biological soil crust of Chadormalu Area, Babq Region in central Iran. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, p. 1083-1092, 2009.
- MOGUL, R.; VAISHAMPAYAN, P.; BASHIR, M.; MCKAY, C. P.; SCHUBERT, K.; BORNACCORSI, R.; GOMEZ, E.; THARAYLL, S.; PAYTON, G.; CAPRA, J.; ANDAYA, J.; BACON, L.; BARGOMA, E.; BLACK, D.; BOOS, K.; BRANT, M.; CHABOT, M.; CHAU, D.; CISNEROS, J.; CHU, G.; CURNUTT, J.; DIMIZIO, J.; ENGELBRECHT, C.; GOTT, C.; HARNOTO, R.; HOVANESIAN, R.; JOHNSON, S.; LAVERGNE, B.; MARTINEZ, G.; MANS, P.; MORALES, E.; OEI, A.; PELOW, G.; PIAGET, R.; PONCE, N.; RENTEIRA, E.; RODRIGUEZ, V.; RODRIGUEZ, J.; SANTANDER, M.; SARMIENTO, K.; SCHEPPELMANN, A.; SCHROTER, G.; SEXTON, D.; STEPHENSON, J.; SYMER, K.; RUSSO-TAIT, T.; WEIGEL, B. & WILHELM, M. B. Microbial community and biochemical dynamics of biological soil crusts across a gradient of surface coverage in the central Mojave Desert. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 1-19, 2017.
- MONOD, T. The Sahel zone north of the Equator. In: EVENARI, M.; NOY-MEIR, I. & GOODALL, D. W. (eds.). **Hot deserts and arid shrublands. Ecosystems of the world 12 B**, Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 205-243.
- MOREIRA, J. V. **Caracterização molecular da comunidade bacteriana associada à crosta biológica do solo no bioma Caatinga**. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 40. 2021.
- MUÑOZ-MARTÍN, M. A.; BECERRA-ABSALÓN, I.; PERONA, E.; FERNÁNDEZ-VLABUENA, L.; GARCIA-PICHEL, F. & MATEO, P. Cyanobacterial biocrust diversity in Mediterranean ecosystems along a latitudinal and climatic gradient. **New Phytologist**, v. 221, p. 123-141, 2019.
- MUSCHA, J. M. & HILD, A. L. Biological soil crusts in grazed and ungrazed Wyoming sagebrush steppe. **Journal of Arid Environments**, v. 67, p. 195-207, 2006.
- NAGY, M. L.; PÉREZ, A. & GARCIA-PICHEL, F. The prokaryotic diversity of biological soil crusts in the Sonoran Desert (Organ Pipe Cactus National Monument, AZ). **FEMS Microbiology Ecology**, v. 54, p. 233-245, 2005.
- NEFF, J. C.; REYNOLDS, R.; BELNAP, J. & LAMOTHE, P. Multi-decadal impacts of grazing on soil physical and biogeochemical properties in southeast Utah. **Ecological Applications**, v. 15, p. 87-95, 2005.
- NEHER, D. A.; WALTER, T. L.; TRAMER, E.; WICHT, T. R.; VELUCI, R. M.; SAIYA-CORK, K.; WILL-WOLF, S.; TOPPIN, J.; TRAUB, J. & JOHANSEN, J. R. Biological soil crust and vascular plant communities in a sand savanna of northwestern Ohio. **Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 130, p. 244-252, 2003.
- NGUYEN, X. H.; SUMIMOTO, S. & SUDA, S. Unexpected high diversity of terrestrial cyanobacteria from the campus of the University of the Ryukyus, Okinawa, Japan. **Microorganisms**, v. 5, p. 1-13, 2017.
- NOVAKOVSKAYA, I. V.; DUBROVSKIY, Y. A.; PATOVA, E. N.; NOVAKOVSKIY, A. B. & STERLYAGOVA, I. N. Influence of ecological factors on soil algae in different types of mountain tundra and sparse forests in the Northern Urals. **Phycologia**, v. 59, p. 1-10, 2020.
- OCHOA-HUESO, R.; HERNANDEZ, R. R.; PUEYO, J. J. & MANRIQUE, E. Spatial distribution and physiology of biological soil crusts from semi-arid central Spain are related to soil chemistry and shrub cover. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 1894-1901, 2011.
- PAINTER, T. H.; DEEMS, J. S.; BELNAP, J.; HAMLET, A. F.; LANDRY, C. C. & UDALL, B. Response of Colorado River runoff to dust radiative forcing in snow. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, p. 17125-17130, 2010.
- PANDO-MORENO, M.; MOLINA, V.; JURADO, E. & FLORES J. Effect of soil crusts on the seed germination of three plant species under laboratory conditions. **Botanical Sciences**, v. 92, p. 273-279, 2014.
- PATOVA, E. N.; NOVAKOVSKAYA, I. V. & DENEVA, S. V. The influence of edaphic and orographic factors on algal diversity in biological soil crusts on bare spots in the polar and subpolar Urals. **Eurasian Soil Science**, v. 51, p. 309-320, 2018.
- PEER, T.; TÜRK, R.; GRUBER, J. P. & TCSCHAIKNER, A. Species composition and pedological characteristics of biological soil crusts in a high alpine ecosystem, Hohe Tauern, Austria. **Journal on Protected Mountain Areas Research and Management**, v. 2, p. 23-30, 2010.

- PONZETTI, J. M. & MCCUNE, B. P. Biotic soil crusts of Oregon's shrub steppe: community composition in relation to soil chemistry, climate, and livestock activity. **The Bryologist**, v. 104, p. 212-225, 2001.
- PUSHKAREVA, E.; JOHANSEN, J. R. & ELSTER, J. A review of the ecology, ecophysiology and biodiversity of microalgae in Arctic soil crusts. **Polar Biology**, v. 39, p. 2227-2240, 2016.
- PUSHKAREVA, E.; PESSI, I. S.; NAMSARAEV, Z.; MANO, M. S.; ELSTER, J. & WILMOTTE, A. Cyanobacteria inhabiting biological soil crusts of a polar desert: Sør Rondane Mountains, Antarctic. **Systematics and Applied Microbiology**, v. 41, p. 363-373, 2018.
- REHÁKOVÁ, K.; CHLUMSKÁ, Z. & DOLEZAL, J. Soil cyanobacterial and microalgal diversity in dry mountains of Ladakh, NW Himalaya, as related to site, altitude, and vegetation. **Microbial Ecology**, v. 62, p. 337-346, 2011.
- RIPPIN, M.; LANGE, S.; SAUSEN, N. & BECKER, B. Biodiversity of biological soil crusts from the polar regions revealed by metabarcoding. **Federation of European Microbiological Society**, v. 94, p. 1-15, 2018.
- RIVERA-AGUILAR, V.; MONTEJANO, G.; RODRÍGUEZ-ZARAGOZA, S. & DURÁN-DÍAZ, A. Distribution and composition of cyanobacteria, mosses and lichens of the biological soil crusts of the Tehuacán Valley, Puebla, México. **Journal of Arid Environments**, v. 65, p. 208-225, 2006.
- RODRIGEZ-CABALLERO, E.; BELNAP, J.; BÜDEL, B.; CRUTZEN, P. J.; ANDREAE, M. O.; PÖSCHL, U. & WEBER, B. Dryland photoautotrophic soil surface communities endangered by global change. **Nature Geoscience**, v. 11, p. 185-189, 2018.
- ROESCH, L. F. W.; VIEIRA, F. C. B.; PEREIRA, V. A.; SCHÜNEMANN, A. L.; TEIXEIRA, I. F.; SENNA, A. J. T. & STEFENON, V. M. The Brazilian Pampa: a fragile biome. **Diversity**, v. 1, p. 182-198, 2009.
- RONCERO-RAMOS, B.; MUÑOZ-MARTÍN, M. A.; CHAMIZO, S.; FERNÁNDEZ-VALBUENA, L.; MENDOZA, D.; PERONA, E.; CANTÓN, Y. & MATEO, P. Polyphasic evaluation of key cyanobacteria in biocrusts from the most arid region in Europe. **PeerJ**, v. 7, p. 1-27, 2019.
- ROMERO, A. L. N.; MORATTA, M. A. H.; CARRETERO, E. M.; BELMONTE, M. C. F. & DUPLANCIC, M. A. P. Caracterización microtopográfica e influencia de las costras biológicas en la rugosidad del suelo en el centro-oeste de la Argentina. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 54, p. 533-551, 2019a.
- ROMERO, A. L. N.; MORATTA, M. A. H.; VENTO, B. & RODRIGUEZ, R. A.; CARRETERO, E. E. M. (2019b). **Variations in the coverage of biological soil crusts along a gradient of aridity in the center-west of Argentina**. BioRxiv. Disponível em: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/725986v1.full>. Acesso em: 10 de out. de 2021.
- ROSENRETER, R. & BELNAP, J. Biological soil crusts of North America. *In*: BELNAP, J & LANGE, O. L. (eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**, Berlin: Springer, 2003. p. 31-50.
- ROSENRETER, R.; BOWKER, M. & BELNAP, J. **A field guide to biological soil crusts of western United States drylands**. Denver: United States Government Printing Office, 2007. p. 103.
- ROSENRETER, R.; ELDRIDGE, D. J.; WESTBERG, M.; WILLIAMS, L. & GRUBE, M. Structure, Composition, and Function of Biocrust Lichen Communities. *In*: WEBER, B.; BÜDEL, B.; BELNAP, J. (eds) **Biological Soil Crusts: An Organizing Principle on Drylands**, Springer Switzerland, p. 121-138, 2016.
- ROSSI, F.; MUGNAI, G. & DE PHILIPPIS, R. Complex role of the polymeric matrix in biological soil crusts. **Plant and Soil**, v. 429, p. 19-34, 2018.
- SAMOLOV, E.; BAUMANN, K.; BÜDEL, B.; JUNG, P.; LEINWEBER, P.; MIKAHILYUK, T.; KARSTEN, U. & GLASER, K. Biodiversity of algae and cyanobacteria in biological soil crusts collected along a climatic gradient in Chile using an integrative approach. **Microorganisms**, v. 8, p. 1-28, 2020.
- SANT'ANNA, C. L. & AZEVEDO, M. T. P. Oscillatoriaceae (Cyanophyceae) from São Paulo State, Brazil. **Nova Hedwigia**, v. 60, p. 19-58, 1995.
- SCHLESINGER, W. H.; PIPPEN, J. S.; WALLENSTEIN, M. D.; HOFMOCKEL, K. S.; KLEPEIS, D. M. & MAHALL, B. E. Community composition and photosynthesis by photoautotrophs under quartz pebbles, Southern Mojave Desert. **Ecology**, v. 84, p. 3222-3231, 2003.

- SCHULZ, K.; MIKHAILYUK, T.; DREßLER, M.; LEINWEBER, P. & KARSTEN, U. Biological soil crusts from coastal dunes at the Baltic Sea: cyanobacterial and algal biodiversity and related soil properties. **Microbial Ecology**, v. 71, p. 178-193, 2016.
- SCOTT, G. M. Desert bryophytes. In: SMITH, A. J. E. (ed.). **Bryophyte ecology**, Chapman and Hall London, 1982. 105-122 p.
- SEPEHR, A.; HASSANZADEH, M. & RODRIGUEZ-CABALLERO, E. The protective role of cyanobacteria on soil stability in two aridisols in northeastern Iran. **Geoderma Regional**, v. 15, p. 1-10, 2018.
- SEPPELT, R. D.; DOWNING, A. J.; DEANE-COE, K. K.; ZHANG, Y. & ZHANG, J. Bryophytes Within Biological Soil Crusts. In: WEBER, B.; BÜDEL, B.; BELNAP, J. (eds.). **Biological Soil Crusts: An Organizing Principle on Drylands**, Springer Switzerland, p. 101-120, 2016.
- SHAABAN, A. E. M.; MANSOUR, H. A. & SABER, A. A. Soil algae of El-Farafra Oasis (the Eastern Desert, Egypt), and N<sub>2</sub>-fixation efficiency of five heterocytous cyanophytes. **Egyptian Journal of Botany**, v. 57, p. 517-524, 2017.
- SILVA, J. B.; MACIEL-SILVA, A. S. & DOS SANTOS, N. D. The response of the moss *Campylopus lamellatus* (Leucobryaceae Schimp.) post El Niño: a case study in the Caatinga. **Rodriguésia**, v. 71, p. 1-5, 2020.
- SONG, G.; LI, X. & HUI, R. Effect of biological soil crusts on seed germination and growth of an exotic and two native plant species in an arid ecosystem. **PLoS One**, v. 12, p. 1-16, 2017.
- STATES, J. S. & CHRISTENSEN, M. Fungi associated with biological soil crusts in desert grassland of Utah and Wyoming. **Mycologia**, v. 93, p. 432-439, 2001.
- STEGGLES, E. K.; FACELLI, J. M.; AINSLEY, P. J. & POUND, L. M. Biological soil crust and vascular plant interactions in Western Myall (*Acacia papyrocarpa*) open woodland in South Australia. **Journal of Vegetation Science**, v. 30, p. 756-764, 2019.
- STEVEN, B.; HESSE, C.; GALLEGOS-GRAVES, L. V.; BENLAP, J. & KUSKE, C. R. Fungal diversity in biological soil crusts of the Colorado Plateau. In: Biennial Conference of Research on the Colorado Plateau, 12., 2015, Flagstaff. **Proceedings**. Flagstaff: RALSTON, B. E., 2016. p. 41-47.
- SU, Y.; ZHAO, X.; LI, A.; LI, X. & HUANG, G. Nitrogen fixation in biological soil crusts from the Tengger desert, northern China. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, p. 182-187, 2011.
- SZYJA, M.; MENEZES, A. G. S.; OLIVEIRA, F. D. A.; LEAL, I.; TABARELLI, M.; BÜDEL, B. & WIRTH, R. Neglected but potent dry forest players: ecological role and ecosystem service provision of biological soil crusts in the human-modified Caatinga. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, p. 1-18, 2019.
- THOMAS, A. D. & DOUGILL, A. J. Kalahari sand soils: spatial heterogeneity, biological soil crusts and land degradation. **Land Degradation & Development**, v. 15, p. 233-242, 2004.
- THOMAS, A. D. & DOUGILL, A. J. Distribution and characteristics of cyanobacterial soil crusts in the Molopo Basin, South Africa. **Journal of Arid Environments**, v. 64, p. 270-283, 2006.
- THOMAS, A. D. & DOUGILL, A. J. Spatial and temporal distribution of cyanobacterial soil crusts in the Kalahari: implications for soil surface properties. **Geomorphology**, v. 85, p. 17-29, 2007.
- TIMDAL, E. A revision of *Psora* (Lecidaceae) in North America. **Bryology**, v. 89, p. 253-275, 1986.
- TIRKEY, J. & ADHIKARY, S. P. Blue green algae in the biological soil crusts of different regions of India. **Feddes Repertorium**, v. 117, p. 280-306, 2006.
- TORRES-CRUZ, T. J.; HOWELL, A. J.; REIBOLD, R. H.; MCHUGH, T. A.; EICKHOFF, M. A. & REED, S. C. Species-specific nitrogenase activity in lichen-dominated biological soil crusts from the Colorado Plateau, USA. **Plant and Soil**, v. 429, p. 113-125, 2018.
- TRACY, C. R.; STRETTEN-JOYCE, C.; DALTON, R.; NUSSEAR, K. E.; GIBB, K. S. & CHRISTIAN, K. A. Microclimate and limits to photosynthesis in a diverse community of hypolithic cyanobacteria in northern Australia. **Environmental Microbiology**, v. 12, p. 592-607, 2010.

- TRALLI, M. P. **Diversidade de algas verdes em crostas biológicas de solo do cerrado**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. São José do Rio Preto, p. 65. 2015.
- TÜRK, R & GÄRTNER, G. Biological Soil Crusts of the Subalpine, Alpine, and Nival Areas in the Alps. *In*: BELNAP, J & LANGE, O. L. (eds.). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**, Berlin: Springer, 2003. p. 67-74.
- ULLMANN, I & BÜDEL, B. Biological soil crusts of Africa. *In*: BELNAP, J & LANGE, O. L. (eds.). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**, Berlin: Springer, 2003. p. 108-117.
- VALVERDE, A.; MAKHALANYANE, T. P.; SEELY, M. & COWAN, D. A. Cyanobacteria drive community composition and functionality in rock-soil interface communities. **Molecular Ecology**, v. 24, p. 812-821, 2015.
- VIDELA, M. E. C.; TABOADA, M. L. A. & ARANIBAR, J. N. Diversidad de cianobacterias en costras biológicas de suelo de la ecorregión del Monte Central (Mendoza, Argentina). **Lilloa**, v. 55, p. 30-46, 2018.
- VINOTH, M.; JEEVANANTHAM, G.; MURUGANANTHAM, P.; HUSSAIN, J. M. & AHAMED, A. K. Characterization and estimated diversity of cyanobacteria in biological soil crust in sacred grove forest of Tamil Nadu, India. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, p. 849-857, 2019.
- VINOTH, M.; MURUGANANTHAM, P.; JEEVANANTHAM, G.; HUSSAIN, J. M.; BALAGURU, B. & AHAMED, A. K. Distribution of cyanobacteria in biological soil crusts in Sacred Groves Forest of Ariyalur and Pudukottai Districts, Tamilnadu, India. **Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemistry Sciences**, v. 3, p. 215-241, 2017.
- WANG, J.; ZHANG, P.; BAO, J.; ZHAO, J.; SONG, G.; YANG, H.; HUANG, L.; HE, M. & LI, X. Comparison of cyanobacterial communities in temperate deserts: a cue for artificial inoculation of biological soil crusts. **Science of the Total Environment**, v. 745, p. 1-9, 2020.
- WARREN, S. D.; ROSENRETER, R. & PIETRASIAK, N. Biological soil crusts of the Great Plains: a review. **Rangeland Ecology & Management**, v. 18, p. 1-7, 2020.
- WARREN-RHODES, K. A.; RHODES, K. L.; POINTING, S. B.; EWING, S. A., LACAP, D. C.; GÓMEZ-SILVA, B.; AMUNDSON, R.; FRIEDMANN, E. I. & MCKAY, C. P. Hypolithic cyanobacteria, dry limit of photosynthesis, and microbial ecology in the hyperarid Atacama Desert. **Microbial Ecology**, v. 52, p. 389-398, 2006.
- WEBBER, C. L. **Características e morfologias de crostas biológicas de solo em áreas do sudoeste do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 137. 2016.
- WEBER, B.; BÜDEL, B. & BELNAP, J. (eds.). **Biological Soil Crusts: An Organizing Principle on Drylands**, Springer Switzerland, 2016. 549 p.
- WEBER, B.; GRAF, T. & BASS, M. Ecophysiological analysis of moss-dominated biological soil crusts and their separate components from the Succulent Karoo, South Africa. **Planta**, v. 263, p. 129-139, 2012.
- WEBER, B.; TAMM, A.; MAIER, S. & RODRÍGUEZ-CABALLERO, E. Biological soil crusts of the Succulent Karoo: a review. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 35, p. 335-350, 2018.
- WEBER, B.; WESSELS, D. C. J.; DEUTSCHEWITZ, K.; DOJANI, S.; REICHENBERG, H. & BÜDEL, B. Ecological characterization of soil-inhabiting and hypolithic soil crusts within the Knersvlakte, South Africa. **Ecological Processes**, v. 2, p. 1-13, 2013.
- WIKIPEDIA. **Wikipédia**: a enciclopédia livre, 2021. Projeção de Robinson. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Proje%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Robinson](https://pt.wikipedia.org/wiki/Proje%C3%A7%C3%A3o_de_Robinson). Acesso em: 10 de out. de 2021.
- WILLIAMS, A. J.; BUCK, B. J. & BEYENE, M. A. Biological soil crusts in the Mojave Desert, USA: micromorphology and pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, p. 1685-1695, 2012.
- WILLIAMS, L.; JUNG, P.; ZHENG, L. J.; MAIER, S.; PEER, T.; GRUBE, M.; WEBER, B. & BÜDEL, B. Assessing recovery of biological soil crusts across a latitudinal gradient in Western Europe. **Restoration Ecology**, v. 26, p. 543-554, 2018.

- WILLIAMS, W. J. & BÜDEL, B. Species diversity, biomass and long-term patterns of biological soil crusts with special focus on cyanobacteria of the *Acacia aneura* Mulga Lands of Queensland, Australia. **Algological Studies**, v. 140, p. 23-50, 2012.
- WILLIAMS, W. J.; ELDRIDGE, D. J. & ALCHIN, B. M. Grazing and drought reduce cyanobacterial soil crusts in an Australian *Acacia* woodland. **Journal of Arid Environments**, v. 72, p. 1064-1075, 2008.
- ZHANG, B.; ZHANG, Y.; DOWNING, A. & NIU, Y. Distribution and composition of cyanobacteria and microalgae associated with biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, China. **Arid Land Research and Management**, v. 25, p. 275-293, 2011.
- ZHANG, B.; ZHANG Y.; ZHAO, J.; WU, N.; CHEN, R. & ZHANG, J. Microalgal species variation at different successional stages in biological soil crusts of the Gurbantunggut Desert, Northwestern China. **Biology and Fertility of Soils**, v. 45, p. 539-547, 2009.
- ZHANG, Q.; WANG, Q.; OUYANG, H.; LAN, S. & HU, C. Pyrosequencing reveals significant changes in microbial communities along the ecological successions of biological soil crusts in Tengger Desert of China. **Pedosphere**, v. 28, p. 350-362, 2018.
- ZHANG, Y. & BELNAP, J. Growth responses of five desert plants as influenced by biological soil crusts from a temperate desert, China. **Ecological Research**, v. 30, p. 1037-1045, 2015.
- ZHANG, Y. M.; CAO, T. & PAN, B. R. A study on bryophyte associated with formation of soil crust in south fringe of Gurbantunggut Desert in Xinjiang, China. **Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica**, v. 22, p. 18-23, 2002.
- ZHANG, Y. M.; CHEN, J.; WANG, L.; WANG, X. Q. & GU, Z. H. The spatial distribution patterns of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern Xinjiang, China. **Journal of Arid Environments**, v. 68, p. 599-610, 2007.