

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta dissertação
será disponibilizado somente a partir
de 18/02/2025.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA
CELULAR, MOLECULAR E MICROBIOLOGIA)**

**ANÁLISE ECOTOXICOLÓGICA DE FERTILIZANTES A BASE DE VIDROS
ÓXIDOS MULTICOMPONENTES**

THOMAZ WILLIAM BOAVENTURA



**Rio Claro - SP
2023**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – RIO CLARO



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA
CELULAR, MOLECULAR E MICROBIOLOGIA)

ANÁLISE ECOTOXICOLÓGICA DE FERTILIZANTES A BASE DE VIDROS
ÓXIDOS MULTICOMPONENTES

THOMAZ WILLIAM BOAVENTURA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Biologia Celular, Molecular e Microbiologia).

Orientadora: Prof^a Dr^a Dânia Elisa
Christofoletti Mazzeo

Rio Claro - SP
2023

B662a Boaventura, Thomaz William
Análise ecotoxicológica de fertilizantes a base de vidros óxidos multicomponentes / Thomaz William Boaventura. -- Rio Claro, 2023
96 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientadora: Dânia Elisa Christofolletti Mazzeo

1. Fertilizante vítreo. 2. Ecotoxicidade. 3. Fitotoxicidade. 4. Genotoxicidade. 5. Citotoxicidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A contínua expansão do agronegócio brasileiro tornou o país um dos maiores consumidores de fertilizantes do mundo, além de um dos maiores importadores do produto (resultado da baixa produção de fertilizantes nacionais e alta demanda). Assim, a produção e emprego do fertilizante vítreo aqui estudado pode permitir que o Brasil se torne menos dependente dos grandes exportadores, expandindo a economia nacional, além de favorecer os pequenos produtores pela possibilidade de aquisição de um fertilizante não dolarizado. Adicionalmente, a análise conjunta dos resultados desta pesquisa contribui significativamente para avanços na área de Meio Ambiente e Agricultura, colaborando com os objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 propostos pela ONU. Entre eles destacam-se os 2, 6, 8, 11, 12, 13 e 15, que incluem temas como Fome Zero e Agricultura Sustentável, Água Potável e Saneamento, Trabalho Decente e Crescimento Econômico, Cidades e Comunidades Sustentáveis, Consumo e Produção Responsáveis, Ação Contra a Mudança Global do Clima e Vida Terrestre. Os fertilizantes vítreos apresentam diversas vantagens por possuírem uma dissolução uniforme dos componentes, ação prolongada, solubilização completa (sem deixar resíduos), facilidade de obtenção, liberação lenta, uma alta versatilidade composicional e baixo risco ambiental. Assim, seu uso em substituição aos fertilizantes convencionais evitaria problemas ambientais ocasionados pela acidificação e acúmulo excessivo de nutrientes no solo; lixiviação, com consequente eutrofização de rios e lagos; contaminação de águas subterrâneas; aquecimento global, pela liberação de gases de efeito estufa; e mortalidade de organismos não-alvo, contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The continuous expansion of Brazilian agribusiness has propelled the country into becoming one of the world's largest consumers of fertilizers, as well as a prominent importer of this product. This is primarily due to the low domestic production of fertilizers and the high demand within the nation. Thus, the production and use of the glass fertilizer studied here may allow Brazil to become less dependent on large exporters, expanding the national economy, in addition to favoring small producers due to the possibility of acquiring a non-dollarized fertilizer. Moreover, the joint analysis of

the results of this research contributes significantly to advances in the area of Environment and Agriculture, collaborating with the sustainable development objectives of the 2030 Agenda proposed by the UN. Among them, 2, 6, 8, 11, 12, 13 and 15 stand out, which include topics such as Zero Hunger and Sustainable Agriculture, Clean Water and Sanitation, Decent Work and Economic Growth, Sustainable Cities and Communities, Responsible Consumption and Production, Climate Action and Life on Land. Glass fertilizers have several advantages due to their uniform dissolution of the components, prolonged action, complete solubilization (without leaving residues), ease of obtaining, slow release, high compositional versatility and low environmental risk. Thus, its use instead of conventional fertilizers would avoid environmental problems caused by acidification and excessive accumulation of nutrients in the soil; leaching, with consequent eutrophication of rivers and lakes; groundwater contamination; global warming, through the release of greenhouse gases; and mortality of non-target organisms, contributing to a more sustainable agriculture.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE ECOTOXICOLÓGICA DE FERTILIZANTES A BASE DE VIDROS ÓXIDOS MULTICOMPONENTES

AUTOR: THOMAZ WILLIAM BOAVENTURA

ORIENTADORA: DÂNIA ELISA CHRISTOFOLETTI MAZZEO MORALES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Biológicas (Biologia Celular, Molecular e Microbiologia), área: Diversidade Biológica e Biologia Ambiental pela Comissão Examinadora:


Documento assinado digitalmente
 DANIA ELISA CHRISTOFOLETTI MAZZEO M
Data: 22/08/2023 11:53:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. DÂNIA ELISA CHRISTOFOLETTI MAZZEO MORALES (Participação Virtual)
Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal / UFSCar



Prof. Dr. MATHEUS MANTUANELLI ROBERTO (Participação Virtual)
UNIARARAS

Profa. Dra. DANIELA MORAIS LEME (Participação Virtual)
Universidade Federal do Paraná

Documento assinado digitalmente
 DANIELA MORAIS LEME
Data: 18/08/2023 13:40:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rio Claro, 18 de agosto de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família por não pouparem esforços para que fosse possível concluir meu curso de graduação, e posteriormente, o mestrado.

À professora Dânia, por ter aceitado a orientação durante o período de pouco mais de dois anos, pelos ensinamentos, calma, paciência e dedicação constante para que este trabalho se desenvolvesse da melhor maneira possível. Fico muito feliz e realizado por poder ter a oportunidade de ter sido seu aluno, você é uma das minhas inspirações pessoais.

Às professoras Marin e Dejanira por terem me acolhido em seus laboratórios, fazendo com que fosse possível o desenvolvimento da parte prática da pesquisa. Agradeço também às técnicas dos laboratórios, Adriana e Dilza por todo o apoio durante as atividades de laboratório, pelos ensinamentos e pelo cuidado com o ambiente de trabalho.

Aos meus colegas de laboratório: Leticia Rosa, Matheus, Prolo, Letícia Gigeck, Jossandra, Bruna, Ana Damasceno, Giovana Fernandes e Giovanna Lima portodo o apoio prestado e contribuições no desenvolvimento deste trabalho, sem vocêsesse momento não teria sido tão especial.

Agradeço em especial à Letícia Rosa, pelo empréstimo do microscópio após o incêndio acometido no prédio do Instituto de Biociências, responsável pela destruição dos equipamentos necessários para esse trabalho, fazendo com que fosse possível finalizar a parte de análise celular. Muito obrigado não apenas pela comoção, mas também pela amizade maravilhosa que surgiu fruto desse trabalho. Agradeço pelas conversas, pelas risadas, cafezinhos com bolo de cenoura, cantorias e várias outras obras que eu poderia escrever ao longo de um livro. Enfim, sua presença tornouesse momento tão cansativo da vida acadêmica, muito mais agradável!

Aos professores e funcionários do Departamento de Biologia Geral e Aplicadae ao Instituto de Biociências da UNESP de Rio Claro, por todo o suporte.

O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, GM GD 2020 - Apoio a projetos de pesquisa científica, tecnológica e de inovação - Bolsas de Mestrado, Processo 157496/2021-0.

Enfim, a todos que contribuíram para a realização deste projeto, meus sinceros agradecimentos!

"Apesar de tudo eu ainda creio na bondade humana."

- Anne Frank

Resumo

O uso de fertilizantes está diretamente relacionado com o aumento da produtividade agrícola em todo o mundo. Por outro lado, a utilização constante de fertilizantes minerais pode acarretar em poluição ambiental e, conseqüentemente, em malefícios para a biota, além de apresentar baixa eficiência no que se refere à absorção de nutrientes pelas plantas. Dessa forma, novas técnicas de fertilização vêm sendo desenvolvidas para que a produção agrícola ocorra de forma eficiente, sustentável e com um excelente custo benefício. Entre essas novas tecnologias, destacam-se os fertilizantes inteligentes, como os fertilizantes vítreos, com capacidade de liberar lentamente os nutrientes de acordo com as necessidades nutricionais das plantas. Contudo, pouco se sabe sobre a toxicidade destes materiais para os organismos. Assim, o presente estudo buscou avaliar os possíveis impactos ecotoxicológicos de um fertilizante vítreo óxido multicomponente, de liberação lenta, a partir de testes de fitotoxicidade com *Lactuca sativa*, citogenotoxicidade com *Allium cepa* e respiração microbiana do solo por meio de ensaios de respirometria. Os testes foram realizados com cinco concentrações diferentes (0,317 g/L; 0,633 g/L; 1,267 g/L; 2,534 g/L; 5,063 g/L), com a aplicação do fertilizante diretamente em solo e, também, com o extrato aquoso, após 24h, 48h, 72h, 120h e 144h de solubilização. As análises mostraram que o fertilizante pode ser considerado potencialmente fitotóxico e genotóxico em altas concentrações e em longos períodos de liberação quando dissolvido em água, evidenciando a necessidade de estabelecer uma concentração ideal de aplicação. Contudo, pela aplicação direta do fertilizante no solo, nenhum efeito tóxico foi observado. O fertilizante foi ainda capaz de impulsionar a microbiota natural do solo, o que pode contribuir com a produtividade agrícola. Os resultados indicam que o uso deste fertilizante é promissor, em termos ambientais, o que pode contribuir para a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e favorecer o cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030, propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Palavras-chave: Fertilizante vítreo; Agricultura sustentável; Ecotoxicidade; *Lactuca sativa*; *Allium cepa*; Respirometria.

Abstract

The use of fertilizers is directly related to the increase in agricultural productivity worldwide. On the other hand, the constant use of mineral fertilizers can lead to environmental pollution and, consequently, harm to the biota, in addition to presenting low efficiency with regard to the absorption of nutrients by plants. In this way, new fertilization techniques have been developed so that agricultural production occurs efficiently, sustainably and with an excellent cost benefit. Among these new technologies, smart fertilizers stand out, such as glass fertilizers, with the ability to slowly release nutrients according to the nutritional needs of plants. However, little is known about the toxicity of these materials to organisms. Thus, the present study sought to analyze the possible ecotoxicological impacts of a multicomponent slow-release vitreous oxide fertilizer phytotoxicity tests with *Lactuca sativa*, cytogenotoxicity with *Allium cepa* and soil microbial respiration through respirometry tests. The tests were carried out with five different concentrations (0.317 g/L; 0.633 g/L; 1.267 g/L; 2.534 g/L; 5.063 g/L), with the application of the fertilizer directly to the soil and also with the aqueous extract, after 24h, 48h, 72h, 120h and 144h of solubilization. The analyzes showed that the fertilizer can be considered environmentally phytotoxic and genotoxic at high concentrations and at long release periods when dissolved in water, highlighting the need to establish an ideal application concentration. However, by direct application of fertilizer to the soil, no toxic effects were applied. The fertilizer was even able to contribute to the natural microbiota of the soil, which can contribute to agricultural productivity. The results indicate that the use of this fertilizer is promising, in environmental terms, which can contribute to the promotion of more sustainable agricultural practices and favor the fulfillment of the sustainable development objectives of the 2030 Agenda, proposed by the United Nations (UN).

Keywords: Glass fertilizer; Sustainable agriculture; Ecotoxicity; *Lactuca sativa*; *Allium cepa*; Respirometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fertilizante vítreo multicomponente.....	26
Artigo 1		
Figura 1	Resultado da liberação dos nutrientes do fertilizante a partir da Análise por ICP OES no tempo de 144h de liberação.....	38
Figura 2	Comprimento da radícula e do hipocótilo de <i>L. sativa</i> expostas asoluções aquosas do fertilizante vítreo.....	41
Figura 3	Comparação entre os índices de germinação obtidos no ensaio de fitotoxicidade com <i>L. sativa</i> , após exposição a diferentes soluções aquosas do fertilizante.....	43
Figura 4	Comparação entre os índices mitóticos obtidos no ensaio de citotoxicidade com <i>A. cepa</i> , após exposição a diferentes soluções aquosas do fertilizante.....	45
Figura 5	Aberrações cromossômicas e alterações nucleares observadas nos ensaios de genotoxicidade em células meristemáticas de <i>Allium cepa</i>	48
Artigo 2		
Figura 1	Esquema do respirômetro de Bartha.....	65
Figura 2	Reta analítica da produção de CO ₂ em função da condutividade medida em solução.....	67
Figura 3	Comprimento da radícula e hipocótilo de <i>L. sativa</i> exposta a diferentes concentrações do fertilizante vítreo em solo.....	69
Figura 4	Comparação entre os índices de germinação do ensaio de fitotoxicidade com <i>L. sativa</i> após exposição ao solo contendo diferentes concentrações do fertilizante vítreo.....	70
Figura 5	Comparação entre os índices mitóticos obtidos no ensaio de citotoxicidade com <i>A. cepa</i> , após exposição a diferentes concentrações do fertilizante vítreo.....	71
Figura 6	Produção microbiana semanal de CO ₂ em solos contendo o fertilizante vítreo.....	74
Figura 7	Produção Acumulada de CO ₂	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Principais exportadores de fertilizantes para o Brasil, dados de janeiro a dezembro de 2022.....	20
----------	--	----

Artigo 1

Tabela 1	Reagentes e respectivas porcentagens das massas utilizados na síntese do vidro multicomponente padrão.....	32
Tabela 2	Quantificação dos nutrientes liberados por solubilização do fertilizante vítreo em água, analisado por ICP OES.....	36
Tabela 3	Valores de pH das amostras solubilizadas nas cinco concentrações e tempos de solubilização.....	40
Tabela 4	Taxa de germinação relativa (%) de sementes de <i>L. sativa</i> expostas às amostras solubilizadas do fertilizante vítreo.....	40
Tabela 5	Taxa de genotoxicidade (%) em <i>A. cepa</i> com amostras solubilizadas.....	46

Artigo 2

Tabela 1	Reagentes e respectivas porcentagens das massas utilizados na síntese do vidro multicomponente padrão.....	60
Tabela 2	Caracterização físico-química do solo arenoso utilizado nos experimentos.....	61
Tabela 3	Germinação relativa (%) em <i>L. sativa</i> de sementes expostas ao fertilizante vítreo adicionado ao solo.....	68
Tabela 4	Taxa de genotoxicidade (%) em <i>A. cepa</i> com diferentes concentrações de teste.....	72
Tabela 5	Quantificação de bactérias heterotróficas e fungos presentes nas amostras.....	73

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AC	Aberrações Cromossômicas
B	Boro
Ca	Cálcio
Cl	Cloro
CO ₂	Gás Carbônico
CN	Controle Negativo
CR	Crescimento Relativo
CP	Controle Positivo
Cu	Cobre
EUA	Estados Unidos da América
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
Fe	Ferro
GR	Germinação Relativa
H	Hidrogênio
ICP OES	<i>Inductively coupled plasma optical emission spectrometry</i>
IG	Índice de Germinação
IM	Índice Mitótico
K	Potássio
Mg	Magnésio
MN	Micronúcleo
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Nh ₃	Amônio
N ₂ O	Óxido Nitroso
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
PCA	<i>Plate Count Agar</i>
PIB	Produto Interno Bruto
S	Enxofre
Si	Silício
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	Introdução e justificativa.....	14
2	Revisão da Literatura.....	17
2.1	Produção agrícola e o consumo de fertilizantes no Brasil e no mundo.....	17
2.2	Produtores e exportadores de fertilizantes.....	19
2.3	Danos ambientais ocasionados pelos fertilizantes tradicionais.....	20
2.4	Materiais alternativos aos fertilizantes tradicionais.....	21
2.5	Ensaio ecotoxicológicos.....	22
2.5.1	Fitotoxicidade.....	23
2.5.2	Citogenotoxicidade.....	24
2.5.3	Respiração do solo.....	24
3	Objetivos.....	25
4	Material e método.....	26
5	Resultados e Discussão.....	27
5.1	Avaliação fitotóxica e citogenotóxica de fertilizante a base de vidros óxidos multicomponentes, visando à agricultura sustentável.....	28
5.2	Análise ecotoxicológica de fertilizante a base de vidros óxidos multicomponentes aplicados em solo: uma alternativa sustentável para a agricultura.....	56
6	Considerações finais.....	84
7	Referências.....	85

1 Introdução e justificativa

No Brasil, um dos setores econômicos mais importantes é o agronegócio, que movimentou, no ano de 2020, mais de R\$ 100 bilhões, colocando o país em quarto lugar no ranking de maior produtor mundial de alimentos (OLIVEIRA; MALAGOLLI; CELLA, 2019). Condizente com a contínua expansão do agronegócio nacional, os índices de uso de agrotóxicos e fertilizantes também aumentaram continuamente a partir da década de 90, onde se registrou um aumento significativo da produtividade, principalmente, em decorrência do uso de fertilizantes no solo (JANK; NASSAR; TACHINARDI, 2005). Desde então, existe um grande incentivo no desenvolvimento de pesquisas e novas tecnologias que possam contribuir para a melhoria desse setor, uma vez que a demanda por alimentos que atendam a necessidade da população mundial crescente está entre os grandes desafios deste século (BHAT; JÕUDU, 2019).

Dentre os insumos agrícolas, os fertilizantes representam um recurso básico e essencial da nutrição agrícola que confere eficiência à produção. Atualmente, mais de 48% da população mundial possui alimentação garantida pela produção agrícola por meio do emprego de fertilizantes nitrogenados, uma vez que, sem o seu uso, apenas metade dos alimentos seria produzida e uma quantidade maior de paisagens naturais teria que ser convertida em culturas agrícolas para manter a alimentação da população mundial (REETZ, 2017; MACIEL; TUNES, 2021).

Para atingir uma condição ótima de crescimento, a planta necessita ter acesso a quantidades ideais de macronutrientes (N, P, K, H, Mg, Ca e S) e micronutrientes (B, Cl, Mn, Fe, Zn, Cu e Mo), a fim de garantir seu desenvolvimento saudável (AFTAB; HAKEEM, 2020). Dentre os macronutrientes, o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) representam os principais minerais para a promoção do crescimento vegetal (BAHADUR; MEENA; KUMAR, 2014) e, por isso, constituem a base dos fertilizantes minerais. Contudo, embora requeridos em menor quantidade, os demais também desempenham importantes papéis na fisiologia do vegetal. Os micronutrientes, por exemplo, estão relacionados aos mecanismos de defesa contra doenças, participando como cofatores na ativação de enzimas (SOLANKEY *et al.*, 2020).

Assim, para garantir uma alta produtividade e suprir a perda de nutrientes do solo degradado pelo intenso uso agrícola, a aplicação de fertilizantes tradicionais em culturas agrícolas representa uma das principais práticas adotadas nos dias atuais

(JAMIL *et al.*, 2021). No entanto, a maior parte dos nutrientes que são adicionados ao solo não é absorvida pelas plantas, ocasionando sérios problemas ambientais, além de representar um custo adicional desnecessário ao agricultor e um desperdício dos recursos minerais naturais (YE *et al.*, 2020). Sabe-se que apenas 50%, 10% e 2% do total de N, P e K adicionado ao solo, respectivamente, são aproveitados pelas plantas (COSTA *et al.*, 2012; SHANWARE; KALKAR; TRIVEDI, 2014; SIMPSON *et al.*, 2011).

Dentre os prejuízos ambientais ocasionados por essa prática, encontram-se a degradação do solo pela introdução de contaminantes (p.e., metais), interferência na ciclagem de nutrientes, a acidificação e a salinização deste meio (TETTEH, 2015; ZHANG *et al.*, 2019). O excesso na aplicação de fertilizantes também pode acarretar na lixiviação acentuada de nutrientes para corpos hídricos próximos, especialmente N e P, promovendo a eutrofização de ambientes aquáticos (AYELE; ATLABACHEW, 2021). Além disso, o uso indiscriminado de fertilizantes também contribui, significativamente, para a geração de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, óxido nitroso e metano (WANG *et al.*, 2017).

Desse modo, com a finalidade de atingir a otimização da produção e possibilitar a utilização eficiente e sustentável dos recursos disponíveis, bem como contribuir para preservação dos ecossistemas, pesquisadores vêm desenvolvendo novas tecnologias com foco na nutrição das plantas, para a melhoria do manejo de nutrientes (REETZ, 2017).

Tendo em vista os estudos que demonstram uma baixa eficiência na absorção dos nutrientes presentes nos fertilizantes minerais pelas plantas, pesquisadores buscam desenvolver um “fertilizante inteligente”, que se adeque às necessidades das plantas de forma que a liberação dos nutrientes aconteça de maneira controlada ou lenta, a fim de otimizar sua absorção, sem que aconteça uma rápida lixiviação dos nutrientes como ocorre nos fertilizantes convencionais (MENDONÇA *et al.*, 2006; BORSARI, 2013). Esses fertilizantes de liberação lenta reduzem as perdas de nutrientes, como do nitrato por lixiviação e volatilização de amônia, minimizando o risco de contaminação ambiental. Ainda, apesar de apresentarem um custo mais elevado do que os fertilizantes tradicionais, oferecem melhor custo-benefício devido ao completo aproveitamento dos nutrientes, levando a uma menor necessidade de aplicação e diminuição de custos com mão de obra, armazenagem, transporte, entre outros (BORSARI, 2013). Além disso, este tipo de fertilizante confere precisão às

culturas agrícolas, tornando possível alterar a composição do material de forma que a liberação dos nutrientes aconteça da maneira desejada (MOURA, 2019). Uma vez que cada planta apresenta uma fisiologia específica e uma demanda diferenciada em relação às concentrações dos macro e micronutrientes (NADEEM *et al.*, 2018), o emprego dos "fertilizantes inteligentes" representa um avanço para o setor agrícola.

Adicionalmente, a dependência do Brasil quanto à importação de fertilizantes ressalta a importância do desenvolvimento e produção nacional de fertilizantes eficientes, que comportem a demanda do país. Com base em dados referentes ao ano de 2017, 24% dos fertilizantes nitrogenados, 20% dos fertilizantes potássicos e 14% dos fosfatados tiveram como origem a Rússia (OLIVEIRA; MALAGOLLI; CELLA, 2019). Com o início das invasões russas na Ucrânia, houve um impacto direto sobre o fornecimento de fertilizantes, afetando países como o Brasil, que mantinham relação de dependência com os dois antagonistas.

Neste sentido, os fertilizantes vítreos destacam-se por serem uma alternativa mais viável frente aos rotineiramente utilizados, principalmente pela sua versatilidade composicional, facilidade de obtenção, dissolução uniforme dos componentes, liberação lenta dos elementos presentes na sua estrutura, completa solubilização em água e não gerar subprodutos (MOURA, 2019).

A avaliação ecotoxicológica provê dados sobre os danos de substâncias químicas ao ecossistema, fornecendo informações a respeito dos malefícios causados à saúde e ao ambiente. Essa abordagem vem sendo sugerida por diversos autores para verificar a segurança ambiental de diferentes materiais com potencialidade para uso como fertilizantes agrícolas (ANACLETO *et al.*, 2017; MAZZEO *et al.*, 2015; PANTANO *et al.*, 2021; SOMMAGGIO *et al.*, 2018).

Bioensaios realizados com sementes de alface (*Lactuca sativa*) representam uma excelente ferramenta para verificar o impacto de agentes químicos na germinação e no crescimento da planta, por ser um teste rápido, simples e com alta sensibilidade e reprodutibilidade (PRIAC; PIERRE-MARIE; CRINI, 2017).

Dentre os vegetais superiores, a espécie *Allium cepa* destaca-se pelas suas características citogenéticas apropriadas, pela facilidade de cultivo e desenvolvimento do teste, o que a torna um excelente organismo-teste para avaliações ecotoxicológicas (KURÁS *et al.*, 2006). O ensaio utilizando *A. cepa* tem sido empregado com sucesso na avaliação do potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de diferentes substâncias químicas e amostras ambientais complexas

(LEME; ANGELIS; MARIN-MORALES, 2008).

A incorporação de novas substâncias ao solo pode acarretar na alteração de sua comunidade microbiana, cuja atividade pode ser avaliada por meio de ensaios de respirometria (ARAÚJO; MONTEIRO, 2006). A respiração microbiana é um bom indicador da qualidade e da saúde do solo (SPARDA *et al.*, 2017), trazendo informações importantes para a conservação deste meio.

Embora os fertilizantes vítreos de liberação lenta apresentem-se como uma solução tecnológica promissora e mais sustentável para a agricultura de precisão quando comparados aos fertilizantes tradicionalmente utilizados, principalmente em termos econômicos e ambientais, pouco se sabe sobre seus efeitos ecotoxicológicos quando aplicado aos solos. Assim, o presente estudo realizou uma avaliação ecotoxicológica de um fertilizante à base de vidros óxidos multicomponentes de liberação lenta, a fim de garantir seu uso seguro para os organismos expostos e para o ambiente.

6 Considerações finais

Apesar de liberar nutrientes de forma lenta e gradual, a aplicação de elevadas concentrações do fertilizante vítreo em condições altamente otimizadas de liberação (como nos extratos aquosos) podem causar efeitos fitotóxicos e genotóxicos não desejados ao inibir o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas, além de causar aberrações cromossômicas. Desse modo, a concentração C1 (0,317 g/L) do fertilizante, a qual não apresentou efeito tóxico nas condições mencionadas, mostra-se a mais indicada. Os efeitos ecotóxicos observados podem ser resultado de duas hipóteses principais: uma alta taxa de fósforo e/ou potássio na composição do produto, capaz de inibir a absorção de outros nutrientes pela planta e uma acidificação no pH pelo acúmulo de vários nutrientes no meio.

Em circunstâncias de aplicação do fertilizante diretamente em solo, todas as concentrações (0,317 g/kg; 0,633 g/kg; 1,267 g/kg; 2,534 g/kg; 5,063 g/kg) mostraram-se seguras para aplicação por não apresentar efeito inibidor no desenvolvimento de *L. sativa*, assim como ausência de citogenotoxicidade para *A. cepa*. Para a microbiota, além de não causar toxicidade, houve um estímulo para o crescimento de atividade microbiana, aumentando o número de bactérias e fungos no solo, fator que favorece seu objetivo principal de ampliar a produtividade agrícola.

Portanto, através dos resultados obtidos pode-se concluir que o fertilizante vítreo testado atinge seu objetivo principal de fornecer nutrientes de maneira controlada e gradual para as plantas e sua aplicação pode ser eficiente ao favorecer a atividade agrícola, desde que seja administrado em concentrações ideais de aplicação.

7 Referências

AFTAB, T.; HAKEEM, K. R. **Plant micronutrients: deficiency and toxicity management**. Springer Nature, 2020. E-book.

ALI, H.; KHAN, E.; ILAHI, I. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. **Journal of Chemistry**, v. 2019, p. 1 - 14, 2019. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2019/6730305/>. Acesso em: 28 jul 2023.

ANACLETO, L. R.; ROBERTO, M. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Toxicological effects of the waste of the sugarcane industry, used as agricultural fertilizer, on the test system Allium cepa*. **Chemosphere**, v. 173, p. 31-42, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.033>. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/169346>. Acesso em: 14 maio 2021.

ANGELO, L. M.; FRANÇA, D.; FAEZ, R. *Biodegradation and viability of chitosan-based microencapsulated fertilizers*. **Carbohydrate Polymers**, v. 257, p. 117635, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861721000230?via%3Dihub>. Acesso em: 20 mar 2023.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. *Microbial biomass and activity in a Brazilian soil amended with untreated and composted textile sludge*. **Chemosphere**, v. 64, n. 6, p. 1043-1046, ago. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.01.040>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653506000919>. Acesso em: 19 julho 2021.

AYELE, H. S.; ATLABACHEW, M. *Review of characterization, factors, impacts, and solutions of Lake eutrophication: lesson for lake Tana, Ethiopia*. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 28, p. 1-20. jan. 2021. DOI: 10.1007/s11356-020-12081-4. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348914691_Review_of_characterization_factors_impacts_and_solutions_of_Lake_eutrophication_lesson_for_lake_Tana_Ethiopia. Acesso em: 15 julho 2021.

BAHADUR, I.; MEENA, V. S.; KUMAR, S. Importance and application of potassic biofertilizer in Indian agriculture. **Research Journal of Chemical Sciences**. v. 3, p. 80-85, dez. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Vijay-Meena-2/publication/274081635_Importance_and_Application_of_Potassic_Biofertilizer_in_Indian_Agriculture/links/55f3844108ae63926cf2504a/Importance-and-Application-of-Potassic-Biofertilizer-in-Indian-Agriculture.pdf. Acesso em: 18 julho 2021.

BAI, Z. *et al*. Designing Vulnerable Zones of Nitrogen and Phosphorus Transfers To Control Water Pollution in China. **Environmental Science & Technology**. v. 52 p. 8987 - 8988, 2018. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.8b02651>. Acesso em: 31 mar 2023.

BAO, L. *et al*. China's water pollution by persistent organic pollutants. **Environmental**

Pollution, v. 163, p. 100-108, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111006798>. Acesso em: 31 mar 2023.

BARTHA, R; PRAMER, D. Features of a flask and method for measuring the persistence and biological effects of pesticides in soil. **Soil Science**, v. 100, p. 68-70, jul. 1965.

BEKETOV, M. A.; LIESS, M. Ecotoxicology and macroecology--time for integration. **Environmental Pollution**, v. 162, p. 247 - 254, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749111006282?via%3Dihub>. Acesso em: 28 jul 2023.

BERTI, A. P.; SILVEIRA, M. J. da; GRASSI, L. E. A.; SILVA, E. M. da S. E. A importância da genética ecotoxicológica. **Revista de Saúde e Biologia**, v. 4, n. 1, p. 52 - 55, 2009. Disponível em: <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/126>. Acesso em: 28 jul 2023.

BENÍCIO, L. P. Panorama do uso de fertilizantes fosfatados no brasil, umarevisão. **Agri-environmental sciences**, v. 8, n. 2, p. 1-12, 20 dez. 2022. Acesso em: 16 março 2023,

BHAT, R.; JÖUDU, I. Emerging issues and challenges in agri-food supply chain. **Sustainable food supply chains**. p. 23 - 37, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128134115000028>. Acesso em: 20 julho 2021.

BORSARI, F. Fertilizantes inteligentes. **Agro DBO**, p.54-57, jun. 2013. Disponível em: http://www.bbagro.com.br/artigos/Tecnologia%20Edi_o%20jun13.pdf. Acesso em: 05 julho 2021.

BROOKS, B. Greening Chemistry and Ecotoxicology Towards Sustainable Environmental Quality. **Green Chemistry**, v. 21, p. 2575 - 2582, 2019. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/GC/C8GC03893G>. Acesso em: 28 jul 2023.

CAMENZIND, T. *et al.* Nutrient limitation of soil microbial processes in tropical forests. **Ecological Monographs**, v. 88, n. 1, p. 4-21, 2017. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ecm.1279>. Acesso em: 10 abr 2023.

CARVALHO, D. G. Agricultura e aquecimento global: efeitos e mitigação. **Enciclopédia biosfera** - Suplemento Especial, Goiânia, v .5, n. 8, p. 1 -18, 2009. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/SABC/agricultura%20e%20aquecimento.pdf>. Acesso em: 03 abr 2023.

CARVALHO, N. L.; PIVOTO, T. S. Ecotoxicologia: conceitos, abrangência e importância agrônômica. **Revista Monografias Ambientais**, v. 2, n. 2, p. 176 - 192, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/2315>. Acesso em: 28 jul 2023.

CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente?. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 6, n. 6, p. 960–974, 2012.

Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/4671>. Acesso em: 21 mar 2023.

CECAGNO, D. *et al.* Acidificação do solo sob fertilização nitrogenada de longo prazo em campo nativo com introdução de azevém. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v. 18, n. 2, p. 263 - 267, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/10326>. Acesso em: 03 abr 2023.

CESCHIN, S.; BELLINI, A.; SCALICI, M. Aquatic plants and ecotoxicological assessment in freshwater ecosystems: a review. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 28, p. 4975 - 4988, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-11496-3>. Acesso em: 07 jun 2023.

CHAN-KEB, C. A. *et al.* Acute phytotoxicity of four common pharmaceuticals on the germination and growth of *Lactuca sativa* L. **Applied ecology and environmental research**, v. 20, n. 5, p. 3737-3746, 2022. Acesso em: 26 mar 2023.

CHEN G. *et al.* Physiological and Morphological Responses of Hydroponically Grown Pear Rootstock Under Phosphorus Treatment. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1-14, nov. 2021. Acesso em: 09 março 2023.

CIURLI, A. *et al.* A novel P nanofertilizer has no impacts on soil microbial communities and soil microbial activity. **Applied Soil Ecology**, v. 178, p. 1-6, 2022. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S092913932200186X?token=E8C4A6D15A9676163E14212634CEF5EC182FA80CCCE0D3D8DF5414346682D6750EA70436858D259CABD0A3FDD9651F24&originRegion=us-east-1&originCreation=20230410183329>. Acesso em: 10 abr 2023.

COELHO, A. P. D. *et al.* Genotoxic and antiproliferative potential of extracts of *Echinodorus grandiflorus* and *Sagittaria montevidensis* (Alismataceae). **Caryologia**, v.70, n.1, 82-91, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00087114.2016.1275932?scroll=top&needAccess=true&role=tab>. Acesso em: 04 set 2023.

COLOMBO, J.; RAHAL, P. Alterações Genéticas em Câncer de Cabeça e Pescoço. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 55, n. 2, p. 165-174, jun. 2009. Disponível em: https://rbc.inca.gov.br/site/arquivos/n_55/v02/pdf/11_revisao_literatura2.pdf. Acesso em: 22 junho 2021.

COMEXSTAT. Exportação e Importação Geral. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 05 jun 2023.

COSTA, P. B. *et al.* The effects of different fertilization conditions on bacterial plant growth promoting traits: guidelines for directed bacterial prospection and testing. **Plant and Soil**, v. 368, p. 267 - 280, nov. 2012. DOI: 10.1007/s11104-012-1513-z. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257638980_The_effects_of_different_fertilization_conditions_on_bacterial_plant_growth_promoting_traits_Guidelines_for_directed_bacterial_prospection_and_testing. Acesso em: 16 julho 2021.

COTA-RUIZ, K. *et al.* Copper nanowires as nanofertilizers for alfalfa plants: Understanding nano-bio systems interactions from microbial genomics, plant molecular responses and spectroscopic studies. **Science of the total environment**, v. 742, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720340948>. Acesso em: 10 abr 2023.

DINCĂ, L. C. *et al.* Fertilization and soil microbial community: a review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 3, p. 1 - 20, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/1198>. Acesso em: 10 abr 2023.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Ecological effects test guidelines (OPPTS 850.4200)**: seed germination/root elongation toxicity test public draft. 1996.

EUROSTAT. **Mineral fertiliser consumption remained high in 2020**. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220628-1>>. Acesso em: 20 mar 2023.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 3, p. 497 - 516, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/vV6K8XSmRXzn49Khhsbww4D/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 jul 2023.

GASQUEZ, J. G. *et al.* Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas. **Revista de política agrícola**, n. 3, p. 83 - 92, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82666/1/Produtividade-da-agricultura-brasileira-e-os-efeitos-de-algumas-politicas.pdf>. Acesso em: 28 jul 2023.

GARDUQUE, R. G. *et al.* Synthesis and Characterization of Sodium Carboxymethyl Cellulose/Sodium Alginate/Hydroxypropyl Cellulose Hydrogel for Agricultural Water Storage and Controlled Nutrient Release. **Solid State Phenomena**. v. 304, p. 51–57, 2020. Disponível em: <https://www.scientific.net/SSP.304.51>. Acesso em: 26 mar 2023.

GEISSELER, D.; SCOW, K. M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms—A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 75, p. 54-63, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071714001187>. Acesso em: 10 abr 2023.

GONÇALVES, M. M. C *et al.* Phytotoxicity and cytogenotoxicity of composted tannery sludge. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 27, 34495-34502, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09662-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-09662-8>. Acesso em: 02 jul 2021.

GRANT, W. F. 1982. Chromosome aberration assays in allium: A report of the U.S. environmental protection agency gene-tox program. **Mutation Research**, v. 99, n. 3, p. 273-291, 1982.

GUSTIAR, F. *et al.* Biofortification of calcium on mustard (*Brassica juncea L.*) and lettuce

(*Lactuca sativa*) cultivated in floating hydroponic system. **Buletin Agroteknologi**, v. 1, n. 1, p. 27-36, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342879721_Biofortification_of_calcium_on_mustard_Brassica_junceae_L_and_lettuce_Lactuca_sativa_cultivated_in_floating_hydroponic_system. Acesso em: 26 mar 2023.

GÜLER, S. Developments on fertilizer consumption of the world and Turkey. **Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi**, v. 21, n. 2, p. 243 - 248, 2006. Disponível em: https://dergipark.org.tr/en/pub/omuanajas/issue/20230/214295#article_cite. Acesso em: 28 jul 2023.

HARA, R. V.; MARIN-MORALES, M. A. In vitro and in vivo investigation of the genotoxic potential of waters from rivers under the influence of a petroleum refinery (São Paulo State e Brazil). **Chemosphere**, v. 174, p. 321 - 330, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517301583?via%3Dihub>. Acesso em: 04 set 2023.

HAZRA, G. Different types of eco-friendly fertilizers: An overview. **Sustainability in Environment**. v. 1, n. 1, p. 54 - 70, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/268085799.pdf>. Acesso em: 20 jun 2023.

JAMIL, I. *et al.* Agricultural Innovation: A comparative analysis of economic benefits gained by farmers under climate resilient and conventional agricultural practices. **Land Use Policy**. v. 108, set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105581>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837721003045>. Acesso em: 08 julho 2021.

JANK, M. S.; NASSAR, A. M.; TACHINARDI, M. H. Agronegócio e comércio exterior brasileiro. **Revista USP**. São Paulo, n. 64, p. 14 - 27, fev. 2005. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/revusp/article/download/13387/15205>. Acesso em: 28 junho 2021.

JORGE, M. H. A. *et al.* Uso de hidrogel nanocompósito na produção de mudas de tomate e pimentão. **Embrapa Hortaliças**. Brasília, p. 1-24, ago. 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201160/1/CT-167-20-08-2019-2.pdf>. Acesso em: 30 junho 2021.

KALWANI, M. *et al.* Effects of nanofertilizers on soil and plant-associated microbial communities: Emerging trends and perspectives. **Chemosphere**, v. 287, p. 1 - 13, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521025790>. Acesso em: 10 abr 2023.

KURÁS, M. *et al.* Changes in chromosome structure, mitotic activity and nuclear DNA content from cells of *Allium Test* induced by barck water extract of *Uncaria tomentosa* (Willd.) DC. **Chemosphere**. v. 107, p. 211-221, 2006. DOI: 10.1016/j.jep.2006.03.018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16793229/>. Acesso em: 25 jun 2021.

LABBILTA, T. *et al.* Innovative Formulations of Phosphate Glasses as Controlled-Release

Fertilizers to Improve Tomato Crop Growth, Yield and Fruit Quality. **Molecules**. v. 26, p. 1 - 21, 2021a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/13/3928>. Acesso em: 14 jun 2023.

LABBILTA, T. *et al.* Elaboration and characterization of vitreous fertilizers and study of their impact on the growth, photosynthesis, and yield of wheat (*Triticum durum* L.). **Materials**. v. 14, n.5, p. 1 - 19, 2021b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/5/1295>. Acesso em: 20 jun 2023.

LEME, D. M.; ANGELIS, D. F.; MARIN-MORALES, M. A. Action mechanisms of petroleum hydrocarbons present in waters impacted by an oil spill on the genetic material of *Allium cepa* root cells. **Aquatic Toxicology**. v. 88, p. 214 - 219, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.04.012>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18556073/>. Acesso em: 12 jul 2021.

LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**. Amsterdam, v. 682, n. 1, p. 71-81, jul. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mrrev.2009.06.002>. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/19821>. Acesso em: 22 jun 2021.

LESSA, L. R.; SILVA, M. C. C.; CARIELLO, F. M. R. Fundamentos e aplicações do *Allium cepa* L. como bioindicador de mutagenicidade e citotoxicidade de plantas medicinais. **Revinter**. v. 10, n. 03, p. 39 - 48, out. 2017. DOI: <https://doi.org/10.22280/revintervol10ed3.294>. Disponível em: <http://autores.revistarevinter.com.br/index.php?journal=toxicologia&page=article&op=view&path%5B%5D=294>. Acesso em: 03 jul 2021.

LI, Y. *et al.* An Analysis of China's Fertilizer Policies: Impacts on the Industry, Food Security, and the Environment. **Journal of Environment Quality**. v. 42(4), p. 972-981, 2013. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2012.0465>. Acesso em: 25 mar 2023.

LIMA-MONCAYO, A. O.; ZAMBRANO-GAVILANES, F. Uso de fertilizantes orgânicos en la producción de cucurbitáceas: revisión de literatura. **Paideia XXI**. v. 13, n. 1, p. 1 - 25, 2023. Disponível em: <http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/5671/7769>. Acesso em: 07 jun 2023.

LOPES, R. M. T.; BIDOIA, E. D. Evaluation of the biodegradation of different types of lubricant oils in liquid medium. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 52, p. 1285 - 1290, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000500028>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/CDYgNwHsHP5rH8rD8VYVwFR/?lang=en#>. Acesso em: 03 ago 2021.

LOURENÇO, V. A. *et al.* Phytotoxicity test of effluent and sludge from a rice parboiling industry. **Ciência E Natura**, v. 42, p. 1 - 11, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/39393>. Acesso em: 28 jul 2023.

MACAR, T. K. Investigation of cytotoxicity and genotoxicity of abamectin pesticide in *Allium*

cepa L. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 28, p. 2391–2399, set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10708-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-10708-0#citeas>. Acesso em: 16 jul 2021.

MACHADO, R. C. *et al.* Internal standardization as a strategy to overcome non-spectral interferences in the determination of As, Cd and Pb in mineral fertilizers by synchronous vertical dual view (SVDV) ICP OES. **Analytical Methods**, v. 12, n. 1, p. 39 – 45, 2020. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/AY/C9AY02343G>. Acesso em: 05 jun 2022.

MACIEL, L. M.; TUNES, L. V. M. A importância dos fertilizantes para a agricultura. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.7, n. 6, p. 58647-58658, jun. 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/31331/pdf>. Acesso em: 24 jun 2021.

MEENA, R. H.; JAT, G.; JAIN, D. Impact of foliar application of different nano-fertilizers on soil microbial properties and yield of wheat. **Journal of Environmental Biology**, v. 42, p. 302 - 308, 2021. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/2961f4541a36e30d8b63cc222ba74b08/1?pq-origsite=gscholar&cbl=636374>. Acesso em: 10 abr 2023.

MELLO, G. S. L. *et al.* Viabilidade da aplicação do método respirométrico de bartha para determinação da biodegradação de poluentes ou resíduos em latossolos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 71 - 78, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/wpFF68MCQypDBtXZjkp56Yh/?format=html>. Acesso em: 28 jul 2023.

MENDONÇA, V. *et al.* Substratos e doses de fertilizante de liberação controlada na produção de mudas de açaí. **Revista Ciências Agrárias**. Belém, n. 46, p. 275-285, 2006. Disponível em: <http://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/272/170>. Acesso em: 23 junho 2021.

MIKULA, K. *et al.* Controlled release micronutrient fertilizers for precision agriculture – A review. **Science of The Total Environment**. v. 712, p. 1 - 9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136365>. Acesso em: 09 mar 2023.

MOURA, A. C. A. **Estudos de síntese e solubilidade de vidros óxidos multicomponentes para aplicação como fertilizantes**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (graduação em química) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

NADEEM, F. *et al.* Role of macronutrients and micronutrients in the growth and development of plants and prevention of deleterious plant diseases – A comprehensive review. **International Journal of Chemical and Biochemical Sciences**. v. 13, p. 31-52, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329044150_Role_of_Macronutrients_and_Micronutrients_in_the_Growth_and_Development_of_Plants_and_Prevention_of_Deleterious_Plant_Diseases_-_A_Comprehensive_Review. Acesso em: 04 jul 2021.

NICCHIO, B. *et al.* Efeito da aplicação Foliar de Si, P e K no desenvolvimento, produção e

qualidade de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá (PR). v. 14, n. 2, p. 1-14, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Bruno-Nicchio/publication/350886724_Efeito_da_aplicacao_Foliar_de_Si_P_e_K_no_desenvolvimento_producao_e_qualidade_de_soqueira_de_cana-de-acucar/links/60784842881fa114b4034347/Efeito-da-aplicacao-Foliar-de-Si-P-e-K-no-desenvolvimento-producao-e-qualidade-de-soqueira-de-cana-de-acucar.pdf. Acesso em: 31 mar 2023.

NICOLELLA, A. C.; DRAGONE, D. S.; BACHA, C. J. C. Determinantes da Demanda de Fertilizantes no Brasil no período de 1970 a 2002. **Revista de economia e sociologia rural**, v. 43, n. 1, p. 81 - 100, 2005. Disponível em: <https://www.revistasober.org/journal/resr/article/doi/10.1590/S0103-20032005000100005>. Acesso em: 28 jul 2023.

OECD (*Observatory of Economic Complexity*). **Fertilizers - Product Trade, Exporters and Importers**, 2021a. Disponível em: [https://oec.world/en/profile/hs/fertilizers#:~:text=Exports%20In%202020%20the%20top,and%20France%20\(%241.83B\)>](https://oec.world/en/profile/hs/fertilizers#:~:text=Exports%20In%202020%20the%20top,and%20France%20(%241.83B)>). Acesso em: 20 mar 2023.

OECD (*Observatory of Economic Complexity*). **Fertilizers - Product Trade, Exporters and Importers**, 2021b. Disponível em: <https://oec.world/en/profile/hs/fertilizers#:~:text=Exports>. Acesso em: 20 mar 2023.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. Mercado de fertilizantes: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 489 - 498, 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/606>. Acesso em: 7 abr 2022.

PANTANO, G. *et al.* Toxicity of the sawdust used for phosphorus recovery in a eutrophic reservoir: experiments with *Lactuca sativa* and *Allium cepa*. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 28, n. 14, p. 18276-18283, jan. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/209863>. Acesso em: 03 jul 2021.

PITOMBO, L. M. *et al.* Methodology for soil respirometric assays: Step by step and guidelines to measure fluxes of trace gases using microcosms. **MethodsX**, v. 5, p. 656 - 668, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016118300943>. Acesso em: 28 jul 2023.

PRIAC, A.; BADOT, P. M.; CRINI, G. Treated wastewater phytotoxicity assessment using *Lactuca sativa*: focus on germination and root elongation test parameters. **Comptes Rendus Biologies**. v. 340, n. 3, p. 188-194, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2017.01.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069117300033>. Acesso em: 29 jun 2021.

PRIMO, T. A. R. da C. *et al.* Glyphosate concentration and phytotoxicity in *Lactuca sativa* Buttercrunch. **Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental**, v. 24, p. 1 - 14, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/62665>. Acesso em:

28 jul 2023.

QU, J.; FAN, M. The Current State of Water Quality and Technology Development for Water Pollution Control in China. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**. v. 40, n. 6, p. 519 - 560, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643380802451953>. Acesso em: 31 mar 2023.

RAMTEKE, A. *et al.* Study of germination effect of fertilizers like urea NPK and biozyme on some vegetable plants. **Der Chemica Sinica**, v. 4, n. 3, p. 22 - 26, 2013. Disponível em: <https://www.imedpub.com/articles/study-of-germination-effect-of-fertilizers-like-urea-npk-and-biozyme-on-somevegetable-plants.pdf>. Acesso em: 21 mar 2023.

REETZ J. R. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. 1 ed. São Paulo: ANDA, 2017. *E-book*.

REHMAN, A. *et al.* Fertilizer consumption, water availability and credit distribution: Major factors affecting agricultural productivity in Pakistan. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, p. 269 - 274, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X17301625>. Acesso em: 28 jul 2023.

RUDMIN, M. *et al.* An investigation of plant growth by the addition of glauconitic fertilizer. **Applied Clay Science**, v. 180, p. 1 - 8, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131719302364>. Acesso em: 28 jul 2023.

SAAB, A., PAULA, R. O mercado de fertilizantes no Brasil diagnósticos e propostas de políticas. **Revista de Política Agrícola**, v. 17, p. 5-24, Jun. 2008. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/404/355>. Acesso em: 21 mar 2023.

SAHA, G.; DAS, T. Glass Fertilizer - A historical overview. **Science and Culture**. v. 89, p. 107 - 109, 2023. Disponível em: https://scienceandculture-isna.org/uploads/latestIssue/06_Gouranga_Saha.pdf. Acesso em: 20 jun 2023.

SAVCI, S. Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. **APCBEE Procedia**, v. 1, p. 287 - 292, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212670812000486>. Acesso em: 27 mar 2023.

SHABALA, S.; CUIN, T. A. Potassium transport and plant salt tolerance. **Physiologia plantarum**, v. 133, n. 4, p. 651 - 669, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.2007.01008.x>. Acesso em: 27 mar 2023.

SHAHINI, E. *et al.* The supply shock in organic fertilizers for agriculture caused by the effect of Russia-Ukraine war. **Scientific Horizons**, v. 25, n. 2, p. 97 - 103, 2022. Disponível em: <https://sciencehorizon.com.ua/en/journals/tom-25-2-2022/shok-propozitsiyi-organichnikh-dobriv-dlya-silskogo-gospodarstva-sprichineny-rosiysko-ukrayinskoyu-viynoyu>. Acesso em: 27 mar 2023.

SHANWARE, A. S.; KALKAR, S. A.; TRIVEDI, M. M. Potassium solubilisers: occurrence, mechanism and their role as competent biofertilizers. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**. Nagpur, v. 3, p. 622-629, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Surekha-Kalkar/publication/270219923_Original_Research_Article_Potassium_Solubilisers_Occurrence_Mechanism_and_Their_Role_as_Competent_Biofertilizers/links/54a369460cf267bdb90431f2/Original-Research-Article-Potassium-Solubilisers-Occurrence-Mechanism-and-Their-Role-as-Competent-Biofertilizers.pdf. Acesso em: 18 jul 2021.

SAYED, E. G.; OUIS, M. A. Improvement of pea plants growth, yield, and seed quality using glass fertilizers and biofertilizers. **Environmental Technology & Innovation**, v. 26, p. 2 - 13, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422000451>. Acesso em: 28 jul 2023.

SILVA, P.; MATOS, M. Assessment of the impact of Aluminum on germination, early growth and free proline content in *Lactuca sativa* L. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 131, p. 151 - 156, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651316301762>. Acesso em: 02 ago 2023.

SIMPSON, R. J. *et al.* Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. **Plant and Soil**. v. 349, p. 89 – 120, jun. 2011. DOI: 10.1007 /s11104-011-0880-1. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225382937_Strategies_and_agronomic_interventions_to_improve_the_phosphorus-use_efficiency_of_farming_systems. Acesso em: 09 jun 2021.

SOLANKEY, S. S. *et al.* **Urban Horticulture: Necessity of the Future**. Londres: BoD – Books on Demand, 2020. *E-book*.

SOMMAGGIO, L. R. D. *et al.* Ecotoxicological and microbiological assessment of sewage sludge associated with sugarcane bagasse. **Ecotoxicology and environmental safety**. v. 147, p. 550-557, jan. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.009>. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/175165>. Acesso em: 02 jul 2021.

SONG, U.; KIM, J. Zinc oxide nanoparticles: a potential micronutrient fertilizer for horticultural crops with little toxicity. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**. v. 61, p. 625–631, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13580-020-00244-8#citeas>. Acesso em: 24 mar 2023.

SPARDA, A. *et al.* Real-Time Soil CO₂ Respiration Rate Determination and the Comparison between the Infrared Gas Analyzer and Microrespirometer (MicroRes®) Methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 2, p. 214 - 221, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2016.1254235>. Acesso em: 28 jul 2023.

STEWART, W. M.; ROBERTS, T. L. Food Security and the Role of Fertilizer in Supporting it. **Procedia Engineering**, v. 46, p. 76 - 82, 2012. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812045110>. Acesso em: 28 jul 2023.

STROTMANN, U. *et al.* Development and evaluation of an online CO₂ evolution test and a multicomponent biodegradation test system. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 70, p. 4621 - 4628, abr. 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.70.8.4621-4628.2004>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/8415527_Development_and_Evaluation_of_an_On_line_CO2_Evolution_Test_and_a_Multicomponent_Biodegradation_Test_System. Acesso em: 02 jul 2021.

TARGA, H. J.; RABELLO-GAY, M. N. Mutagênese, teratogênese, carcinogênese e o uso de alguns praguicidas. **Revista do Serviço Público**. v. 40, n. 4, p. 193 - 200, 1983. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/3768>. Acesso em: 17 jul 2021.

TETTEH, R. N. Chemical soil degradation as a result of contamination: A review. **Journal of Soil Science and Environmental Management**. v. 6, p. 301 - 308, mai. 2015. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/JSSEM/article-full-text-pdf/A3847D356736>. Acesso em: 08 jun 2021.

TIQUIA, S. M. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. **Chemosphere**. v. 79, n. 5, p. 506 - 512, mar. 2010. DOI: 10.1016 / j.chemosphere.2010.02.040. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20299074/>. Acesso em: 21 jun 2021.

TONGWANE, M. I.; MOELETSI, M. E. A review of greenhouse gas emissions from the agriculture sector in Africa. **Agricultural Systems**, v. 166, p. 124 - 134, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X17309423>. Acesso em: 28 jul 2023.

WANG, J.; CHAPMAN, S. J.; YAO, H. Incorporation of ¹³C-labelled rice rhizodeposition into soil microbial communities under different fertilizer applications. **Applied soil ecology**, v. 101, p. 11 - 19, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139316300105>. Acesso em: 10 abr 2023.

WANG, J. L. *et al.* Balanced fertilization over four decades has sustained soil microbial communities and improved soil fertility and rice productivity in red paddy soil. **Science of The Total Environment**, v. 793, p. 1 - 10, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/352734421_Balanced_fertilization_over_four_decades_has_sustained_soil_microbial_communities_and_improved_soil_fertility_and_rice_productivity_in_red_paddy_soil. Acesso em: 10 abr 2023.

WANG, Z. B. *et al.* Comparison of greenhouse gas emissions of chemical fertilizer types in China's crop production. **Journal of Cleaner Production**. v. 141, p. 1267 - 1274, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.120>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616314615>. Acesso em: 20 jun 2021.

YE, L. *et al.* Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. **Scientific reports**. v. 10, p. 1 - 11, jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56954-2>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-56954-2>. Acesso em: 28 jun 2021.

YUWA-AMORNPITAK, T.; CHOOKIETWATANA, K. Bioconversion of waste cooking oil glycerol from cabbage extract to lactic acid by *Rhizopus microsporus*. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 49, p. 178–184, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/bjm/a/VzRWpMRZfp4YZ3YnN5fHKfd/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 05 abr 2023.

ZHANG, Y. *et al.* Optimizing phosphate fertilizer application to reduce nutrient loss in a mustard (*Brassica juncea* var. *tumida*)-maize (*Zea mays* L.) rotation system in Three Gorges Reservoir area. **Soil and Tillage Research**. v. 190, p. 78 - 85, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.03.001. Disponível em : https://www.researchgate.net/publication/331701341_Optimizing_phosphate_fertilizer_application_to_reduce_nutrient_loss_in_a_mustard_Brassica_juncea_var_tumida-maize_Zea_mays_L_rotation_system_in_Three_Gorges_Reservoir_area. Acesso em: 14 jul 2021.

ZHOU, K., *et al.* Phosphorus recovery from municipal and fertilizer wastewater: China's potential and perspective. **Journal of Environmental Sciences**. v. 52, p. 151 - 159, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S100107421630119X?via%3Dihub>. Acesso em: 25 mar 2023.

ZHU, Z. *et al.* Soil fertility, microbial biomass, and microbial functional diversity responses to four years fertilization in an apple orchard in North China. **Horticultural plant journal**, v. 6, n. 4, p. 223 - 230, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468014120300613>. Acesso em: 10 abr 2023.

ZUCCONI, F.; MONACO, A.; FORTE, M. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. **Elsevier Applied Science**, Nova Iorque, p. 73 - 88, 1985.