

POTENCIAL ECOLÓGICO DAS BIOCROSTAS URBANAS: PROVISÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO SEMIÁRIDO

Gervásio Paulo da Silva¹, Aldineide Santos de Araújo², Fabrício Leite da Silva², Sheila Lima de Moraes², Zaqueu Eduardo Vilas Boas de Oliveira², Ariana Silva Santos³

¹Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Senhor do Bonfim, Brasil (gpsilva@uneb.br)

²Universidade do Estado da Bahia, Senhor do Bonfim, Brasil

³Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Senhor do Bonfim, Brasil (ariana.ssantos@uniasf.edu.br)

Resumo: Biocrostras são consórcios entre organismos fototróficos e heterotróficos que fornecem serviços ecossistêmicos essenciais em terras áridas, como fixação de carbono e nitrogênio. Embora historicamente negligenciadas, seu estudo avançou nas últimas décadas. No Brasil, porém, permanecem subestimadas, e, mesmo globalmente, biocrostras urbanas são pouco investigadas. Essa lacuna de conhecimento e o baixo reconhecimento científico e social representam uma ameaça direta à conservação desses ecossistemas.

Palavras-chave: Crostas biológicas do solo; Ecologia urbana; Bioma Caatinga; Serviços ambientais; Soluções baseadas na natureza.

INTRODUÇÃO

As crostas biológicas do solo (biocrostras) constituem um nicho ecológico singular, resultante de interações complexas entre comunidades microbianas e o ambiente (Gufwan et al., 2025; Kurth et al., 2023). Esses ecossistemas são característicos de terras áridas, que ocupam aproximadamente 40% da superfície terrestre (Bay et al., 2021), podendo recobrir cerca de 12% dessa área em escala global (Gallas; Pavao-Zuckerman, 2022; Iqbal et al., 2025; Li et al., 2025).

As biocrostras são formadas por consórcios de organismos fotoautotróficos, como cianobactérias, algas, líquens e briófitas, associados a microrganismos heterotróficos, como bactérias e fungos (Ding et al., 2023; Hakkoum et al., 2021; Wang et al., 2025). Essa organização confere a esses sistemas elevada relevância funcional, uma vez que desempenham diversos e importantes serviços ecossistêmicos (Liang et al., 2025; Rodríguez-Caballero et al., 2018). Entre esses serviços, destacam-se a promoção da agregação das partículas

do solo (Oliveira; Maciel-Silva, 2022), a redução da erosão hídrica e eólica (Ramsey et al., 2025), o aumento da infiltração de água e a diminuição da evaporação (Zi et al., 2026), e a fixação biológica de carbono e nitrogênio (Hang et al., 2025; Zhou et al., 2024). Ainda, as biocrostras contribuem para a manutenção da biodiversidade ao fornecerem micro-habitats que sustentam comunidades de microfauna (Omari et al., 2022).

Apesar de sua reconhecida importância ecológica, as biocrostras encontram-se sob crescente ameaça decorrente de atividades antrópicas (Finger-Higgins et al., 2022; Liang et al., 2025; Ramsey et al., 2025) e das mudanças climáticas globais (Liu et al., 2024; Qiu et al., 2025). A degradação das terras áridas intensifica a necessidade de estratégias de restauração ambiental, nas quais a reabilitação de biocrostras desponta como abordagem promissora (Zhou et al., 2024). Paralelamente, o desconhecimento por parte da sociedade constitui um fator crítico, uma vez que esses ecossistemas frequentemente passam

despercebidos e seus serviços ecossistêmicos permanecem subvalorizados.

Nas últimas décadas, observa-se um crescimento expressivo no número de estudos sobre biocrostras (Rosentreter; Eldridge, 2025), refletindo o aumento do interesse científico por sua relevância ecológica. Contudo, no Brasil, o estudo desses ecossistemas ainda é bastante negligenciado (Oliveira; Maciel-Silva, 2022) e, mesmo em escala global, as biocrostras em ambientes urbanos são pouco investigadas.

Em áreas urbanas, as biocrostras tornam-se mais evidentes durante períodos chuvosos, quando a umidificação do solo favorece sua atividade metabólica. Nessas condições, podem ser observadas em áreas verdes, como parques, praças, jardins e terrenos baldios. Ainda assim, sua presença raramente é reconhecida pela população. Aspectos funcionais relevantes, como a contribuição para a fertilidade do solo por meio da fixação de nitrogênio por cianobactérias heterocísticas, por exemplo, permanecem pouco explorados pela microbiologia aplicada.

Segundo Bowker et al. (2014), as biocrostras apresentam combinações únicas de características que as tornam úteis como sistemas-modelo para o estudo de teorias ecológicas e princípios gerais, devendo ser mais exploradas em pesquisas de ecologia de comunidades, paisagens e ecossistemas. Assim, este trabalho teve como objetivos identificar e documentar a ocorrência de biocrostras em ambiente urbano no município de Senhor do Bonfim, Bahia, Brasil. Com esse levantamento, busca-se desenvolver material experimental a partir do cultivo de biocrostras, obtendo terrários com a finalidade de subsidiar ações de educação ambiental entre estudantes de escolas do ensino fundamental e médio. Pretende-se, assim, promover a compreensão da ecologia e da importância das biocrostras, contribuindo para o ensino prático de Ciências nas escolas, sua conservação no meio ambiente e reconhecimento das aplicações em práticas de recuperação de áreas degradadas, contribuição para a mitigação das mudanças climáticas e da desertificação, aplicações potenciais na agricultura sustentável e sistemas agroecológicos voltados à fertilização natural dos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Identificação do local de estudo

O estudo foi conduzido no município de Senhor do Bonfim, Bahia, Brasil, localizado no Território Piemonte Norte do Itapicuru, a aproximadamente 430

km da capital, Salvador. A região é caracterizada por clima Tropical Semiárido e pela predominância do bioma Caatinga. O reconhecimento de áreas de ocorrência de biocrostras dentro dos limites da cidade foi feito em áreas verdes, com vegetação esparsa, como praças públicas, canteiros centrais e terrenos baldios. Os tipos de biocrostras foram identificados com base em características visuais e documentados por meio de registros fotográficos.

Amostragem para cultivos *in vitro* de biocrostras

Amostras de biocrostras dominadas por cianobactérias, por briófitas e de composição mista foram coletadas e cultivadas *in vitro* em placas de Petri (100 × 20 mm). Esses cultivos, conduzidos também em materiais alternativos com finalidade didático-extensionista, visam ao desenvolvimento de atividades de educação ambiental voltadas a escolas do ensino básico.

Como substrato, utiliza-se o próprio solo subjacente às biocrostras, sem suplementação nutricional, com o intuito de preservar, tanto quanto possível, as condições originais de solo. A umidade é mantida por meio de borrifação com água destilada, o que favorece a reativação metabólica dos organismos e possibilita sua observação sob condições controladas.

Análises morfológicas das biocrostras foram realizadas em estereomicroscópio e/ou microscópio óptico, com o objetivo de obter fotomicrografias destinadas à elaboração de material didático a ser empregado nas ações de extensão junto às escolas.

Atividades de extensão

Promover o conhecimento sobre as biocrostras junto à sociedade constitui uma etapa essencial para o reconhecimento de sua importância e dos serviços ecossistêmicos que desempenham no ambiente. Dessa forma, serão desenvolvidas ações de extensão em escolas da educação básica utilizando cultivos que simulam os microecossistemas das biocrostras. Esses cultivos serão apresentados aos estudantes para observação com lupas, enquanto seus microrganismos poderão ser visualizados ao microscópio. Além disso, serão produzidos materiais didáticos, incluindo folders e conteúdos para redes sociais, com o objetivo de ampliar a disseminação do conhecimento sobre as biocrostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A degradação ambiental das áreas urbanas tem demandado a transição para modelos de desenvolvimento sustentável, promovendo a reintegração da natureza às cidades como estratégia para melhorar a qualidade de vida. Dessa forma, o conhecimento do solo torna-se fundamental para subsidiar práticas de manejo e projetos que otimizem suas funções ecológicas. Os estudos sobre ecologia e diversidade microbiana do solo são particularmente importantes, pois os microrganismos desempenham papel essencial na provisão de serviços ecossistêmicos que sustentam os sistemas urbanos (Maron; Ranjard, 2024).

Os estudos acerca das crostas biológicas do solo são incipientes no Brasil, e o das biocrostas de ambientes urbanos são praticamente inexistentes em âmbito global. Com essa perspectiva, biocrostas localizadas no perímetro urbano de Senhor do Bonfim foram objeto de avaliação, documentadas por meio de registros fotográficos para utilização em atividades de extensão nas escolas do município. Amostras foram coletadas para o estabelecimento de terrários e cultivos *in vitro* no Laboratório de Microbiologia Ambiental e Aplicada (LMAA) da UNEB. Cultivos foram estabelecidos em placas de Petri e em material alternativo, permitindo a reprodução, de forma prática e portátil, de um ecossistema complexo, conforme preconizado por Faist et al., (2021). Segundo Rodríguez-Caballero et al. (2018), o conhecimento da sociedade sobre os serviços ecossistêmicos prestados pelas biocrostas é reduzido, possivelmente em decorrência da baixa compreensão de seu papel nos processos ecológicos. Como consequência, a conservação desses organismos raramente é percebida como prioritária, reforçando a importância de estratégias de educação ambiental que promovam a valorização dos benefícios ecológicos e sociais associados às biocrostas.

As Figuras 1 a 3 apresentam biocrostas em ambientes urbanos, dominadas por cianobactérias (Figs. 1 e 2) e por briófitas (Fig. 3), evidenciando o quanto estas comunidades estão presentes no ambiente urbano e o potencial de aplicação como modelos educacionais nas escolas. Apesar de perceptíveis, os serviços ecossistêmicos associados às biocrostas permanecem amplamente desconhecidos, inclusive no meio acadêmico. Esse cenário evidencia a insuficiente atenção dedicada a esses microecossistemas. As biocrostas desempenham funções ecológicas fundamentais, como a fixação de carbono e nitrogênio, a regulação da infiltração de água no solo, a promoção da agregação do solo, a redução da emissão de poeira e o incremento da fertilidade.



Figura 1: Biocrostas cianobacterianas (setas) em terreno não edificado, em Senhor do Bonfim, BA. A coloração escura do solo indica a presença de cianobactérias, organismos que contribuem para a estabilização do solo e fornecem outros importantes serviços ecossistêmicos. Esses microrganismos permanecem em estado de dormência durante períodos de seca e reativam o metabolismo após serem umedificados, por exemplo, após eventos de precipitação. Foto: LMAA/Uneb.



Figura 2: Biocrostas cianobacterianas (áreas verde-escuras - seta) desenvolvendo-se sobre solo exposto em um jardim doméstico. A ocorrência dessas comunidades em áreas desprovidas de cobertura vegetal evidencia sua capacidade de colonizar superfícies urbanas e contribuir para a estabilidade e o funcionamento ecológico do solo. Foto: LMAA/Uneb.



Figura 3: Biocrostas dominadas por briófitas no campus da UNEB, em Senhor do Bonfim, BA, com a presença de áreas recobertas por cianocrostas (áreas escuras). Foto: LMAA/Uneb.

O estudo da biodiversidade associada a essas comunidades ainda é bastante negligenciada, especialmente no Nordeste brasileiro, onde permanece pouco caracterizada. Esses ecossistemas podem abrigar espécies novas e organismos com potencial biotecnológico para aplicação em diferentes setores. Assim, o estudo das espécies que constituem as biocrostas é importante em diferentes áreas, desde a educação científica e ambiental, às alterações climáticas, a preservação do meio ambiente e a biotecnologia. Barger et al. (2006) mostraram que a erosão hídrica promove perdas significativas de carbono e de nitrogênio em solos com biocrostas, mas que essas perdas são substancialmente menores em áreas com biocrostas intactas, quando comparadas àquelas submetidas a distúrbios.

Investigações sobre o funcionamento das biocrostas em ambientes urbanos podem revelar seu papel estratégico na manutenção de processos ecológicos essenciais nas cidades. Entre esses processos, destaca-se a ciclagem e a disponibilização de nutrientes para a vegetação presente em áreas verdes urbanas. Por exemplo, a fixação biológica de nitrogênio por cianobactérias heterocísticas e a solubilização microbiana de fosfato constituem mecanismos fundamentais para o aumento da fertilidade do solo, favorecendo o crescimento vegetal e contribuindo para o funcionamento, a estabilidade e a sustentabilidade dos ecossistemas. Entre os serviços ecossistêmicos atribuídos às biocrostas, a fixação do gás carbônico (CO_2), incorpora carbono orgânico ao solo, principalmente na forma de exopolissacarídeos (como mostrado na figura 9A), contribuindo para sustentar comunidades de microrganismos heterotróficos.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados cultivos in vitro de crostas biológicas do solo, dominadas por briófitas e por cianobactérias, respectivamente. A figura 6 mostra um terrário de musgos em material alternativo para desenvolvimento de atividades de extensão em escolas do ensino básico. Segundo Faist et al. (2021), as biocrostas têm despertado crescente interesse entre ecologistas de ambientes áridos e semiáridos, uma vez que atuam como componentes estruturantes das comunidades biológicas, desempenhando funções fundamentais nos processos ecossistêmicos. Além disso, oferecem oportunidades únicas para a investigação de interações biológicas em pequenas e grandes escalas espaciais.

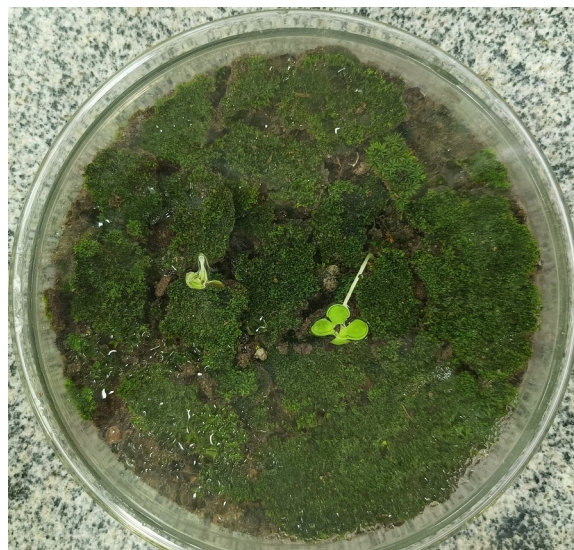


Figura 4: Biocrostas em placas de Petri. As briófitas presentes no cultivo representam um microecossistema portátil de grande potencial para atividades didático-extensionistas. A presença de microfauna pode ser observada quando analisado sob a lupa. Foto: LMAA/Uneb.



Figura 5: Cultivo de cianobactéria formadora de biocrusta diretamente em solo para demonstração de processos ecológicos e microbiológicos em atividades de extensão universitária. Foto: LMAA/Uneb.



Figura 6: Terrário de biocrostas de musgos confeccionado com materiais alternativos, desenvolvido como recurso didático para atividades de extensão e educação ambiental em escolas de educação básica. Foto: LMAA/Uneb.

Essas características conferem às biocrostas um grande potencial como ferramenta pedagógica no ensino de Ciências e educação ambiental. Sua estrutura compacta, diversidade biológica e dinâmica funcional permitem a criação de miniecosistemas portáteis e de fácil manipulação, capazes de reproduzir diversos processos ecológicos em ambientes educacionais. Dessa forma, as biocrostas podem ser utilizadas como recursos didáticos para abordar conteúdos relacionados à biodiversidade, aos diferentes grupos de organismos, às interações bióticas, aos fatores abióticos que regulam os ecossistemas, aos serviços ecossistêmicos e às mudanças globais. Por sua versatilidade e acessibilidade, constituem uma ferramenta valiosa para o ensino e a divulgação científica em diferentes níveis e contextos educacionais (Faist et al., 2021).

Nas figuras 7 e 8 são apresentadas microfotografias de microrganismos dessas biocrostas. A preparação de miniecosistemas, como os mostradas nas Figuras 4 a 6, são excelentes ferramentas de ensino de Ciências. A beleza cênica observada sob lupa constitui um exemplo de serviço ecossistêmico cultural que pode ser explorado pela comunidade científica e escolar em atividades de divulgação e sensibilização sobre a importância das biocrostas. Nesses materiais, é possível a observação de detalhes do ecossistema e de uma microfauna interagindo com

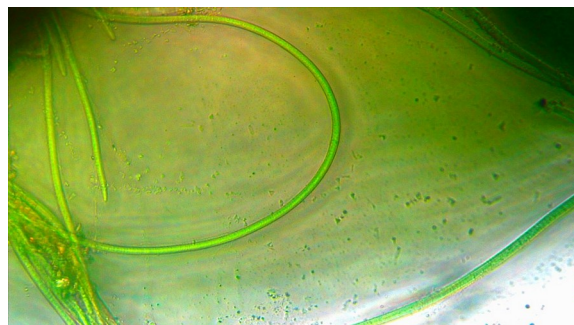


Figura 7: Fotomicrografia de cianobactérias filamentosas associadas à formação de crosta biológica do solo em terreno baldio, obtida a partir de amostra de biocrosta apresentada na Figura 1. Foto: LMAA/Uneb.

as biocrostas, para as quais servem de abrigo e alimento.

A confecção de recurso didático com materiais alternativos (Figura 6) e de fácil obtenção pode permanecer nas escolas após a realização de atividades de extensão, ficando sob os cuidados dos próprios estudantes, que poderão acompanhar o desenvolvimento dessas. Essa abordagem promove o engajamento contínuo dos alunos com a temática ambiental, de forma lúdica, estimulando a observação e a reflexão crítica sobre os impactos das ações antrópicas nos ecossistemas. Além disso, contribui para a compreensão de medidas e práticas que podem ser adotadas para minimizar ou mitigar os impactos negativos sobre o meio ambiente.

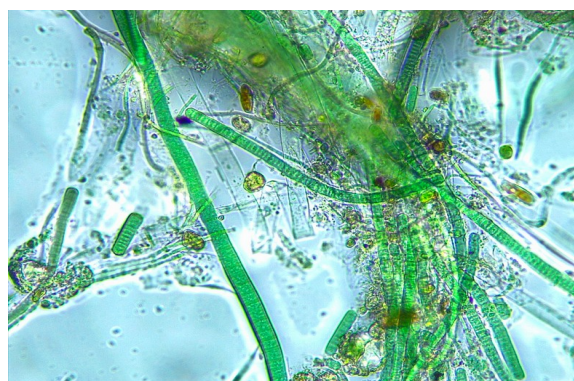


Figura 8: Fotomicrografia de comunidades fotoautotróficas oriundas de crostas biológicas do solo cultivadas em placas de Petri utilizando o solo subjacente como substrato. Foto: LMAA/Uneb.

As atividades de extensão em escolas alcançam um público discente abrangente e, consequentemente, promovem a difusão do conhecimento científico, a valorização dos serviços ecossistêmicos prestados pelas biocrostras e o fortalecimento da educação ambiental no contexto do clima semiárido.

A Figura 9 apresenta o desenvolvimento de biocrostras em placas de Petri, estabelecidas a partir de amostras de crostas biológicas do solo mostradas na Figura 1 e cultivadas utilizando exclusivamente solo como substrato, sem adição de nutrientes. Sob estereomicroscópio (Figura 9A), observa-se uma matriz gelatinosa verde oliva (seta b) e verde escuro (seta c). Respectivamente, microrganismos presentes nessas matrizes podem ser observados nas Figuras 9B e 9C, evidenciando uma pequena parte da diversidade microbiana associada às biocrostras. As cianobactérias apresentadas na figura 9C pertencem provavelmente a ordem Nostocales, onde são observados importantes fixadores de nitrogênio.

Um aspecto central em abordar biocrostras em contextos urbanos no ambiente escolar reside na sua função como modelo didático próximo e acessível para a compreensão de processos ecológicos característicos de ambientes áridos. Ao possibilitar a observação direta dessas comunidades em áreas verdes urbanas, como parques, praças e terrenos baldios com solo exposto, favorece a compreensão de sua estrutura, composição biológica e dinâmica ecológica, permitindo que conceitos relacionados ao funcionamento dos ecossistemas sejam explorados de maneira concreta e contextualizada.

A observação local facilita a capacidade de extrapolação conceitual para ambientes menos antropizados, contribuindo para uma compreensão mais ampla dos serviços ecossistêmicos desempenhados pelas biocrostras na natureza, tais como a agregação e estabilização do solo, a ciclagem de nutrientes, a retenção de umidade, a fixação biológica de nitrogênio e a conservação da biodiversidade microbiana.

O reconhecimento das biocrostras em ambientes urbanos pode fortalecer a educação científica e promover uma percepção mais crítica sobre a relevância dessas comunidades para a manutenção da funcionalidade dos ecossistemas de terras secas, tanto em áreas urbanas quanto em ambientes naturais. Consequentemente, o aumento da visibilidade e do reconhecimento social das biocrostras tende a favorecer a construção de valores e atitudes voltados à sua conservação, contribuindo para a proteção desses componentes da paisagem frequentemente negligenciados e para a valorização dos ecossistemas semiáridos em diferentes escalas espaciais.

As crostas biológicas do solo apenas recentemente passaram a receber a devida atenção da comunidade científica em escala global; no entanto, no Brasil, ainda permanecem pouco estudadas.

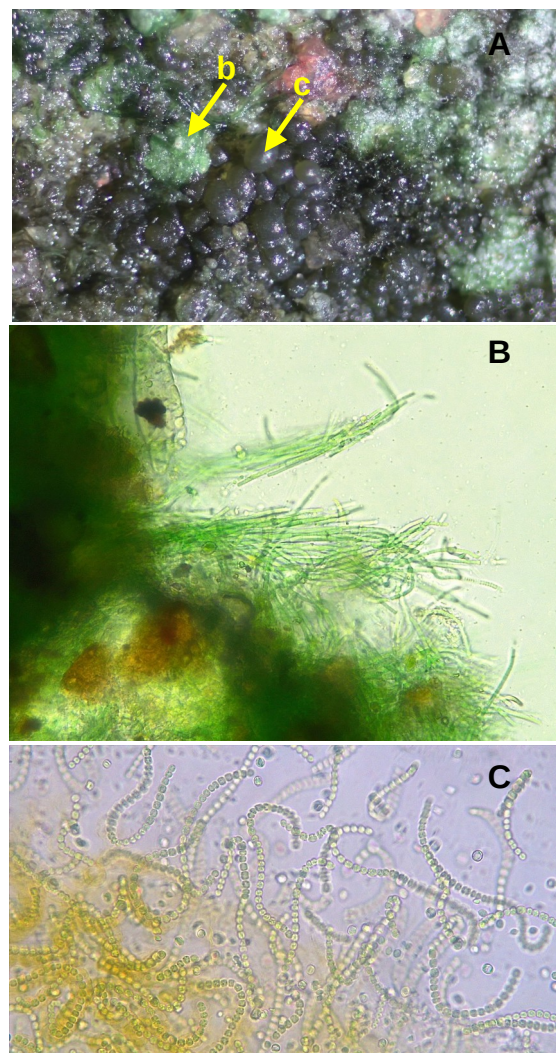


Figura 9: Microrganismos de biocrostras cultivados em placa de Petri a partir de amostras de solo provenientes do terreno baldio apresentado na figura 1. (A) observação de matriz gelatinosa sob estereomicroscópio. Em (B) e (C), observa-se microrganismos envolvidos pela matriz gelatinosa b e c, respectivamente. Foto: LMAA/Uneb.

CONCLUSÃO

Apesar do aumento no número de pesquisas, ecossistemas formados por crostas biológicas do solo continuam sendo pouco reconhecidos, ou mesmo negligenciados em ambientes urbanos, onde ocorrem em áreas verdes como parques, praças, jardins domésticos, canteiros centrais de rodovias e em terrenos baldios.

Investigar as biocrostas urbanas pode revelar serviços ecossistêmicos relevantes, como a melhoria da fertilidade do solo em cenários de baixa ciclagem natural. Em praças públicas, onde o manejo da limpeza urbana remove rotineiramente os resíduos vegetais, essas comunidades biológicas podem ser importantes mediadoras da nutrição vegetal ao contribuir para o acúmulo de matéria orgânica no solo e fixar o nitrogênio atmosférico.

O desenvolvimento de atividades de educação científica e ambiental constitui uma estratégia fundamental para dar visibilidade a essas formações, que se encontram ameaçadas pelas mudanças globais, pelas atividades antropogênicas e pela expansão urbana. O reconhecimento social das biocrostas pode representar uma importante porta de entrada para a compreensão de sua relevância ecológica nos ecossistemas de terras secas, como o semiárido brasileiro e, consequentemente, a caatinga, seu principal bioma, contribuindo para a valorização e conservação dessas comunidades.

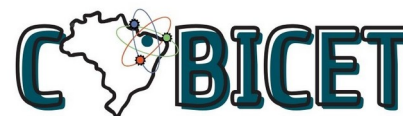
Pesquisas futuras devem enfatizar a identificação taxonômica e funcional dos microrganismos associados às biocrostas urbanas. Compreender suas funções ecológicas e os serviços ecossistêmicos que desempenham poderá contribuir para a manutenção da qualidade ambiental e da sustentabilidade dos ecossistemas urbanos. Investigações com essa abordagem estão sendo planejadas pelo grupo de pesquisa, visando ampliar o conhecimento sobre a diversidade microbiana e o papel ecológico dessas comunidades em ambientes urbanos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, pelo financiamento (editais universais. Projeto Bioma Caatinga como fonte de microrganismos para aplicações biotecnológicas, APP0001/2023).

REFERÊNCIAS

- BARGER, Nichole N. *et al.* Impacts of biological soil crust disturbance and composition on C and N loss from water erosion. **Biogeochemistry**, v. 77, n. 2, p. 247–263, fev. 2006.
- BAY, Sean K. *et al.* Chemosynthetic and photosynthetic bacteria contribute differentially to primary production across a steep desert aridity gradient. **The ISME Journal**, v. 15, n. 11, p. 3339–3356, 1 nov. 2021.
- BOWKER, Matthew A. *et al.* Biological soil crusts (biocrusts) as a model system in community, landscape and ecosystem ecology. **Biodiversity and Conservation**, v. 23, n. 7, p. 1619–1637, jun. 2014.
- DING, Yuang *et al.* Habitat-specific environmental factors regulate the spatial variability of biological soil crust microbial communities on the Qinghai-Tibet Plateau. **Science of the Total Environment**, v. 901, p. 165937, 25 nov. 2023.
- FAIST, Akasha M. *et al.* Broader impacts for ecologists: biological soil crust as a model system for education. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 577922, 5 jan. 2021.
- FINGER-HIGGINS, Rebecca *et al.* Decline in biological soil crust N-fixing lichens linked to increasing summertime temperatures. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, n. 16, p. e2120975119, 19 abr. 2022.
- GALLAS, Genna; PAVAO-ZUCKERMAN, Mitchell. Spatial cover and carbon fluxes of urbanized Sonoran Desert biological soil crusts. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 5794, 6 abr. 2022.
- GUFWAN, Longkat Ayuba *et al.* Biocrust ecology and functionality for regenerative agriculture: a review of the opportunities and challenges facing microbial agroecosystem restoration. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 71, n. 1, p. 1–28, 31 dez. 2025.
- HAKKOU, Z. *et al.* Impact of human disturbances on soil cyanobacteria diversity and distribution in suburban arid area of Marrakesh, Morocco. **Ecological Processes**, v. 10, n. 1, p. 42, 15 jun. 2021.
- HANG, Wei *et al.* Effects of simulated nitrogen deposition on microbial dynamics: Altered nitrogen fixation and ammonia oxidation in biological soil crusts. **Journal of Environmental Management**, v. 380, p. 125141, abr. 2025.



IQBAL, Sajid *et al.* The invisible architects: microbial communities and their transformative role in soil health and global climate changes. **Environmental Microbiome**, v. 20, n. 1, p. 36, 25 mar. 2025.

KURTH, Julia Katharina *et al.* Biological soil crusts on agricultural soils of mesic regions promote microbial cross-kingdom co-occurrences and nutrient retention. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1169958, 14 jul. 2023.

LI, Yulong *et al.* Biogeographical patterns of antibiotic resistomes in soil biocrusts from urban green spaces at the continental scale. **Applied Soil Ecology**, v. 212, p. 106150, 1 ago. 2025.

LIANG, Hongping *et al.* Chromosome-level genomes of two Bracteacoccaceae highlight adaptations to biocrusts. **Nature Communications**, v. 16, n. 1, p. 1492, 10 fev. 2025.

LIU, Ning *et al.* Future climate change will reduce the potential distributions of biocrusts: A case study on the Loess Plateau of China. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 10, p. 0261, 5 nov. 2024.

MARON, Pierre-Alain; RANJARD, Lionel. Sols urbains et biodiversité microbienne. **médecine/sciences**, v. 40, n. 11, p. 858–863, nov. 2024.

OLIVEIRA, Mateus Fernandes; MACIEL-SILVA, Adaisés Simone. Biological soil crusts and how they might colonize other worlds: insights from these Brazilian ecosystem engineers. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 13, p. 4362–4379, 16 jul. 2022.

OMARI, Haneen *et al.* A spatiotemporal framework reveals contrasting factors shape biocrust microbial and microfaunal communities in the Chihuahuan Desert. **Geoderma**, v. 405, p. 115409, jan. 2022.

QIU, Dexun *et al.* Climate change could shift the geographical distribution of biocrusts in the Qaidam Basin. **Journal of Applied Ecology**, v. 62, n. 7, p. 1752–1763, 2025.

RAMSEY, Marieke L. *et al.* Proposed relationships between climate, biological soil crusts, human health, and in arid ecosystems. **GeoHealth**, v. 9, n. 1, p. e2024GH001217, 2025.

RODRÍGUEZ-CABALLERO, Emilio *et al.* Ecosystem services provided by biocrusts: From ecosystem functions to social values. **Journal of Arid Environments**, Ecosystem Services in dryland systems of the world. v. 159, p. 45–53, 1 dez. 2018.

ROSENTERTER, Roger; ELDRIDGE, David J. Biocrust research in North America with a focus on drylands: history, insights and opportunities. **Cambridge Prisms: Drylands**, v. 2, p. e6, 2025.

WANG, Yanfeng *et al.* Biocrusts regulate the seasonal dynamics of soil nematode diversity in a semiarid ecosystem. **Geoderma**, v. 461, p. 117490, set. 2025.

ZHOU, Xiangjun *et al.* Co-inoculation of fungi and desert cyanobacteria facilitates biological soil crust formation and soil fertility. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1377732, 8 abr. 2024.

ZI, Ruyi *et al.* Mosses and cyanobacteria increased soil moisture and alleviated soil dehydration caused by dry-wet alternation in subtropical humid region. **CATENA**, v. 264, p. 109792, 1 mar. 2026.