

Teste de laboratório com arsênio



Instituição de pesquisa: Universidade Federal de Uberlândia, Instituto do
Ciências Agrícolas

Laboratório: Laboratório de Microbiologia Agrícola e Ambiental

Pesquisador: Professor Dr. Adão de Siqueira Ferreira – Microbiologista do solo

Resumo:

O arsênio é um metaloide amplamente distribuído no meio ambiente e reconhecido por sua alta toxicidade e potencial carcinogênico. Em solos agrícolas, a contaminação por arsênio pode comprometer processos biológicos essenciais relacionados ao funcionamento do ecossistema e a produtividade das culturas. Este estudo visou avaliar os efeitos do realgar (As_2S_4) e do trióxido de arsênio (As_2O_3) sobre indicadores microbiológicos, bioquímicos e ecológicos do solo, bem como sobre microrganismos promotores do crescimento vegetal e a germinação de sementes de soja. Foram realizados experimentos controlados com doses crescentes de arsênio aplicadas ao solo incubado, seguidos da determinação de respiração microbiana, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico, atividades enzimáticas e análises de diversidade bacteriana por meio do sequenciamento do gene 16S rRNA. Também foram feitas análises biológicas com bactérias benéficas e testes de germinação de sementes. Os resultados revelaram que o arsênio aumentou a respiração microbiana e o quociente metabólico, acompanhado por reduções no carbono da biomassa microbiana e na eficiência do uso de carbono, indicando estresse fisiológico na microbiota do solo. As atividades enzimáticas, particularmente desidrogenase e fosfatase, foram significativamente reduzidas, demonstrando um impacto direto nos processos bioquímicos associados ao ciclo de nutrientes. Experimentos com microrganismos revelaram alta toxicidade do As_2O_3 , sendo o *Bradyrhizobium japonicum* mais sensível que o *Azospirillum brasilense*, o que sugere uma potencial redução na eficiência de bioinoculantes microbianos em solos contaminados. Nas análises de germinação, foi observada uma redução progressiva na porcentagem de germinação e um aumento nas anormalidades morfológicas das plântulas de soja com o aumento das doses de arsênio. Além disso, o arsênio trivalente reduziu a diversidade bacteriana no solo, destacando o risco potencial associado a aplicação de fertilizantes contaminados com arsênio para as comunidades microbianas do solo. No geral, o arsênio exerce fortes efeitos negativos na saúde do solo, pois perturba a atividade microbiana, reduz a biodiversidade, prejudica o ciclo de nutrientes e compromete o estabelecimento das plantas, o que ressalta os riscos associados aos insumos agrícolas contaminados com arsênio.

Teste de laboratório com arsênio



Introdução

O arsênio é um metaloide amplamente distribuído no meio ambiente e reconhecido por sua alta toxicidade e potencial carcinogênico. Os efeitos tóxicos desse metaloide sobre os organismos variam de acordo com sua concentração, forma química e biodisponibilidade. Em ambientes naturais, o arsênio ocorre predominantemente em dois estados de oxirredução: a forma trivalente (As^{3+}) e a forma pentavalente (As^{5+}). Entre essas espécies, o As^{3+} apresenta maior mobilidade e é considerado mais tóxico para os sistemas biológicos. A exposição excessiva e frequente ao As^{3+} pode levar ao seu acúmulo nas células, promovendo, conseqüentemente, a desnaturação de proteínas e ácidos nucleicos. A contaminação do solo por arsênio pode desencadear uma série de impactos negativos diretos na funcionalidade do solo e na composição das comunidades microbianas. Esses impactos podem levar à perda da qualidade e da saúde do solo, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e causando efeitos adversos em outros ecossistemas, incluindo a fauna, como insetos e animais. Na China, há uma preocupação significativa com a contaminação do solo em áreas de cultivo de arroz irrigado, devido a evidências de que o arsênio pode se acumular nos grãos de arroz e ser transferido por diferentes níveis da cadeia alimentar, estando associado a doenças em seres humanos, incluindo vários tipos de câncer. No Brasil, a cadeia de produção agrícola emprega diversos fertilizantes que podem conter concentrações relevantes de arsênio. A aplicação contínua desses insumos ao longo dos anos pode aumentar o acúmulo desse elemento no solo, atingindo níveis tóxicos para a atividade microbiana e a diversidade da comunidade microbiana. Entre os fertilizantes utilizados como fonte de boro, a ulexita se destaca e é amplamente aplicada em culturas como soja, café, eucalipto e vegetais. No entanto, ela pode conter impurezas minerais provenientes do processo de extração, incluindo minerais que contêm arsênio, como o realgar (As_2S_4). Apesar desse risco potencial, os relatos sobre a toxicidade do arsênio nessas culturas ainda são escassos, o que destaca a necessidade de estudos que avaliem os riscos de contaminação do solo e transferência na cadeia alimentar em sistemas agrícolas.

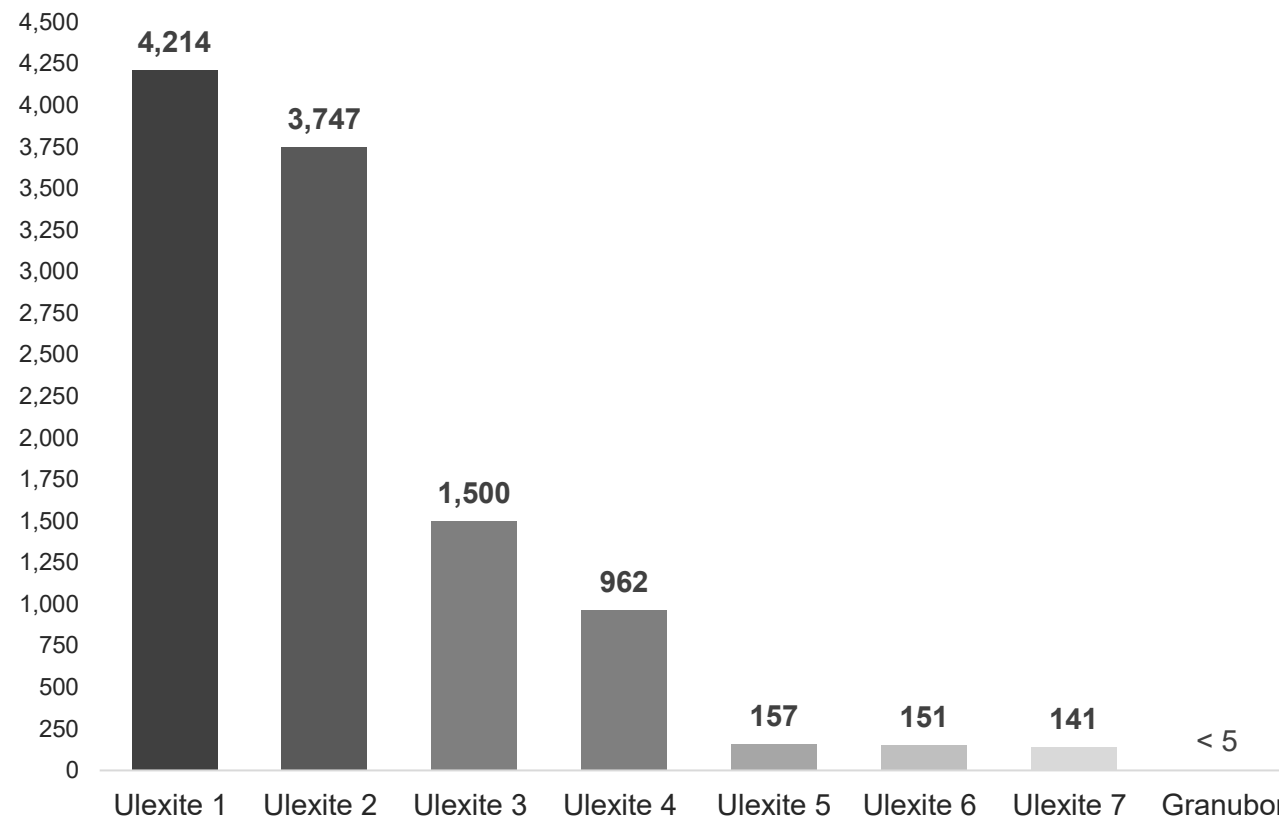
Teor de arsênio em fertilizantes de boratados

Boro (ulexita) + realgar (As_2S_4)



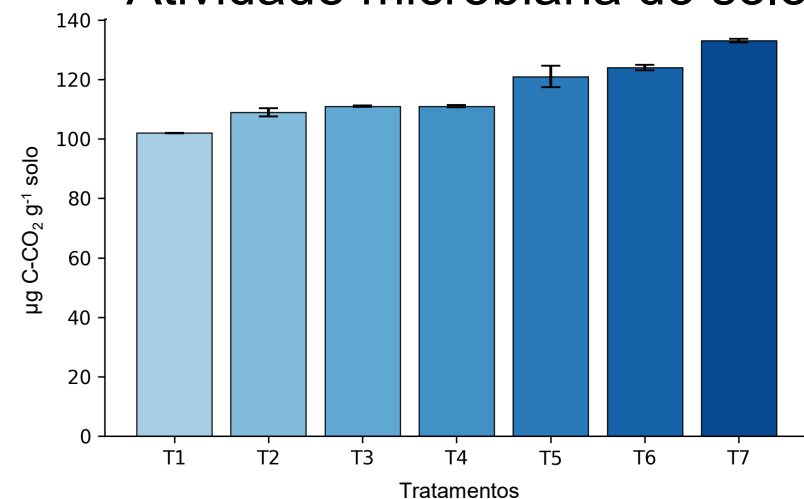
Realgar (As_2S_4)

Teor de arsênio (ppm) em fertilizantes de boro



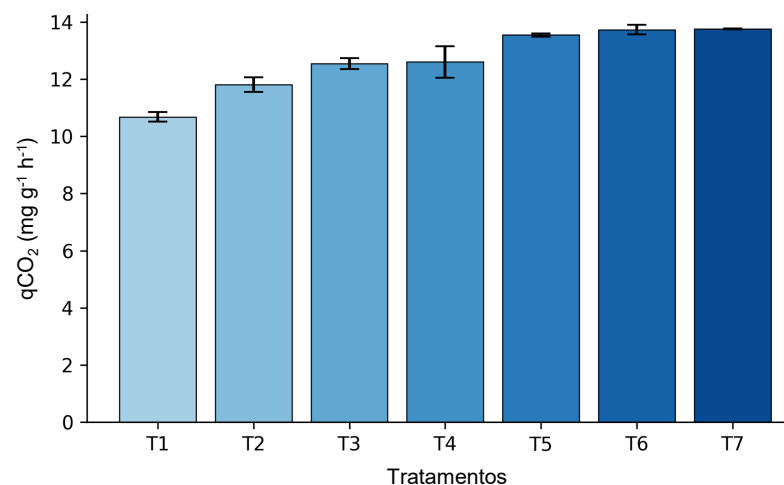
Efeito do realgar (sulfeto de arsênio) em indicadores microbianos do solo

Atividade microbiana do solo



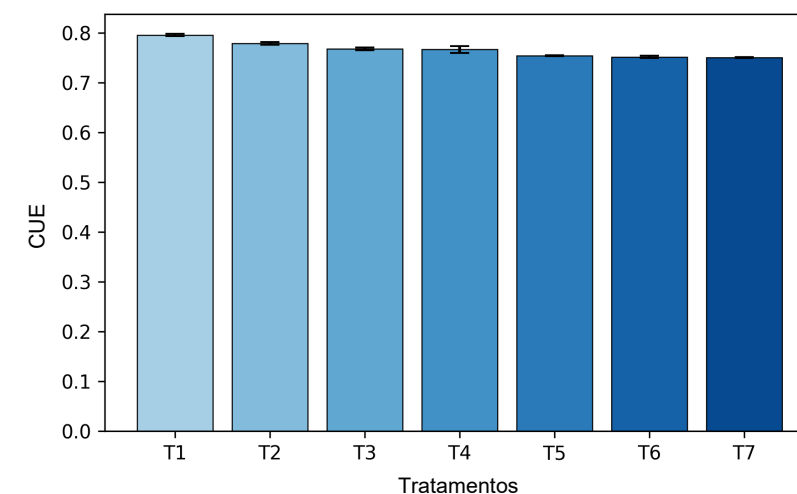
A adição de realgar ao solo aumentou significativamente a respiração do solo, o que demonstra que o As (arsênio) resulta em um aumento dessa respiração devido ao efeito tóxico do elemento sobre os microrganismos.

Coeficiente metabólico do solo



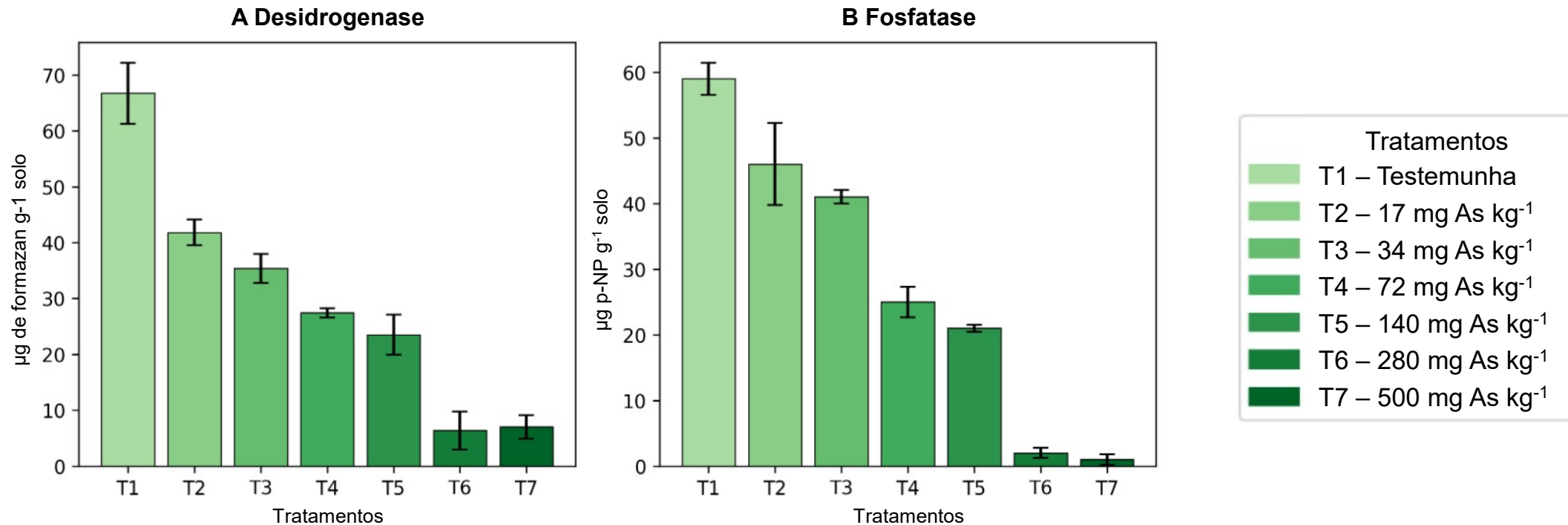
Os resultados mostram que o coeficiente metabólico do solo (qCO₂) aumentou de modo significativo com a aplicação de realgar, demonstrando estresse metabólico.

Eficiência do uso de carbono



A adição de realgar também tem um efeito na eficiência do uso de carbono do solo pelos microrganismos. A eficiência do uso de carbono do solo também está associada à formação de substâncias orgânicas no solo, como ácidos húmicos.

O impacto do realgar na biossíntese de enzimas do solo por microrganismos

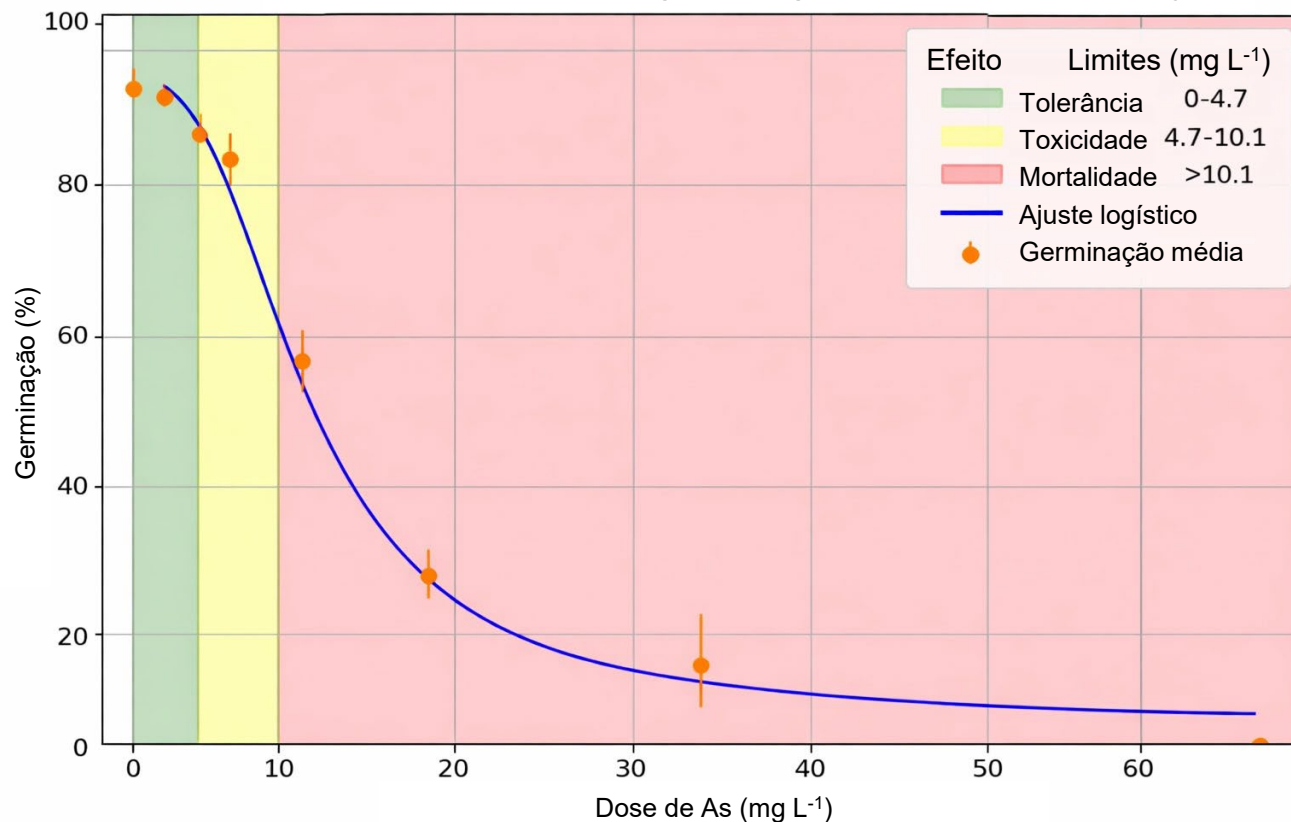


As atividades da desidrogenase e da fosfatase no solo foram avaliadas ao final de um teste com arsênio de 21 dias, utilizando realgar como fonte de contaminação. Essas enzimas foram selecionadas por serem importantes indicadores bioquímicos das transformações de carbono e estarem diretamente associadas ao ciclo de nutrientes no solo.

Os resultados demonstraram que a adição de realgar reduziu a atividade da desidrogenase no solo (Figura A), sendo essa redução proporcional à dose de arsênio aplicada. A diminuição estimada variou de 37 a 90% em comparação com o tratamento testemunha com extrato de soja. Essa enzima é um importante indicador metabólico, associado a oxidação e transformação do carbono orgânico no solo, refletindo processos intracelulares da microbiota. Além disso, a atividade da desidrogenase é muito utilizada como indicador da fração microbiana metabolicamente ativa do solo. Os resultados mostram que a adição de arsênio, na forma de realgar, afeta o metabolismo microbiano mesmo na menor dose aplicada (17 µg As g⁻¹ de solo). A atividade da fosfatase (Figura B) também foi significativamente afetada pela aplicação de realgar no solo. Esse efeito observado pode representar um risco de perda funcional nos processos de mineralização e ciclagem do fósforo orgânico no solo.

Toxicidade do trióxido de arsênio (As_2O_3) na germinação de

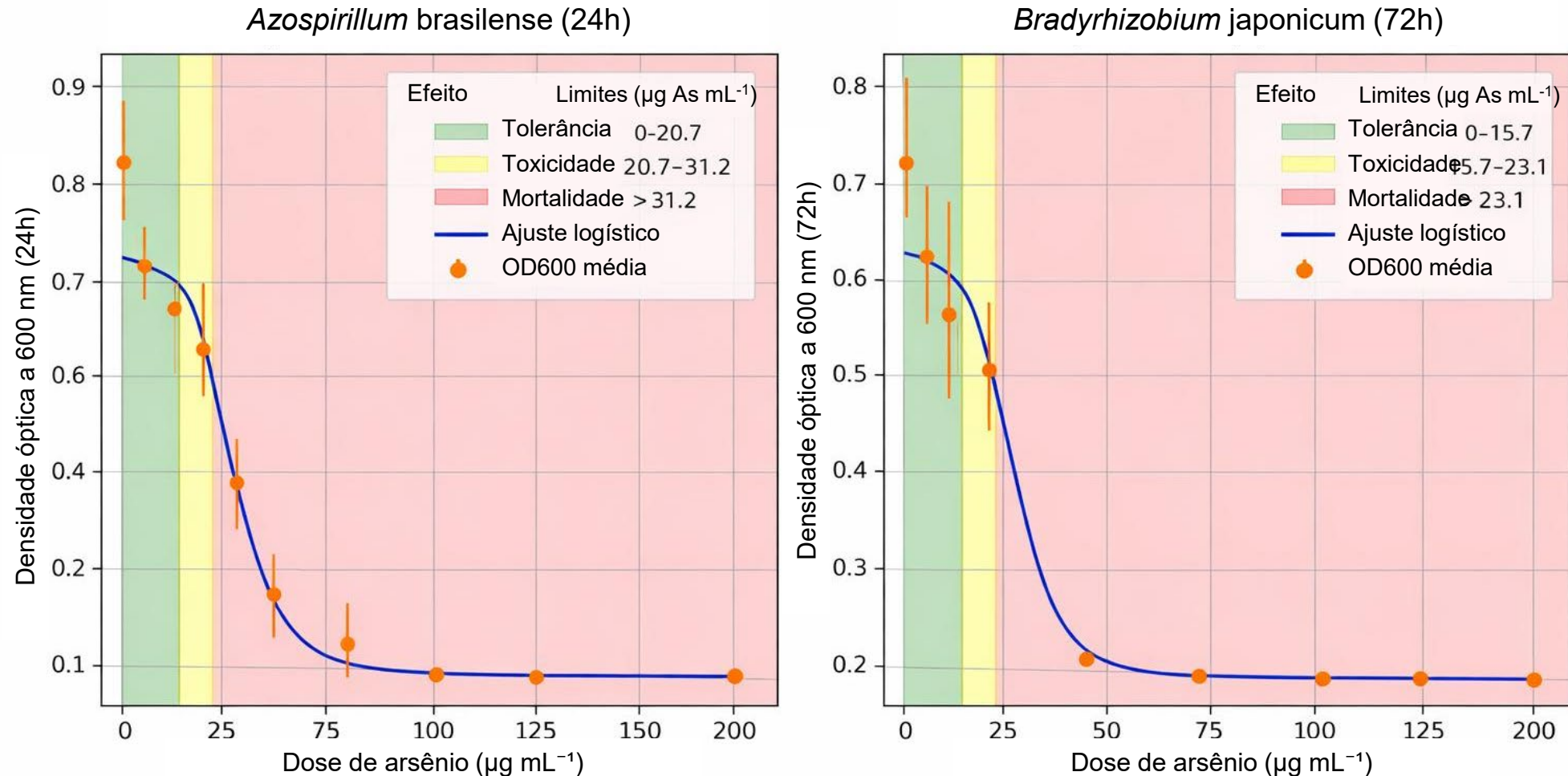
Toxicidade do As na germinação de sementes de soja



A toxicidade do As_2O_3 na germinação foi significativa e apresentou uma curva típica de resposta dependente da dose, permitindo a determinação das faixas de tolerância, toxicidade e mortalidade das sementes. O limite de tolerância ao As_2O_3 foi estimado em valores abaixo de $4,7 \text{ mg L}^{-1}$. A faixa de toxicidade ficou entre $4,7$ e $10,1 \text{ mg As L}^{-1}$ (DE_{50}), enquanto doses acima de $10,1 \text{ mg As L}^{-1}$ resultaram em um aumento acentuado na mortalidade das sementes. Além da redução na germinação, as doses classificadas como tóxicas também afetaram a morfologia das plântulas, promovendo anormalidades significativas no desenvolvimento da raiz e no eixo do hipocótilo.



Toxicidade do trióxido de arsênio (As_2O_3) em *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum*



Os resultados demonstraram que o As_2O_3 apresentou alta toxicidade para ambas as bactérias avaliadas, ajustando-se ao modelo log-logístico de análise de toxicidade. Os limites de tolerância foram de $20,7 \mu\text{g As mL}^{-1}$ para *A. brasilense* e $8,2 \mu\text{g As mL}^{-1}$ para *B. japonicum*. A faixa de toxicidade foi relativamente estreita para ambas as espécies, com mortalidade funcional observada acima de $31,2 \mu\text{g As mL}^{-1}$ para *A. brasilense* e $17,6 \mu\text{g As mL}^{-1}$ para *B. japonicum*.