

# Ensino de Microbiologia, no 3º ciclo do Ensino Básico, através do desenvolvimento de um projeto de investigação em biorremediação

*Teaching of microbiology, in the 3rd cycle of Basic Education, through the development of a research project in bioremediation*

Paula V. Morais<sup>1,2</sup>, Merijn Moens<sup>1</sup> e Susana Dias<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CEMMPRE-Centro de Engenharia Mecânica Materiais e Processos, Universidade de Coimbra, 3030-788 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup>Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra, 3001-401 Coimbra, Portugal

<sup>3</sup>Colégio São Teotónio, Coimbra, Portugal

## Resumo

**Introdução:** O ensino de ciências como um processo de enculturação e construção do conhecimento possibilita momentos de questionamentos e descobertas nos quais ocorre a identificação das necessidades do aluno e a ampliação do seu desenvolvimento cognitivo. As questões revestem-se de um importante papel na procura incessante do conhecimento, uma vez que levam à ponderação e à tentativa de encontrar respostas para resolver um problema. **Objetivo:** Do reconhecimento de que a grande generalidade dos alunos adota uma postura passiva, fazendo poucas questões, e da admissão de que questionar é importante na aprendizagem, decorre a relevância de desenvolver um projeto de investigação científica, no âmbito da microbiologia, como forma de promover e estimular o questionamento dos alunos em Ciências Naturais, no oitavo ano, do terceiro ciclo do Ensino Básico, conduzindo a uma promoção das suas aprendizagens. **Metodologia:** No projeto PhytoFix, investiga-se o cultivo de plantas de arroz e suas bactérias endofíticas na presença de poluentes. **Resultados:** Os resultados mostram a produção de uma planta mais resistente a arsénio, possível de usar em ambientes contaminados como fitoestabilizante. **Conclusão:** No presente projeto, confirmamos a hipótese de que microrganismos endofíticos resistentes a arsénio podem ajudar a planta do arroz a viver em um ambiente com esse metal (oide). Sucintamente, a relevância pedagógica do desenvolvimento deste projeto científico na escola pode ser centrada no desenvolvimento do raciocínio científico, na aplicação do método experimental, na aquisição de conhecimento para além do que se espera para a faixa etária e na análise dos resultados centrada num desafio societal.

**Palavra chave:** Microbiologia; Ensino de ciências; Formular questões; Projeto em classe

*Autor correspondente:*  
Paula V. Morais.  
Telefone: +351239240794  
E-mail: pvmorais@ci.uc.pt

Recebido em: 10/07/2018  
Revisado em: 24/10/2018  
Aceito em: 12/04/2019  
Publicado em: 30/06/2019

## Abstract

**Introduction:** *The teaching of science, as a process of enculturation and construction of knowledge, enables moments of questioning and discovery in which the identification of the student's needs and the expansion of his cognitive development occurs. Making questions has an important role in the unceasing search for knowledge, since they lead to the consideration and the attempt to find answers to solve a problem.* **Objective:** *Recognizing that the great majority of students adopts a passive posture asking few questions, and admitting that the act of formulating questions and questioning is important in learning, we developed a research project in microbiology, as a form to promote and stimulate the questioning of students in Natural Sciences in the eighth year of the third cycle of Basic Education, leading to a promotion of their learning.* **Methodology:** *In the PhytoFix project, we investigated the cultivation of rice plants and their endophytic bacteria in the presence of pollutants.* **Results:** *The results show the production of a more arsenic resistant plant, which can be used in contaminated environments such as phytostabilizers.* **Conclusion:** *In the present project the hypothesis that arsenic resistant endophytic microorganisms can help the rice plant to live in an environment with this metal (oide) was show. Pedagogically, the relevance of the development of this scientific project in the school can be centered in the development of the scientific reasoning, the application of the experimental method, the acquisition of knowledge beyond what is expected for the age group and the analysis of the results centered on a societal challenge.*

**Keywords:** *Microbiology; Science teaching; Ask questions; Class design*

## Introdução

### Enquadramento pedagógico

A ciência é uma estrutura de conhecimento que representa a compreensão atual dos sistemas e processos naturais pelo qual esse conhecimento foi estabelecido, e está a ser continuamente aumentado, refinado e revisto. Ao aprender ciência, é preciso entender tanto a estrutura do conhecimento quanto o processo pelo qual esse conhecimento é estabelecido, ampliado, refinado e revisto<sup>1</sup>.

Os alunos do Ensino Básico são curiosos e desafiadores, o que torna a ciência um assunto ideal para a elaboração de questões de nível mais elevado que estimulam a procura do conhecimento e levam a uma aprendizagem duradoura, permitindo-lhes que explorem o seu mundo e descubram novos interesses. Nos projetos de ciência, os alunos partilham uma experiência comum para o desenvolvimento de competências de linguagem, lógica e resolução de problemas.

Os projetos de ciência poderão constituir uma estratégia de ensino, ou seja, uma organização ou arranjo sequencial de ações, ou atividades de ensino, que serão utilizadas durante um intervalo de tempo e com a finalidade de conduzir os alunos a realizarem determinadas aprendizagens<sup>2</sup>. Estratégia de ensino e de aprendizagem surge como, citando Vieira & Vieira<sup>3</sup>, “um conjunto de ações do professor ou do aluno orientadas para favorecer o desenvolvimento de determinadas competências de aprendizagem que se têm em vista”.

O ensino de ciências, como um processo de enculturação e construção do conhecimento, possibilita momentos de questionamentos e descobertas nos quais ocorre a identificação das necessidades do aluno e a ampliação do seu desenvolvimento cognitivo.

As questões revestem-se de um importante papel na procura incessante do conhecimento, uma vez que levam à ponderação e à tentativa de encontrar respostas para resolver um problema<sup>4</sup>. O ato de formular questões e de questionar evidencia uma intenção ou um desejo de desvendar algo sobre um dado assunto e confere-se como um meio de partilha do conhecimento humano.

Nesse contexto, as questões dos alunos desempenham um papel relevante no processo de aprendizagem, constituindo-se como um recurso potencial para o ensino e a aprendizagem das ciências<sup>5</sup>, pois “o processo mental associado à elaboração de uma pergunta estimula o raciocínio e pode contribuir para o desenvolvimento intelectual de quem a formula<sup>6</sup>”. Essa “ideia” é reforçada por Pedrosa de Jesus<sup>7</sup> ao afirmar que “a formulação de perguntas é um processo essencial ao desenvolvimento de um raciocínio crítico e de um pensamento criativo”.

É importante, nesse momento, fazer a distinção entre as palavras “pergunta” e “questão”. Na generalidade dos dicionários o termo “questão” é usado para designar discussão, exame, tese, assunto ou

tema que necessita de reflexão e ponderação. O termo pergunta encontra-se associado ao ato de interrogar, palavra ou frase com que se interroga, inquirição. Assim, as palavras “questão” e “pergunta” estão associadas, embora não apresentem precisamente o mesmo significado. Como referido por Pedrosa de Jesus<sup>8</sup>, uma pergunta pode ter uma resposta mais ou menos automática enquanto que uma questão remete para a reflexão.

É reconhecido que o ato de questionar é uma constante na sala de aula, surgindo o professor como aquele que questiona, esperando dos alunos apenas as respostas<sup>9-10</sup>, assumindo assim (os alunos) uma posição passiva e subordinada. Pelo exposto, o tipo de questionamento do professor assume um papel central e, dependendo do seu nível cognitivo, deve estimular no aluno um nível de pensamento elevado.

Estudos já efetuados em ciências testemunham que os alunos não formulam, espontaneamente, muitas questões<sup>10-13</sup>. Quando tal sucede, estas são meramente factuais e não são de nível elevado, o que não evidencia uma real curiosidade intelectual. No entanto, são as questões de nível mais elevado que conduzem à procura do conhecimento e, concludentemente, à aprendizagem duradoura<sup>14-16</sup>. Se as questões formuladas pelos alunos forem de nível elevado, poderão conduzi-los a desenvolver capacidades de aprendizagem, desafiando-os a pensar e a fazerem descobertas por eles mesmos.

O questionamento revela-se, assim, uma componente importante das competências e capacidades de nível cognitivo mais elevado, em particular no ensino das ciências, o que torna necessário investigar modos de o estimular nos alunos<sup>15-20</sup>. Os projetos de ciência deverão ser capazes de criar um ambiente favorável em que deverá ser dada aos alunos a oportunidade de formular questões relevantes e pertinentes<sup>17</sup>.

Questões formuladas em diferentes contextos e com diferentes propósitos apresentam características diferentes<sup>4</sup>, ou seja, o tipo e o formato das questões dependem do contexto e do propósito pelo qual as questões são formuladas e pela visão geral do mundo, adotado por quem as formula<sup>21</sup>. Apesar de ser mais frequente o professor questionar e os alunos responderem<sup>13</sup>, é essencial que os alunos também questionem para aprenderem. Efetivamente, como referenciado por Chin<sup>11</sup>, as questões são uma ferramenta-chave no acesso dos alunos à aprendizagem.

Pedrosa de Jesus<sup>8</sup> reforça a necessidade de ajudar os alunos “a compreender que a formulação de “boas perguntas”, isto é, o esforço de identificação do que não sabem, mas desejam saber, pode ser a “chave” para uma boa aprendizagem”.

Do reconhecimento de que a grande generalidade dos alunos adota uma postura passiva, fazendo poucas questões, e da admissão de que questionar é importante na sua aprendizagem<sup>5</sup>, decorre a relevância de desenvolver um projeto de investigação

científica, no âmbito da microbiologia, como forma de promover/ estimular o questionamento dos alunos em Ciências Naturais, no oitavo ano, do terceiro ciclo do Ensino Básico, conduzindo a uma promoção das suas aprendizagens.

As novas gerações terão que enfrentar novos desafios todos os dias. Portanto, relacionar os estudantes com os problemas ambientais e as soluções científicas é essencial na construção do cidadão informado capaz de, no futuro, tomar as decisões necessárias. No projeto *PhytoFix*, investiga-se o cultivo de plantas de arroz e suas bactérias endofíticas na presença de poluentes.

A escolha da temática a investigar prendeu-se com a constatação de que, num mundo ocupado por cada vez mais e mais pessoas, enfrentamos todos os dias novos desafios para gerir os recursos disponíveis de forma sustentável. A água potável e os alimentos são as principais necessidades humanas que estão sob pressão crescente em diferentes partes do mundo. Além disso, onde há uso de recursos, há produção de resíduos, faz-se, então necessário gerir para minimizar o impacto no ambiente e na qualidade de vida das populações. A poluição pode ameaçar diretamente a disponibilidade de recursos. Estes, por sua vez, estão sujeitos à demanda crescente resultante do crescimento populacional exponencial que se verifica. Perante esses desafios, impõe-se a utilização de novas abordagens e novas estratégias nos diversos campos de atuação, de modo a dar-lhes resposta. A ciência e a educação são dois dos vetores mais importantes para tal desígnio.

Uma das maiores preocupações da ciência e da educação na sociedade moderna é garantir o avanço no sentido do desenvolvimento sustentável<sup>22</sup>. Para continuar a progredir nesse sentido, é necessário um pensamento integrativo, bem como um enfoque da educação na "resolução de problemas"<sup>22</sup>. As novas gerações terão que enfrentar novos desafios todos os dias. Portanto, relacionar os estudantes com os problemas ambientais e as soluções científicas é essencial na construção do cidadão informado capaz de no futuro tomar as decisões necessárias.

Pelo exposto, projeto *PhytoFix* teve como principal(ais) finalidade(s):

- Contribuir para a melhoria da qualidade do processo de Ensino e de Aprendizagem em Ciências Naturais (mais concretamente ao nível do 8º ano de escolaridade do 3º Ciclo do Ensino Básico) e, ao mesmo tempo, configurar uma investigação científica original de um problema específico.

Decorrente dessa(s) finalidade(s) desejou-se dar cumprimento ao seguinte objetivo específico de investigação: "construir" plantas de fitoestabilização utilizáveis em biorremediação e capazes de resistir a ambientes tóxicos.

### Enquadramento científico

**O modelo da contaminação por arsénio representa um modelo científico e pedagógico relevante ligado à contaminação ambiental**

Existe uma nova abordagem para o desenvolvimento sustentável em estudos de engenharia: a aprendizagem baseada em problemas e baseada em projetos<sup>23</sup>. O núcleo dessa abordagem, que tem suas origens na universidade de Aalborg na Dinamarca, é usar o professor como o facilitador do processo de aprendizagem dos alunos, ajudando-os a aplicar o conhecimento teórico a problemas práticos<sup>23</sup>. Os alunos precisam ter uma abordagem interdisciplinar para encontrar uma solução sustentável para os problemas ambientais. No nosso caso, os estudantes do oitavo ano do 3º Ciclo do Ensino Básico, foram convidados a trabalhar num problema ambiental na forma de um projeto. Aplicando conhecimentos teóricos sobre botânica e microbiologia, elaboraram um trabalho prático que constitui uma solução inovadora para um importante problema ambiental hoje - a poluição. Os alunos trabalharam com plantas de arroz e com uma estirpe bacteriana geneticamente modificada para a remoção de contaminantes metálicos.

O metal alvo foi o arsénio devido ao seu impacto nas populações humanas em nível mundial, limitando o acesso à água potável. Uma busca simples, em qualquer um dos motores de busca atualmente disponíveis, revela uma verdade terrível. Por exemplo, em um dos países mais populosos e mais pobres do mundo, o Bangladesh, no Sudeste Asiático, a população é vítima de intoxicação acidental involuntária<sup>24</sup>.

O problema começou na década de 1970, quando o governo, com o apoio da Unicef, iniciou um projeto para instalar poços tubulares no país. A ideia era controlar doenças transmitidas pela água, como cólera. A cólera é uma doença provocada pela bactéria *Vibrio cholerae* que pode contaminar as águas da superfície que são utilizadas pelas populações para beber. Com a abertura de cerca de 10 milhões de poços, a fonte de abastecimento mudou para as águas subterrâneas. Essa mudança ocorreu sem que tivessem sido feitas análises químicas detalhadas da qualidade da água, tendo-se mais tarde verificado que esta apresentava níveis de arsénio acima do nível considerado seguro. De acordo com a organização não governamental Human Rights Watch<sup>24</sup>, evidências de arsénio e água contaminada nos solos em Bangladesh já afetaram milhões de pessoas. No entanto, arsénio na água de profundidade não é apenas um problema dos países pobres. Países como os Estados Unidos da América e a Argentina têm problemas com a sua água de profundidade.

Assim, de acordo com a Organização Mundial de Saúde, podemos descrever o impacto da presença de arsénio nas águas no mundo como: 1) estar naturalmente presente em níveis elevados nas águas subterrâneas de vários países; 2) ser altamente tóxico na sua forma inorgânica; 3) a sua presença em água contaminada utilizada para beber, preparar alimentos e irrigar culturas alimentares representa uma ameaça

para a saúde pública; 4) a exposição em longo prazo ao metal da água potável e dos alimentos pode causar cancro e lesões cutâneas, tem efeitos prejudiciais no desenvolvimento, doenças cardiovasculares, neurotoxicidade e diabetes<sup>25</sup>. A ação mais importante a tomar nas comunidades afetadas é a prevenção de uma maior exposição ao arsénio mediante a provisão de abastecimento de água potável.

**Uma estratégia alternativa: biorremediação**

Para a remoção de contaminantes no ambiente, existem várias estratégias disponíveis. No passado, as estratégias clássicas de remediação foram as principalmente utilizadas, como aterros ou tratamento com produtos químicos. Um exemplo de inovação para o desenvolvimento sustentável é o uso de estratégias alternativas de remediação. Embora os romanos já usassem organismos para limpar suas águas residuais em 600 AC, foi apenas a partir de 1972 que as primeiras estratégias oficiais de biorremediação foram testadas.

A biorremediação compreende o uso de organismos, por exemplo, bactérias e plantas, para alterar ou reduzir o impacto tóxico de contaminantes. As respostas microbianas ao arsénio com potencial de biorremediação incluem quelação, compartimentalização, exclusão e imobilização<sup>26</sup>. A modificação genética e um microrganismo acumulador de arsénio envolve a modificação dos mecanismos de resistência natural e o desenvolvimento de estratégias novas no microrganismo como seja a acumulação do metal. Os microrganismos capazes de suportar ou degradar poluentes por meio de mecanismos específicos podem, como parte da comunidade endofítica (microrganismos que vivem no interior da planta sem causarem doença), dar à planta a capacidade de resistir a ambientes tóxicos ou de remediar o meio ambiente.

A fitorremediação é a extração e imobilização de contaminantes por plantas e é vista como uma alternativa ecológica às técnicas destrutivas de sedimentos, muitas vezes utilizadas<sup>27-28</sup>. É amplamente utilizado na remediação do solo, mostrando excelentes resultados em riachos, lagos e zonas húmidas. Essa técnica apresenta bons resultados na imobilização de zinco, ferro, manganês e cádmio nos sedimentos. A fitoextração pode ser dividida em fitoextração (remoção de poluentes do solo em rebentos e folhas), fitodegradação (degradação de poluentes por endófitos), rizofiltração (absorção de poluentes pelas raízes de plantas), fitoestabilização (mediação de biodisponibilidade de poluentes pela planta) e fitovolatilização (volatilização de poluentes mediados pelas plantas). O foco principal da remediação no caso da poluição com metal é a quelação e a fitoextração contínua.

**Os microrganismos podem beneficiar muito o crescimento e o desempenho das plantas**

Os endófitos são microrganismos que vivem dentro do tecido celular das plantas. Esses endófitos têm diferentes relações com suas plantas hospedeiras. Eles entram principalmente através de pequenas feridas no tecido radicular ou através de penetração após ação de enzimas (celulose ou pectinase). No entanto, eles também entram no tecido foliar através de aberturas naturais como estomas, e podem estar presentes no tecido foliar e no tecido vascular da planta. São normalmente definidos como microrganismos endófitos os que vivem com o hospedeiro e não são patogênicos ativos, mas podem ser oportunistas ou simbióticos. Embora os microrganismos de vida livre e simbiótica influenciem a produtividade, a biodisponibilidade e as interações metálicas das plantas, poucos estudos foram integrados e muitos estudos de fitorremediação são realizados sem referência a processos microbianos contributivos. No entanto, algumas bactérias endofíticas são conhecidas por aumentar a resistência a metais ou auxiliar na metabolização de contaminantes orgânicos em plantas<sup>29</sup>. Algumas bactérias que estão presentes na rizosfera das plantas, podem solubilizar metais e aumentar a captação de metal dessas plantas hiperacumuladoras<sup>29</sup>.

## Metodologia

O projeto foi concebido para promover o questionamento de nível mais elevado, que estimula a procura do conhecimento e conduz a uma aprendizagem mais duradoura de conceitos básicos em Biologia e, ao mesmo tempo, configurar uma investigação científica original de um problema específico.

Para além do ato de questionar em si mesmo, as respostas às questões levantaram outras questões que, por sua vez, deram origem à hipótese (possível resposta) que foi investigada. A nossa hipótese "As plantas de arroz possuem microrganismos nos seus tecidos que, se forem resistentes ao arsénio, podem ajudar a planta a viver no ambiente com o metal" foi testada em poucos estudos e ainda não foi testada em plantas de arroz.

O trabalho de laboratório consistiu em três tarefas baseadas na hipótese: "As plantas de arroz possuem microrganismos nos seus tecidos que, se forem resistentes a arsénio, podem ajudar a planta a viver num meio ambiente com esse metaloide". Esse objetivo foi desenvolvido por meio da demonstração: 1) da presença de bactérias nos tecidos vegetais; 2) modificação da comunidade endofítica da planta com uma bactéria resistente a arsénio; 3) demonstração de que plantas com bactérias endofíticas resistentes são mais resistentes ao metal.

O objetivo específico da investigação foi "construir" plantas de fitoestabilização utilizáveis em biorremediação e capazes de resistir a ambientes tóxicos.

## Desenho experimental

O desenvolvimento da parte experimental do projeto correspondeu à aplicação do método experimental como estratégia de resposta às questões formuladas. Os alunos foram ativamente envolvidos na elaboração do protocolo diário de cada uma das etapas. Desse modo, foi avaliado o seu entendimento quanto à relevância de cada etapa para os objetivos da investigação.

A estirpe resistente a arsénio que foi selecionada para este estudo foi a estirpe tipo da espécie *Ochrobactrum tritici* SCII24, isolada a partir da rizosfera do trigo. Essa estirpe foi anteriormente modificada geneticamente para poder acumular elevadas quantidades de arsenito<sup>30</sup>. O arsénio foi adicionado ao meio na forma de arsenito ( $\text{AsO}_3^-$ ), que é mais tóxico para os organismos do que arsenato, a forma oxidada ( $\text{AsO}_4^-$ ).

Na experiência, a primeira tarefa que os alunos tiveram que realizar foi a esterilização de sementes de arroz. As sementes de *Oryza sativa* da variedade Mondego foram desinfetadas e germinadas em placas de água-ágar (Sigma Aldrich, água-ágar). O segundo passo decorreu após cinco dias e consistiu na transferência de plantas para o meio de Hoagland com nitrato de amónia como fonte de nitrato<sup>31</sup>. Um grupo de alunos fez o meio, enquanto o outro grupo fez o material para o crescimento das plantas (tubos estéreis com rolhas de algodão). Para testar a hipótese, os alunos projetaram quatro condições experimentais diferentes: sem bactérias, sem arsénio ( $n = 7$ ); sem bactérias, com arsénio (arsenito de sódio  $20 \mu\text{M}$ ,  $n = 7$ ); a estirpe bacteriana resistente, com arsénio ( $n = 7$ ); a estirpe bacteriana resistente, com arsénio (arsenito de sódio  $20 \mu\text{M}$ ,  $n = 7$ ). As plantas foram entregues aos alunos que montaram a experiência. Após seis dias de crescimento, os alunos transferiram todas as plantas para novos tubos e inocularam algumas plantas com a estirpe de bactéria resistente a arsénio. Para tal, mergulharam as raízes das plantas na suspensão de bactérias e lavaram depois com água desionizada. As plantas foram deixadas a incubar durante quatro dias.





O restante da experiência foi projetado pelo grupo de investigação, mas antes de entregar as tarefas aos alunos, estes foram desafiados a criar uma metodologia para alcançar os objetivos da experiência. A sua metodologia foi analisada e discutida e, depois, os estudantes foram informados sobre a metodologia proposta. Todas as plantas foram transferidas para novo meio com ou sem arsenito. Após uma semana de crescimento, as plantas foram avaliadas para diferentes parâmetros de crescimento: comprimento da planta em cm, peso em mg e comprimento da raiz em cm e número de raízes secundárias. A presença da estirpe bacteriana no tecido da planta foi determinada. A última tarefa para os alunos foi analisar os resultados obtidos e fazer uma apresentação do projeto com fotos para a mostra de projetos na Cerimónia de Entrega dos Prémios de Desenvolvimento Ilídio Pinho (Convento São Francisco, julho de 2017, em Coimbra).

A experiência foi, portanto, construída em 3 fases:  
 Fase 1. Esterilização e germinação de sementes;  
 Fase 2. Modificação da comunidade endófito da planta com uma bactéria (*Ochrobactrum tritici* SCII24

modificada) resistente a arsênio, através da imersão das raízes das plantas numa suspensão bacteriana;

Fase 3. Determinação da resistência metálica das plantas com a comunidade endófito modificada.

**TABELA 1: Visão geral dos diferentes grupos de plantas de arroz na experiência.**

Grupo	Presença de	Concentração de arsenito	Número de réplicas
B-As-	 *	0	7
B-As+	 **	20 µM	7
B+As-	 ***	0	7
B+As+	 ***	20 µM	7

\**Oryza sativa* variedade Mondego \*\* arsenito \*\*\* *Ochrobactrum tritici* SC24II modificado

## Resultados

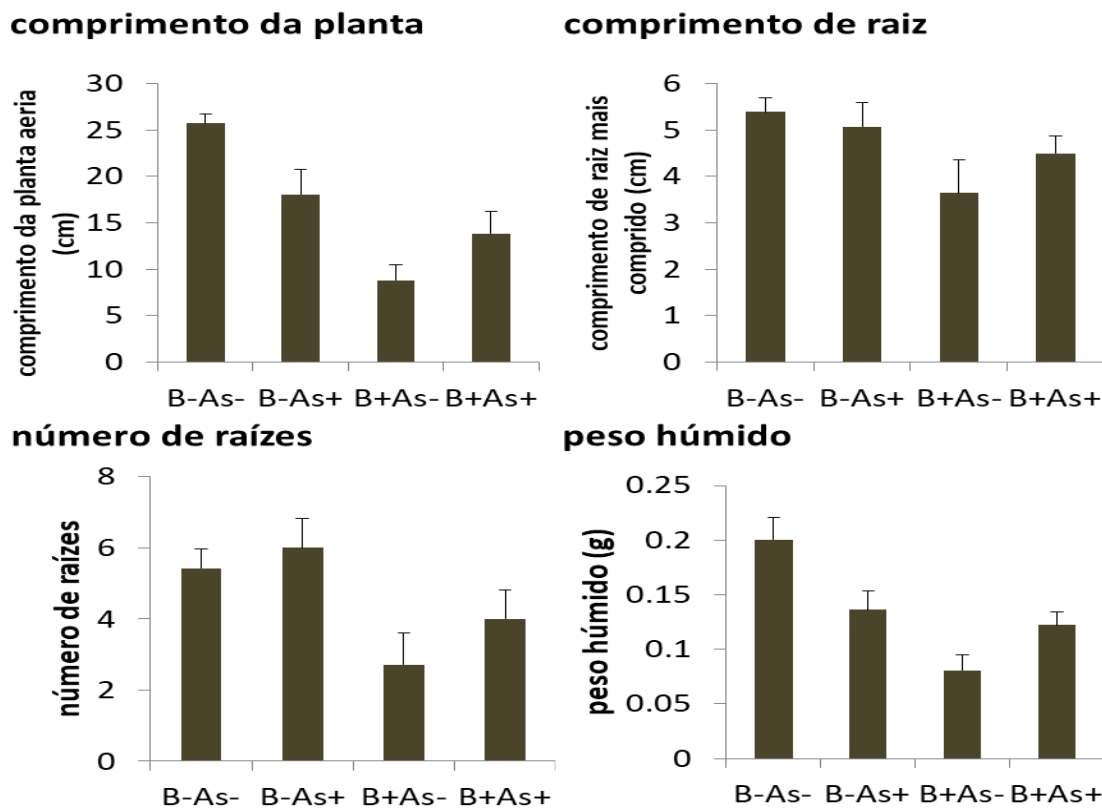
Os resultados mostraram que:

1) Na ausência da bactéria resistente nos tecidos da planta (endofítica), a presença de arsênio no meio (na forma de arsenito) causou uma diminuição no tamanho médio da planta, do tamanho da raiz e do peso húmido da planta. A diferença entre os parâmetros de crescimento das plantas B(-)As(-) e das plantas B(-)As(+) são mostradas na figura 1. O tamanho médio da raiz mais longa não foi afetado pela presença de arsênio;

2) Na ausência de arsênio, a inoculação da bactéria resistente na planta causou uma diminuição de todos os indicadores da planta. Os parâmetros de crescimento das plantas B(-)As(-) e B(+) As(+) são apresentados na figura 1.

3) Na presença de arsênio (condições de stress), a presença endofita da bactéria resistente protegeu a planta, ou seja, a planta foi menos afetada pela presença de arsênio. Ao comparar o crescimento, o peso e a raiz das plantas com bactérias endofíticas resistentes, na presença e ausência de arsênio, houve um aumento de todos os parâmetros da planta (a diferença entre as plantas B(-)As(+) e B(+) As(+) é mostrada na figura 1). As plantas com bactérias endofíticas apresentaram crescimentos similares na presença e ausência de arsênio.

4) A análise molecular mostrou que as plantas inoculadas com bactérias *O. tritici* SC24II modificadas tinham essas bactérias nos tecidos, enquanto que em plantas não inoculadas não foi possível detetar a estirpe.



**FIGURA 1:** Comprimento da planta, tamanho da raiz, número de raízes e peso fresco das plantas de arroz após uma semana em presença de arsenito (meio contaminado). As barras de erro representam os erros padrão e os grupos de plantas que são utilizados são: sem bactérias sem arsênio (B – As -), sem bactérias com arsênio (B – As +), estirpe bacteriana modificada sem arsênio (B + As-), estirpe bacteriana modificada com arsênio (B + As+).

## Conclusão

### De um ponto de vista pedagógico

O objetivo da educação científica é formar indivíduos capazes de compreender e avaliar a informação que é, ou que se afirma ser, de natureza científica e, ao mesmo tempo, capazes de tomar decisões que incorporem essa informação apropriadamente. Além disso, é também objetivo, formar um número e diversidade suficiente de especialistas e futuros cientistas motivados, com base científica. Estudantes que são proficientes em ciência devem saber: 1) conhecer, usar e interpretar explicações científicas do mundo natural; 2) gerar e avaliar evidências científicas e explicações; 3) compreender a natureza e o desenvolvimento do conhecimento científico; 4) participar de forma produtiva nas práticas científicas e no discurso.

Os projetos de bioengenharia para os estudantes do ensino básico, auxiliam os alunos a formular questões, a reformulá-las em função das respostas dadas, a escolher o tipo de questões mais adequadas para compreenderem um determinado facto e se aproximarem da forma como uma disciplina o aborda. Como tal, esses projetos constituem uma ferramenta essencial para fomentar a aprendizagem, contribuindo para que os alunos adotem uma posição mais crítica, ativa e responsável perante o mundo<sup>32</sup>.

De uma forma sucinta, a relevância pedagógica do desenvolvimento deste projeto científico na escola

pode ser centrada nos seguintes pontos: 1) desenvolvimento do raciocínio científico; 2) aplicação do método experimental; 3) aquisição de conhecimento para além do que se espera para a faixa etária; 4) análise dos resultados centrada num desafio societal; 5) participação e organização de estudos que colocam a escola ao serviço da comunidade. Apesar das questões formuladas pelo professor desempenharem um papel importante no processo de ensino e de aprendizagem, o professor surge aqui como o facilitador, promovendo o questionamento. As questões elaboradas pelos alunos ao longo do projeto são fulcrais para que ocorra uma aprendizagem efetiva, e para que estes possam desenvolver as suas próprias soluções e pensar de forma independente e inovadora.

Esses projetos não só beneficiam os alunos como também ajudam os investigadores no desenvolvimento de capacidades de comunicação de ciência a não cientistas.

### De um ponto de vista científico

No presente projeto, confirmamos a hipótese que microrganismos endofíticos resistentes a arsênio podem ajudar a planta do arroz a viver num ambiente com esse metal(oide). Percebemos que as plantas reduzem o seu comprimento e peso húmido e que as raízes são menores na presença de arsênio. Esse efeito também é visível quando as bactérias são inoculadas na planta de arroz. Quer isso dizer que ambos os fatores parecem provocar stress na planta. No entanto, quando as plantas de arroz são colocadas na presença do stress químico (arsenito), a presença de bactérias endofíticas resistentes a arsênio parece fornecer proteção à planta. Ao compararmos os parâmetros de crescimento em plantas crescidas na presença de arsenito, com e sem bactéria endofítica, concluímos que a presença de bactérias não afeta o crescimento. Com esses resultados, pode-se concluir que o objetivo do projeto de construir uma planta mais resistente a arsênio, possível de usar em ambientes contaminados como fitoestabilizante, foi alcançado. A planta de arroz com a estirpe *Ochrobactrum tritici* SCII24 modificada tem potencial para ser usada como ferramenta de biorremediação. A resistência encontrada nas plantas de arroz com a bactéria inoculada é importante para a agricultura em áreas poluídas e investigação adicional é necessária na redução efetiva de arsênio nas culturas e no gado.

### Declaração de conflitos de interesses

Os autores do artigo afirmam que não houve nenhuma situação de conflito de interesse, tais como propostas de financiamento, emissão de pareceres, promoções ou participação em comitês consultivos ou diretivos, entre outras, que pudessem influenciar no desenvolvimento do trabalho.

### Agradecimentos

Este projeto foi apoiado pelo projeto FITOFIX-14º FUNDAÇÃO ILÍDIO PINHO "CIÊNCIA NA ESCOLA" escalão 4, e o projeto ERA-MIN / 0002/2015. Merijn Moens foi financiado por uma bolsa de investigação do projeto Transnacional ERA-MIN 2015.

### Referências

- National Research Council. **Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8**. National Academies Press, 2007.
- Heintschel, R. **Teachers teach thinking: A staff development program (the T-cubed Model)**. In: 11th Annual Conference of the National Council of States on Inservice Education, Nashville, TN, 1986.
- Vieira, R & Vieira, C. **Estratégias de Ensino/Aprendizagem**. Instituto Piaget, 2005.
- Teixeira-Dias, JJ, Pedrosa de Jesus, H, Neri de Souza, F, & Watts, M. Teaching for quality learning in Chemistry. **International Journal of Science Education**, 27 (9), 1123-1137, 2005.
- Chin, C & Osborne, J. Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. **Studies in Science Education**, 44: 1, 1- 39, 2008.
- Dillon, JT. Student questions and individual learning. **Educational theory**, 36(4), 333-341, 1986.
- Pedrosa de Jesus, MHT. **A Descriptive Study of Some Science Teachers Questioning Practices**. Unpublished Master Thesis, University of East Anglia, Norwich, UK, 1987.
- Pedrosa de Jesus, MH. **Comunicação em sala de aula – o questionamento por professores e alunos**. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2009.
- Graesser, AC & Person, NK. Question asking during tutoring. **American Educational research Journal**, 31(1), 104-137, 1994.
- Pedrosa de Jesus, MH. **An Investigation of Pupils' Questions in Science Teaching**. Unpublished Ph.D. Thesis, University of East Anglia, Norwich, UK, 1991.
- Chin, C. Learning in science: what do students' questions tell us about their thinking? **Education Journal**, 29 (2), 85-103, 2001.
- Costa, J Caldeira, H, Gallastegui, JR & Otero, J. An analysis of question asking on scientific texts explaining natural phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, 37(6), 602-614, 2000.
- Zee, E, Iwasyk, M, Kurose, A, Simpson, D, & Wild, J. Student and teacher questioning during conversations about science. **Journal of Research in Science Teaching**, 38(2), 159-190, 2001.
- Cuccio-Schirripa, S, & Steiner, HE. Enhancement and analysis of science question level for middle school students. **Journal of Research in Science Teaching**, 37, 210-224, 2000.
- Marbach-Ad, G & Sokolove, PG. Can Undergraduate Biology Students Learn to Ask Higher Level Questions? **Journal of Research in Science Teaching**, 37(8), 854-870, 2000.
- Pedrosa de Jesus, MH, Teixeira-Dias, JJ, & Watts, M. Questions of Chemistry. **International Journal of Science Education**, 25(8), 1015-1034, 2003.
- Hofstein, A, Navon, O, Kipnis, M., & Mamlok-Naaman, R. Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. **Journal of Research in Science Teaching**, 42(7), 791-806, 2005.
- Shodell, M. The question-driven classroom. **American Biology Teacher**, 57, 278-281, 1995.
- Toledo, CA. "Does your dog bite?" – Creating good questions for online discussions. **International Journal of Teaching and Learning in Higher Education**, 18(2), 150-154, 2006.
- Zoller, U. The fostering of question-asking capability – a meaningful aspect of problem-solving in Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 64(6), 510-512, 1987.
- Metcalfe, M. Sourcing problem-dissolving questions systems. **Research and Behavioral Science**, 22, 27-40, 2005.
- Ashford, NA. Major challenges to engineering education for sustainable development: what has to



- change to make it creative, effective, and acceptable to the established disciplines? **International Journal of Sustainability in Higher Education**, 5(3), 239-250, 2004.
23. Lehmann, M, Christensen, P, Du, X, & Thrane, M. Problem-oriented and project-based learning (POPBL) as an innovative learning strategy for sustainable development in engineering education. **European journal of engineering education**, 33(3), 283-295, 2008.
24. UNICEF. Arsenic Primer Guidance for UNICEF Country Offices on the Investigation and Mitigation of Arsenic Contamination, 2008. Disponível em [https://www.unicef.org/eapro/Arsenic\\_primer\\_28\\_07\\_2008\\_final.pdf](https://www.unicef.org/eapro/Arsenic_primer_28_07_2008_final.pdf). Acesso em: 10 Julho 2018
25. Flanagan, SV, Johnston, RB, & Zheng, Y. Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. **Bulletin of the World Health Organization**, 90(11), 839-846, 2012.
26. Tsai, SL, Singh, S, & Chen, W. Arsenic metabolism by microbes in nature and the impact on arsenic remediation. **Current Opinion in Biotechnology**, 20(6), 659-667, 2009.
27. Peuke, AD and Rennenberg H. Phytoremediation **EMBO Reports**. 6(6): 497-501. doi: 10.1038/sj.embor.7400445, 2005.
28. Salt, DE, Smith, RD, & Raskin, I (1998). Phytoremediation. **Annual review of plant biology**, 49(1), 643-668, 1998.
29. Mastretta, C, Barac, T, Vangronsveld, J, Newman, L, Taghavi, S, & Lelie, DVD. Endophytic bacteria and their potential application to improve the phytoremediation of contaminated environments. **Biotechnology and genetic engineering reviews**, 23(1), 175-188, 2006.
30. Sousa, T, Branco, R, Piedade, AP, & Morais, PV. Hyper accumulation of arsenic in mutants of *Ochrobactrum tritici* silenced for arsenite efflux pumps. **PloS one**, 10(7), e0131317, 2015.
31. Hoagland, DR, & Arnon, DI. **The water-culture method for growing plants without soil**. Circular. 2ª edição, 347. California Agricultural Experiment Station, 1950.
32. Márquez, C, Bonil, J., & Pujol, R. Las preguntas mediadoras como recursos pra favorecer la construcción de modelos científicos complejos. **Enseñanza de las Ciencias**, Número extra, VII congress, 2005.