



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 12 • 2023 • art. 4

Da Herança Industrial à Educação Ambiental: O património da cidade do Barreiro como recurso educativo no estudo da biorremediação

A biorremediação surge como uma estratégia promissora para lidar com a contaminação ambiental, utilizando organismos vivos ou as suas enzimas, para degradar os poluentes, eliminando ou diminuindo a sua toxicidade no ambiente. A aprendizagem dos conceitos de biorremediação assume um maior significado quando aplicada em contextos locais, proporcionando experiências de aprendizagem significativas e reais. Ao utilizar o património da cidade do Barreiro como recurso educativo, os estudantes adquiriram experiências de aprendizagem do mundo real, envolvendo-se ativamente com os desafios ambientais únicos desta cidade. A metodologia de investigação dos microrganismos presentes no meio, colocou os estudantes no centro do processo de aprendizagem, sendo eles os responsáveis por selecionar os locais de amostragem, determinar os poluentes, estabelecer a hipótese do estudo e definir a metodologia experimental. Esta estratégia permitiu que os estudantes compreendessem as etapas do método científico. Em todos os locais selecionados, foram identificados microrganismos, observando-se uma redução no número de unidades formadoras de colónias nas zonas potencialmente contaminadas. A abordagem educativa não só melhorou a compreensão dos princípios da biorremediação, como também promoveu um sentido de responsabilidade e inovação na resolução de problemas ambientais locais. O trabalho apresentado, embora realizado por estudantes do ensino superior, possui um potencial significativo para ser replicado em estudos ambientais em diversos níveis de ensino. Isto deve-se à sua abordagem acessível e à capacidade de proporcionar uma compreensão clara da diminuição da diversidade em ambientes sujeitos a uma maior influência de atividades humanas.

Palavras-chave

Barreiro
biorremediação natural
estudo de campo
microrganismos hidrocarbonoclasticos

Ana Cláudia de Sousa Coelho^{1*}

Fátima Nunes Serralha¹

¹ Instituto Politécnico de Setúbal, Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, Lavradio, Setúbal

*claudia.coelho@estbarreiro.ips.pt

ISSN 1647-323X

Artigo em acesso aberto sob [licença CC-BY](#)

© 2021 Autores

INTRODUÇÃO

O Barreiro, município do distrito de Setúbal em Portugal, foi um importante polo industrial no século XX, com destaque para a Companhia União Fabril (CUF), fundada por Alfredo da Silva em 1908, abrangendo sectores como a química, os têxteis, o cimento, a metalurgia, entre outros. O grande desenvolvimento industrial da cidade atraiu uma grande população de trabalhadores, que se estabeleceram na região, formando uma comunidade diversa e vibrante (Almeida, 1994).

Durante muitos anos, a atividade industrial no Barreiro contribuiu para o crescimento económico da região, tendo o encerramento do complexo industrial da CUF nos anos 80 marcado o fim da era industrial no Barreiro. Mas a par dos benefícios económicos e sociais, também existiu um impacto negativo no meio ambiente e na saúde da população. A produção de resíduos químicos, a contaminação do solo e da água e a emissão de gases poluentes foram alguns dos problemas associados à intensa atividade industrial (Medeiros, 2018; Vendas et al., 2008).

Ao longo dos últimos anos, várias medidas têm sido tomadas para minimizar estes impactos negativos da indústria na região. Atualmente a cidade tem procurado desenvolver uma economia mais sustentável, com a diversificação da atividade económica e a promoção de projetos relacionados à economia circular e à produção limpa. Estas medidas visam promover um desenvolvimento mais sustentável para a região e promover a sua requalificação (Medeiros, 2018; Valente, 2015).

Alinhada com estas preocupações surge a biorremediação, uma abordagem sustentável para remediar ambientes contaminados, utilizando organismos vivos e processos naturais para degradar os poluentes, transformando-os em compostos inofensivos para o meio ambiente (Nariyal et al., 2020; Silva et al., 2020; Singh et al., 2018). É uma estratégia muito promissora para lidar com a contaminação ambiental, trazendo benefícios para todo o ecossistema, sendo também uma alternativa economicamente mais sustentável do que os métodos tradicionais de remediação.

A relação entre perturbações ambientais e a promoção da educação para o desenvolvimento sustentável (EDS) e a educação ambiental (EA) é um tema pertinente na atualidade. A perturbação ambiental, como as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade, exige uma compreensão sólida e uma ação adequada. A ciência desempenha um papel crucial na análise desses problemas e na procura de soluções. As abordagens educacionais que visam conscientizar, desenvolver competências e motivar a ação ambiental permitem a interconexão entre sistemas naturais e sociais e promovem atitudes pró-ambientais (Braßler & Schultze, 2021; Moreira & Santos, 2020). A eficácia da aprendizagem relacionada com questões ambientais locais tem sido documentada em vários estudos, os quais indicam que este processo de aprendizagem pode transformar o desinteresse inicial causado pelo receio de problemas ecológicos e por uma sensação de autoeficácia limitada em comportamentos pró-ambientais, aumentando a sensibilização para questões ambientais (Schneller et al., 2022; Delia & Krasny, 2017).

Devido ao seu histórico industrial, o Barreiro surge como um local de grande interesse para os estudos de biorremediação, fornecendo um contexto prático e real para aprendizagens efetivas e fortalecendo a conexão entre o município e as instituições de ensino. A Escola Superior de Tecnologia do Barreiro (ESTBarreiro) é uma instituição de ensino superior que integra o Instituto Politécnico de Setúbal (IPS). Como o nome indica, a escola localiza-se no Barreiro onde tem um papel importante na interação com a

comunidade local, procurando criar uma relação de colaboração mútua entre a instituição e as organizações, empresas e entidades da região, bem com a população. A utilização do património do Barreiro como um recurso para a aprendizagem em biorremediação, é uma dessas iniciativas que estabelece uma relação entre o município e a ESTBarreiro, onde ambas as partes se beneficiam mutuamente. Os estudantes adquirem uma visão mais ampla e integrada das questões sociais, económicas e ambientais enfrentadas pela comunidade local, assim como a oportunidade de desenvolver competências específicas sobre os bioprocessos associados à descontaminação natural de ambientes potencialmente poluídos e competências gerais de comunicação, colaboração e espírito crítico tão importantes para a vida profissional. Por outro lado, a presença de estudantes traz benefícios significativos para o município, como o fomento à inovação e ao empreendedorismo, contribuindo para a solução de problemas locais.

No sentido de contribuir para estabelecer esta profícua ponte e promover os estudos de biorremediação no município do Barreiro os estudantes da Unidade Curricular de Biocatálise e Biorremediação do Mestrado em Engenharia Biológica e Química foram desafiados a cocriar uma abordagem de estudo de biorremediação focada na realidade do município e nas necessidades da comunidade local ou as espécies que habitam o local, e deste modo desenvolver soluções de biorremediação que atendam a essas necessidades de forma eficaz.

METODOLOGIA

Em observância às questões éticas, não são partilhados dados pessoais dos estudantes, não obstante os envolvidos concederam o seu consentimento informado para a utilização dos resultados deste estudo. A Câmara Municipal do Barreiro tem conhecimento deste estudo, tendo manifestado um parecer favorável e demonstrado apoio na promoção de sinergias.

A atividade consistiu na realização de uma investigação sobre os microrganismos envolvidos na descontaminação natural de solos em áreas potencialmente poluídas na localidade do Barreiro. Depois de serem sensibilizados para as atividades humanas, passadas e atuais, que podem contribuir para o aumento da carga poluente do solo, os 12 estudantes, organizados em grupos de 4 elementos, foram desafiados a desenvolver uma abordagem prática para construir e aprofundar a sua compreensão da biorremediação natural. A metodologia consistiu em cinco etapas que se encontram detalhadas na Figura 1.

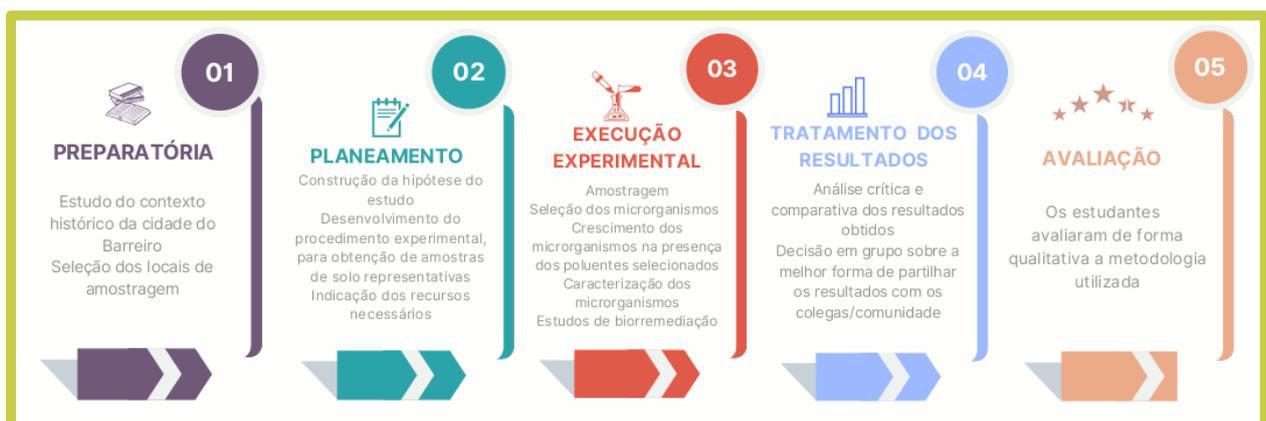


FIGURA 1: Indicação e descrição das etapas associadas ao estudo da biorremediação na cidade do Barreiro.

Os estudantes foram acompanhados por aulas tutoriais, desde o início da fase preparatória onde se certificou a compreensão do objetivo, da relevância e da metodologia do estudo, até à fase da avaliação onde foram debatidas as ideias sobre o impacto desta metodologia no processo de aquisição de novas aprendizagens. A etapa de execução experimental foi realizada nas aulas laboratoriais de Biocatálise e Biorremediação onde se utilizaram métodos correntes, tais como, o crescimento microbiano em meio líquido e em meio sólido, a caracterização morfológica por observação microscópica, coloração Gram e caracterização bioquímica de microrganismos realizando o teste da oxidase.

Em cada local proposto pelos diferentes grupos de trabalho, foram recolhidas 10 subamostras de solo, a 20 cm de profundidade e utilizando a técnica do zigzag. As subamostras de solo foram posteriormente misturadas e homogeneizadas para obter uma única amostra composta que se pretende ser representativa do local da amostragem. Cada grupo selecionou um local controlo, onde não se previa risco de contaminação do solo e outro local potencialmente contaminado. Os locais de amostragem dos diferentes grupos encontram-se na Tabela I.

TABELA I: Grupos de trabalho identificados de A a C com os respetivos locais selecionados como controlo e como sendo potencialmente contaminados, indicando as coordenadas GPS.

Grupo	Local Controlo	Local potencialmente contaminado
A	Mata da Machada (38°37'00.1" N; 9°02'49.06" W)	Terminal Fluvial (38° 39' 10,584" N; 9° 04' 45,336" W)
B	Praia da Alburrica (38°39'26"N; 9°05'18"W)	Quimiparque (38°39'54,65" N; 09°03'55,65 W)
C	Parque da Cidade do Barreiro (38° 38' 54.553" N; 9° 3' 30.744" W)	Quimiparque (38° 40' 15.168" N; 9° 3' 47.826" W)

O crescimento bacteriano foi realizado em meio Lúria-Bertani, vulgo meio LB, que fornece um ambiente nutricionalmente rico e favorável e permitiu comparar o número de colónias cultiváveis, presentes nas amostras de solo obtidas nos locais controlo com as obtidas nos locais potencialmente contaminados. Já a seleção dos microrganismos hidrocarbonoclásticos foi realizada promovendo o crescimento de bactérias em meio Bushnell Haas, meio BH, que contém todos os nutrientes exceto a fonte de carbono essencial para o crescimento microbiano. O crescimento de microrganismos em meio BH contendo um hidrocarboneto derivado do petróleo indica que se trata de um organismo hidrocarbonoclástico capaz de metabolizar esta fonte de carbono. As etapas associadas à seleção e caracterização dos microrganismos cultiváveis encontram-se na Figura 2.

Os diferentes morfotipos foram identificados de acordo com as suas características como tamanho, cor, elevação, forma, margem. Estas características morfológicas incluem ainda a forma da célula, a sua disposição (agrupamentos ou padrões de crescimento), a presença de estruturas externas como flagelos ou pili. Como a morfologia é influenciada pelo tipo de meio e condições de crescimento, foi necessário realizar vários ensaios para garantir uma concentração adequada da amostra, uma vez que é necessário que as colónias estejam bem separadas (Badieyan et al., 2018). Apenas foram consideradas as colónias que surgiram em pelo menos 3 dos 5 replicados efetuados.

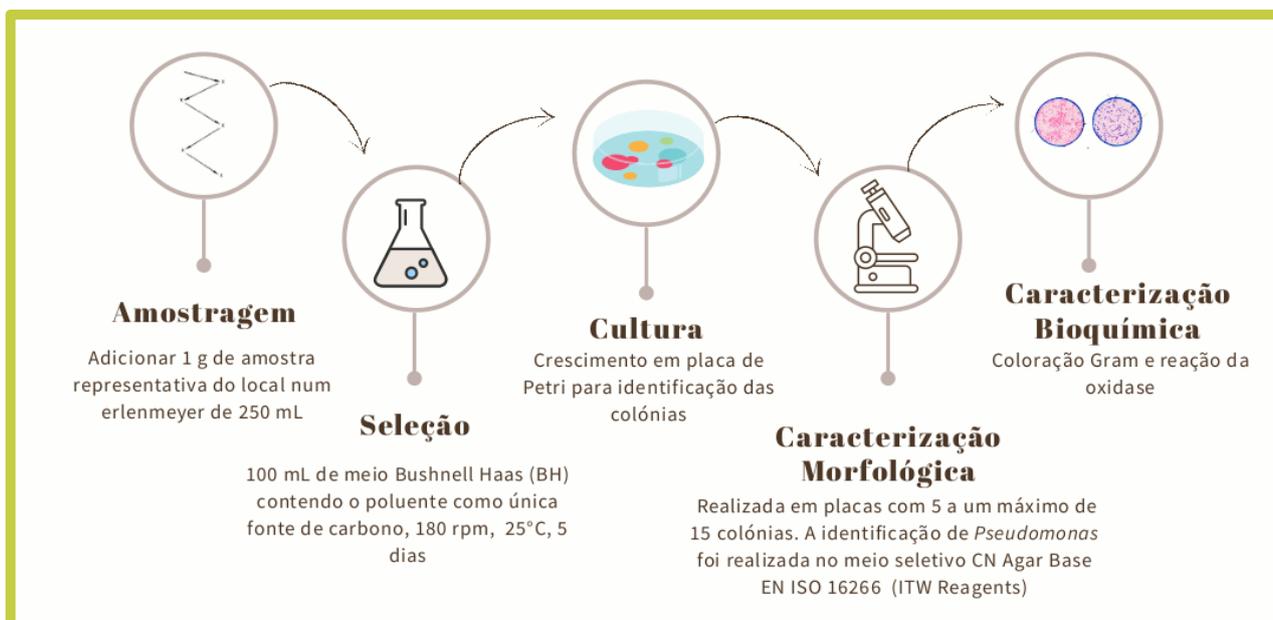


FIGURA 2: Etapas experimentais que conduziram à seleção e caracterização dos microrganismos hidrocarbonoclasticos cultiváveis.

No final do estudo, cada grupo apresentou as suas principais descobertas, propostas de melhoria e soluções numa aula aberta à comunidade e elaboraram um relatório final. Os estudantes avaliaram qualitativamente a metodologia aplicada neste estudo, utilizando um código de gestos manuais (Arneiros et al., 2022):

Polegar - "Concordo" para indicar algo que foi particularmente apreciado;

Indicador - "Apontar" para destacar aspetos específicos;

Médio - "Melhorar" para sugerir áreas de melhoria;

Anelar - "Compromisso" para indicar algo com o qual os estudantes se identificaram fortemente;

Mindinho - "Outros" para indicar quaisquer comentários ou observações adicionais.

RESULTADOS

Os morfotipos bacterianos indicam um grupo específico de bactérias que partilham características visuais semelhantes em termos de forma e estrutura, e permite a identificação e classificação preliminar destes microrganismos. No entanto, a identificação precisa de cada espécie necessitava de uma análise do seu genoma, razão pela qual os resultados apresentados na Figura 3 indicam o número de diferentes morfotipos bacterianos identificados em cada local.

A análise dos resultados ilustrados na Figura 3 conduziu à conclusão de que a diversidade de microrganismos cultiváveis é menor nos ambientes que foram identificados como potencialmente contaminados. Além disso, essa diversidade diminui consistentemente quando a amostra é cultivada em meio BH, utilizando a gasolina como única fonte de carbono, em comparação com os resultados obtidos em meio LB.

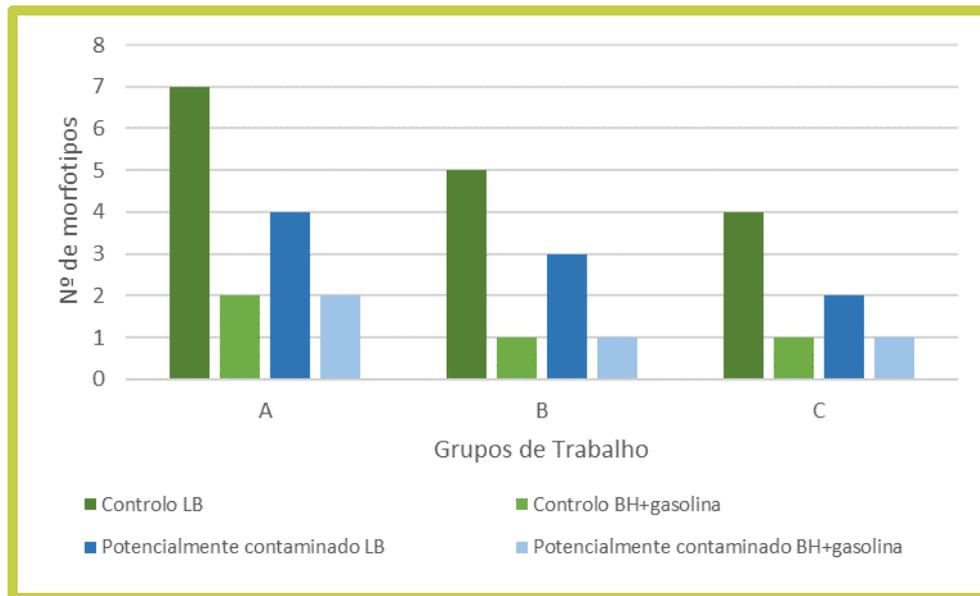


FIGURA 3: Número de morfotipos dos microrganismos cultiváveis nos dois meios LB e BH + gasolina, obtidos pelos três grupos de trabalhos nos locais estudados.

O menor número de colónias bacterianas pode sugerir que o solo nos locais considerados potencialmente contaminados se tornou menos propício ao crescimento microbiano diverso. A predominância de apenas duas a uma colónia bacteriana, nos meios de cultura com meio BH e gasolina indica a prevalência de organismos hidrocarbonoclásticos específicos, adaptados a sobreviver nestas condições alteradas.

Os microrganismos que prosperaram no meio BH+gasolina demonstraram ser membros do género *Pseudomonas*. Estas bactérias, de natureza Gram negativa, têm a capacidade de crescer no meio seletivo CN Agar Base (conforme norma EN ISO 16266) e apresentam um teste positivo para a enzima oxidase. O género *Pseudomonas* é reconhecido pela sua versatilidade e ampla distribuição em diversos habitats, desde ambientes terrestres até aquáticos. A sua habilidade de metabolizar uma variedade de substratos, incluindo hidrocarbonetos, como os encontrados na gasolina, realça o seu papel notável na degradação de compostos poluentes.

A utilização do código de gestos manuais ofereceu uma abordagem interativa e visual para a avaliação da metodologia. Cada gesto apresentou um significado claro e distintivo, facilitando a comunicação das opiniões dos estudantes de forma rápida e direta. Os resultados desta avaliação encontram-se na Figura 4.

A avaliação da metodologia reforçou a importância das aprendizagens ativas, com 70% dos estudantes a concordar com o trabalho de campo como uma estratégia a seguir e apontarem o desafio apresentado como sendo muito motivador. A colaboração no trabalho, o convívio e a pertinência da aprendizagem em relação à realidade foram também aspetos destacados de forma positiva. Destaca-se o compromisso com o observar mais para compreender os fenómenos que acontecem à nossa volta. Como oportunidade de melhoria, surgiu a sugestão de ajustar o tempo disponível para a realização deste estudo.

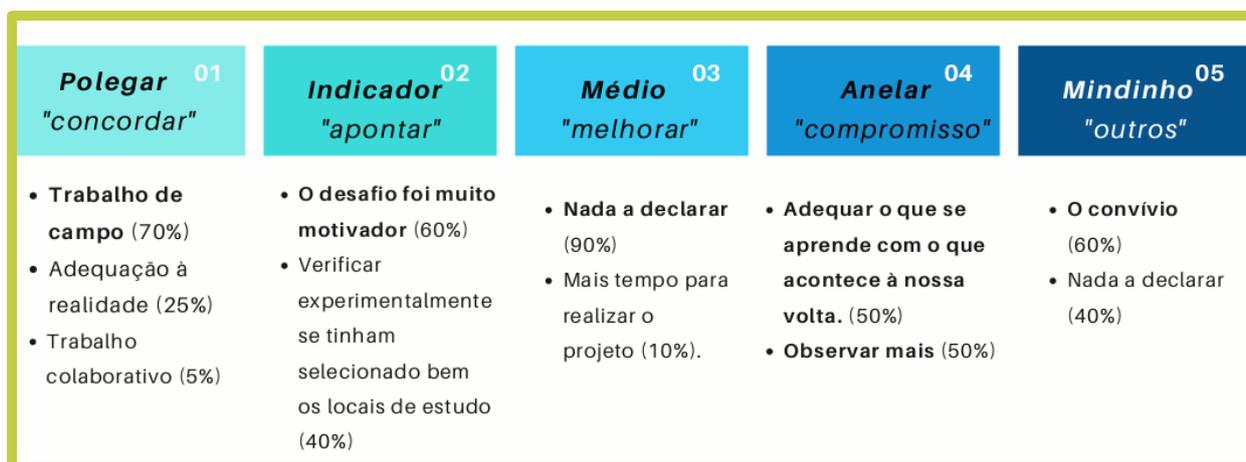


FIGURA 4: Resultados da avaliação qualitativa da metodologia aplicada com base no código atribuído a cada dedo da mão.

DISCUSSÃO

A avaliação dos diferentes aspetos visuais das colónias bacterianas proporcionou uma compreensão geral da diversidade bacteriana que pode prosperar num meio de cultura específico. No entanto, é fundamental salientar que esta abordagem não permite identificar com precisão as bactérias, principalmente até ao nível da espécie. Neste estudo, a utilização do mesmo procedimento experimental possibilitou a comparação dos resultados, destacando uma redução no número de morfotipos que conseguiram crescer em diferentes amostras de solo.

Além disso, a comparação dos resultados obtidos em meios de cultura completos com aqueles obtidos em meios seletivos contendo gasolina, permitiu avaliar a presença de microrganismos capazes de degradar hidrocarbonetos, pertencentes ao género *Pseudomonas*. A diminuição no número de colónias bacterianas em locais potencialmente contaminados e em meios contendo gasolina como única fonte de carbono, sugere que esse ambiente é menos propício ao crescimento de uma variedade de microrganismos, o que pode ser um indicativo importante para a análise do ecossistema.

A avaliação, por parte dos estudantes, da metodologia utilizada, com base em gestos manuais, realçou a importância das aprendizagens ativas, com a maioria dos estudantes a indicar o trabalho de campo como motivador. A colaboração, pertinência da aprendizagem e a ligação com a realidade também foram destacadas. A principal sugestão de melhoria foi o ajuste do tempo disponível para o estudo.

CONCLUSÃO

As condições ambientais têm um impacto significativo na composição e diversidade dos microrganismos presentes nos ecossistemas. A exposição a poluentes pode resultar em pressões seletivas que favorecem determinados tipos de microrganismos capazes de tolerar ou degradar os poluentes específicos. Este processo pode levar à supressão de outros microrganismos e à redução da diversidade.

Por outro lado, ambientes mais preservados fornecem condições propícias para uma maior diversidade microbiana. A vegetação, o solo e outros fatores do ambiente podem criar nichos ecológicos diversos que

suportam uma variedade de microrganismos. Além disso, o enfoque na educação ambiental pode levar a práticas mais conscientes e sustentáveis, contribuindo para a manutenção de ecossistemas mais saudáveis e diversificados.

A metodologia aplicada permitiu que os estudantes se envolvessem ativamente na sua aprendizagem, tornando-se protagonistas da investigação, e promoveu a aquisição de competências práticas, a colaboração entre os estudantes e a aplicação dos conhecimentos adquiridos teoricamente a situações reais.

A implementação do estudo na Unidade Curricular de Biocatálise e Biorremediação do Mestrado em Engenharia Biológica e Química da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal permitiu uma abordagem inovadora e eficaz para o ensino e aprendizagem, proporcionando aos estudantes uma experiência de aprendizagem prática e significativa, bem como a oportunidade de desenvolver competências críticas essenciais. A sua adaptação para outros contextos educacionais não apenas facilitaria a compreensão dos conceitos chave relacionados à influência humana nos ecossistemas, mas também forneceria uma oportunidade prática para os estudantes explorarem a interação entre a biodiversidade e as ações humanas indo de encontro ao preconizado pelos EDS.



APLICAÇÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

A compreensão aprofundada das interações entre microrganismos e ambiente pode informar abordagens de biorremediação, auxiliando na recuperação de ecossistemas afetados por poluição e degradação.

No âmbito da educação, este estudo pode ser integrado em currículos de ciências naturais e ambientais, oferecendo aos estudantes uma visão prática das complexas relações entre organismos microscópicos e o meio ambiente. Isso pode inspirar futuros cientistas e tomadores de decisão a adotar práticas sustentáveis e responsáveis.

Perspetivas futuras incluem a expansão deste estudo para uma escala mais ampla, abrangendo diversos tipos de ecossistemas e diferentes fontes de poluição. A investigação contínua poderá também explorar a potencialidade de aplicações biotecnológicas baseadas nos microrganismos identificados, como a produção de enzimas degradadoras de poluentes ou a utilização de microrganismos como bioindicadores da qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida AN (1994). Industry, family, and class- The working-class community in Barreiro. *Journal of Family History* 19 (3):197-212.

Arneiros RG, Pititto G, Pires AM, Sousa AC, Barreiros MC, Ferverza AR, Martínez AF, Pirrello F, Vannini IE, Giusti M, Hazen S & Spaic K (2022). *Creative European Methodology (Intellectual Output 1 - GUIDE)* Editor: E.I.A., SA – Ensino, Investigação e Administração (AM Pires & AC Sousa). 1st Edition; ISBN: 978-972-97787-8-0. CEM– Creative European Methodology (Project reference: 2020-1-NL01-KA227-ADU- 083118); 54pp (E-book).

Badieyan S, Dilmaghani-Marand A, Hajipour MJ, Ameri A, Razzaghi MR, Rafii-Tabar,H, Mahmoudi M, Sasanpour,P (2018). Detection and Discrimination of Bacterial Colonies with Mueller Matrix Imaging. *Sci Rep* 8: 10815.

Borges BAB (2022). A railway to Barreiro. *Patrimônio e Memória* 18(1): 19-36.

- Braßler M & Schultze M (2021). Students' Innovation in Education for Sustainable Development—A Longitudinal Study on Interdisciplinary vs. Monodisciplinary Learning. *Sustainability*, 13(3), 1322.
- Delia J & Krasny ME (2017). Cultivating positive youth development, critical consciousness, and authentic care in urban environmental education. *Frontiers in Psychology*, 8, 2340–2340.
- Medeiros E (2018). Deindustrialization and Post-Industrial Cities in Iberia Peninsula. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais* 52: 37-53.
- Moreira T & Santos RSS (2020). Educação para o desenvolvimento sustentável na escola: caderno introdutório. Brasília: UNESCO, 72p.
- Nariyal M, Yadav M, Singh N, Yadav S, Sharma I, Dahiya S & Thanki A (2020). Microbial remediation progress and future prospects. *Bioremediation of Pollutants* 187-214
- Silva IGS, Almeida FCG, Silva NMPR, Casazza AA, Converti A & Sarubbo LA (2020). Soil Bioremediation: Overview of Technologies and Trends. *Energies* 13: 1-25.
- Singh S, Kang SH, Mulchandani A, & Chen W (2018). Bioremediation: environmental clean-up through pathway engineering. *Current Opinion in Biotechnology* 19(5): 437-444.
- Schneller AJ, Lacy G, Kellogg S, Pettigrew SM, Denny C, Feldman-Schwartz G, Beard I, Rhodes A, Radcliffe, BW, Erickson A & Bardin I (2022). Urban ecojustice education: Transformative learning outcomes with high school service learners. *The Journal of Environmental Education*, 53(3), 127-140.
- Valente DMC (2015). A C.U.F Barreiro e os seus bairros como geradores da cidade. Dissertação de Mestrado, Universidade Lusíada de Lisboa, Lisboa, 90 pp.
- Vendas DF, Costa CN, Brito MG (2008). Risk assessment for redevelopment of contaminated land at an old industrial site. *WSEAS Transactions on Environment and Development* 2 (4):150-160.