



USO DO RESÍDUO DE SILÍCIO DA PRODUÇÃO DE SEMICONDUTORES NAS CULTURAS AGRÍCOLAS

USE OF SILICON RESIDUE FROM SEMICONDUCTORS PRODUCTION IN AGRICULTURAL CULTURES

Antônio Sérgio Brejão¹, Oduvaldo Vendrametto¹, Paulo José Balsamo²✉, Elisabeth Pelosi
Teixeira^{2,3}, Silvia Pierre Irazusta^{2,3}

¹Universidade Paulista, São Paulo, São Paulo, Brasil

²Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, São Paulo, Brasil

³Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Sorocaba, Brasil

✉ paulo.balsamo@fatec.sp.gov.br

Recebido: 03 maio 2019 / Aceito: 21 junho 2019 / Publicado: 11 julho 2019

ABSTRACT. Studies indicate that silicon is a mineral that can be used in the control of some pests, as well as provide increased production and quality of some agricultural crops. This work proposes the use of residual sludge from the slicing process of silicon slides from semiconductor production as a substrate / co-product in agriculture. Preliminary experiments were carried out by sowing sunflower and bean seeds in order to evaluate the development of the plants in mixtures of sludge from effluent treatment station (ETS) and vegetal soil. It was also evaluated the terrestrial toxicity of this residue, in the earthworm bioassay, *Eisenia andrei*. Although preliminary, the germination results of these experiments point to the potential benefit of the silicon residue for the normal germination and development of the species studied. The sludge also presented, as characteristic, the capacity of retention of humidity, which was greater than the control soil sample only. The toxicity test was negative, both for mortality and for the mobility of organisms, attesting the safety of the residue

Keywords: silicon, *Eisenia andrei*, sludge, toxicity bioassay. Semiconductor.

RESUMO. Estudos indicam que o silício é um mineral que pode ser usado no controle de algumas pragas, bem como proporcionar aumento na produção e na qualidade de algumas culturas agrícolas. Este trabalho, propõe o uso de lodo residuário da operação de corte de lâminas de silício da produção de semicondutores, como substrato/coproduto na agricultura. Experimentos preliminares foram conduzidos realizando-se a semeadura de sementes de girassol e de feijão a fim de se avaliar o desenvolvimento das plantas em misturas de lodo da Estação de Tratamento de efluentes (ETE) e terra vegetal. Avaliou-se, ainda, a toxicidade terrestre deste resíduo, no bioensaio com minhocas, *Eisenia andrei*. Apesar de serem preliminares, os resultados de germinação destes experimentos apontam para o potencial benefício do resíduo de silício para a germinação e o desenvolvimento normais das espécies estudadas. O lodo apresentou também, como característica, a capacidade de retenção de umidade, que foi maior que a amostra de terra controle somente. O teste de toxicidade foi negativo, tanto para a mortalidade, quanto para a mobilidade dos organismos, atestando a inocuidade do resíduo

Palavras-chave: Silício, *Eisenia andrei*, lodo, bioensaio de toxicidade, semiconductor.

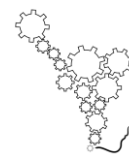


1 INTRODUÇÃO

O Silício à temperatura ambiente encontra-se no estado sólido, é o segundo elemento mais abundante da face da Terra, perfazendo aproximadamente 25% do seu peso. Aparece na argila, feldspato, granito, quartzo e areia, normalmente na forma de dióxido de silício, também conhecido como sílica (ALVES, 2015). O silício também pode ser preparado reagindo-se SiO_2 (dióxido de silício - areia) com magnésio metálico ou com carvão. Em escala industrial, é preparado pela reação do óxido com coque. No entanto, quando é requerido um silício ultrapuro, para a fabricação de semicondutores para a microeletrônica, a preparação é feita pela decomposição de silano (SiH_4) ou de tetrahaletos de silício a altas temperaturas (PEIXOTO, 2001).

O mineral silício pode ser usado no controle de algumas pragas, bem como proporcionar aumento na produção e na qualidade de algumas culturas agrícolas. Além disso, a adubação com silício tem influência sobre o solo, planta e o controle de pragas e patógenos (NERI et al., 2005), de modo que admite-se que o silício poderia estar relacionado com a indução de reações de defesa da planta (NALIN et al., 2012; MENDES, et al., 2011). Com a deposição deste na parede da célula vegetal, além da proteção contra agentes bióticos, protegendo contra a incidência de insetos, pragas e doenças, há diversos benefícios com fatores abióticos, entre eles o melhor aproveitamento das condições hídricas, devido à diminuição da transpiração cuticular, além de reduzir a toxicidade de alumínio e ferro (NERI et al., 2005).

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante no solo e acumula-se a níveis significativos dentro das células de muitas espécies de plantas. Embora o papel fisiológico do Si assimilado pelas plantas seja bastante debatido, seus efeitos benéficos na resistência das plantas para ambos os estresses abióticos e bióticos, incluindo insetos herbívoros é bem estabelecido (MA, 2004; SA et al., 2015; MEHARG; MEHARG, 2015). Dois mecanismos diferentes foram propostos para defesa de plantas mediada por Silício contra insetos herbívoros, um deles envolve depósito de Silício amorfo em tecidos vegetais atuando como uma barreira física, levando ao aumento da rigidez e abrasividade dos tecidos vegetais, reduzindo assim a sua digestibilidade por



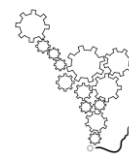
pragas (KEEPING; MEYER, 2006; MASSEY; HARTLEY, 2009). Um segundo mecanismo envolve a capacidade do Si dissolvido no solo ser absorvido pelas raízes de plantas, induzindo uma resposta específica de defesa da planta, por meio da liberação, por exemplo, de fitohormônios ou substâncias voláteis que atrairiam inimigos naturais dos insetos herbívoros (FAWE et al., 1998; GOMES et al., 2005; KVEDARAS et al., 2010).

A adubação com silício possibilitaria um desenvolvimento vegetativo mais eficiente, compensando as perdas provocadas por pragas que atacam as estruturas vegetativas, podendo ser usada como tática de manejo de insetos. Este elemento além de promover melhorias no metabolismo de plantas, ativa os genes envolvidos na produção de enzimas relacionadas com os mecanismos de defesa contra insetos, revelando-se como uma alternativa promissora (KORNDÖRFER, 2004; MONTES et al., 2015; SA et al., 2015). Estas propriedades levaram a inclusão do silício na lista dos micronutrientes da legislação brasileira que regulamenta a produção e comercialização de fertilizantes (BRASIL, 1980).

Pesquisas anteriores (FILGUEIRAS, 2007) mostraram um aumento de 14,3% da produção total de tubérculos e de 15,8% tubérculos comercializáveis com o emprego de silício no substrato. Muitos desses resultados positivos foram proporcionados devido à uma redução de 63% no acamamento das plantas. Esse comportamento do vegetal acontece quando os ramos e as folhas crescem e não ficam eretos, e sim deitados no solo causando sombreamento nas plantas mais próximas ao solo (BALBINOT Jr, 2005).

A planta fica privada da fotossíntese, tornando-se mais facilmente suscetível a microrganismos patogênicos. Foi demonstrado que o silício promove o fortalecimento da parede celular das folhas e dos caules ao deixar as plantas mais eretas e aumenta a área de exposição ao sol, tendo importante papel nas relações planta-ambiente, ao proporcionar melhores condições para suportar adversidades climáticas, do solo e biológicas, além de proporcionar uma proteção mecânica da epiderme da planta capaz de aumentar a resistência à seca (MENDES et al., 2011).

Na cultura do tomate, o silício apresentou pouco efeito no aumento da produção e redução de doenças, quando aplicado isoladamente, via fertirrigação (LUDWIG et al., 2015). Por outro lado, a aplicação foliar de compostos de silício nesta cultura provocou

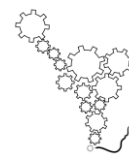


alterações nas características morfológicas e comportamentais da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), por promover aumentos na duração das fases larval e pupal, diminuindo a preferência por oposição nestas plantas, sugerindo um efeito antialimentar deste elemento sobre o inseto, o que pode resultar num controle natural de pragas (SANTOS, 2012). Os mesmos efeitos foram observados na lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda*, sobre a qual causou aumento da mortalidade larval, diminuição no peso das pupas e do número de ovos por fêmea nas culturas de milho e girassol tratadas com silício (ANTUNES, et al., 2010). Deste modo, em sistemas de produção onde o silício é utilizado via foliar, os custos de produção do tomateiro podem ser diminuídos, além dos ganhos ambientais decorrentes da menor utilização de adubo e da diminuição da utilização de agrotóxicos (FRANZOTE et. al., 2005; Q LUZ et al, 2009).

A interação dos contaminantes do solo com os organismos de um ambiente é um ponto importante a se destacar, pois os contaminantes entram em contato com os organismos edáficos, com os quais interagem direta ou indiretamente (PAPINI; ANDREA, 2004). Dentre os diversos organismos naturalmente presentes no solo, as minhocas merecem destaque, isto é, por meio de seus deslocamentos elas revolvem o solo misturando os horizontes e, pelos seus hábitos alimentares, influenciam as transformações da matéria orgânica em decomposição e a ciclagem de nutrientes (PAPINI; ANDREA, 2004). A *Eisenia andrei* é utilizada como modelo experimental sendo regulamentada por diversos protocolos (OECD nº207; ISO 11268; ABNT NBR 15537) e utilizada amplamente para avaliação da toxicidade de solos.

Em culturas por hidroponia a adição de Silício à solução nutritiva pode ser uma ferramenta útil para melhorar qualitativamente o rendimento do milho para conserva, bem como de sua vida de prateleira. (GOTTARDI et al., 2012)

Com base no exposto, foi objetivo deste trabalho avaliar a possibilidade de aplicação do lodo residual de silício na germinação e desenvolvimento de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*) e girassol (*Helianthus annuus*), bem como sua potencial ecotoxicidade para organismos sensíveis terrestres, expondo a *Eisenia andrei*



2 MÉTODO

2.1 EFEITO SOBRE A GERMINAÇÃO

Procedeu-se a aplicação do lodo residuário de silício como coproduto na agricultura. Para o experimento foram selecionadas seis sementes de Girassol (Figura 1A), e seis sementes de Feijão Carioca Tipo I (Figura 1B). Os produtos foram adquiridos em supermercados e são apropriados para consumo.

FIGURA 1A – SEMENTES DE GIRASSOL; (*HELIANTHUS ANNUUS*); B. SEMENTES DE FEIJÃO (*PHASEOLUS VULGARIS* (L.))



FONTE: Os autores (2019).

2.2. ENSAIO DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES EXPOSTAS AO LODO RICO EM SILÍCIO

A semeadura ocorreu em cinco amostras de substrato conforme tabela 1, em temperatura média de 29,6°C e umidade relativa do ar de 51%, e imediatamente irrigado com água potável. Devido às altas temperaturas características do período de verão no Brasil a irrigação ocorreu uma vez ao dia (manhã) com 10 ml de água potável por amostra e a presença de germinação foi registrada após cinco dias. Em cada pote amostral, foi adicionado 500 gramas de substrato, utilizando-se terra vegetal e/ou lodo.

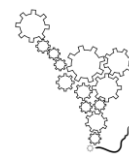


TABELA 1 – PREPARO DAS AMOSTRAS PARA ENSAIO DE GERMINAÇÃO

	Sementes (n)	Solo preparado
Amostra 1	Girassol (2)	100% Terra vegetal
Amostra 2	Girassol (2)	50% Terra vegetal + 50% Lodo
Amostra 3	Girassol (2)	100% Lodo
Amostra 4	Feijão (3)	60% Terra vegetal + 40% Lodo
Amostra 5	Feijão (3)	100% Lodo

FONTE: Os autores (2019).

2.3. TOXICIDADE AGUDA EM *EISENIA ANDREI* (MINHOCA VERMELHA DA CALIFÓRNIA)

O teste de toxicidade aguda do lodo rico em silício, utilizou o bioindicador *Eisenia andrei*, segundo o protocolo ABNT NBR 15537:2014. Foram preparadas misturas com proporções 25%, 50% e 75%, de lodo em mistura de areia, pó de fibra de coco e argila branca (em proporções iguais) ou só areia, pó de fibra de coco e argila (em proporções iguais), como controle. Cada mistura foi preparada em duplicata, contendo cada recipiente, 500g de solo controle ou solo-teste e 10 organismos. Foram avaliados o peso dos animais no início e no final do ensaio e a sua sobrevivência registrada após 7 e 14 dias do início do experimento.

2.4. CARACTERIZAÇÃO DO LODO RESIDUAL

Para determinar a composição química do lodo residuário, realizou-se a análise por fluorescência de Raios X nas amostras coletadas.

Na espectrometria de fluorescência de raios-X uma fonte de radiação de elevada energia (radiação gama ou radiação X) provoca a excitação dos átomos da substância que pretendemos analisar. Neste estado, o átomo estará numa situação instável, chamada “Estado Excitado”. Esta energia envolvida na absorção é uma característica específica de cada elemento químico, permitindo a sua identificação e correspondente quantificação. (BECKHOFF, 2006).

3 RESULTADOS

Os resultados deste estudo demonstram que todas as sementes de girassol germinaram e apenas 1 semente de cada grupo de sementes de feijão conseguiram germinar em solo contendo o lodo residuário, conforme observado na Figura 3A.

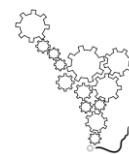
As sementes utilizadas na Amostra 1 (Figura 3B) apresentaram germinação e crescimento das plantas, porém, estas não resistiram até o final do experimento mesmo com a irrigação diária. Sendo este solo composto de 100% solo vegetal, pode-se inferir uma possível capacidade do lodo, presente nos outros grupos, em reter a umidade do solo, auxiliando no crescimento das plantas. As amostras 2 (Figura 3C) e 3 (Figura 3D) ambas de sementes de girassol crescendo em solo com o lodo residuário apresentaram desenvolvimento normal. No caso das sementes de feijão apenas uma das sementes germinou, nas duas combinações de solo (Figura 3 E e F.).

FIGURA 2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE GERMINAÇÃO. EM (A) OBSERVA-SE O PADRÃO DE GERMINAÇÃO DAS CINCO AMOSTRAS. DETALHAMENTO DA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DA AMOSTRA 1 (B); AMOSTRA 2 (C); AMOSTRA 3 (D); AMOSTRA 4 (E) E AMOSTRA 5 (F).



FONTE: Os autores (2019).

Quanto à caracterização do solo, as análises realizadas por fluorescência de Raios-X (em duplicata) indicaram um elevado percentual de óxido de alumínio nas



amostras de lodo residuário (Tabela 1), provavelmente resultante dos produtos empregados para floculação e precipitação do material particulado.

TABELA 1 – ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DO LODO RESIDUÁRIO POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.

Elementos	1º análise (% em massa)	2ª análise (% em massa)
Óxido de sódio (Na_2O)	1,78	2,36
Óxido de alumínio (Al_2O_3)	71,1	69,8
Óxido de silício (SiO_2)	24,4	24,1
Cloro (Cl)	1,6	1,58
Óxido de cálcio (CaO)	0,825	0,796
Óxido de Ferro (Fe_2O_3)	0,106	0
Óxido de magnésio (MgO)	0	1,05

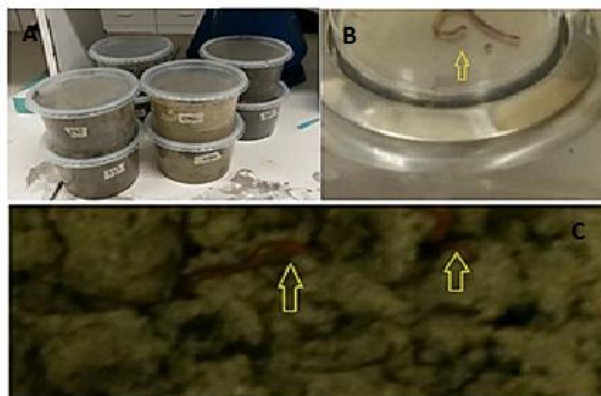
FONTE: Os autores (2019).

O resultado com as sementes de girassol corroboram com estudos anteriores, demonstrando que o silício auxilia no crescimento e desenvolvimento desta espécie. De fato, o girassol é considerado como uma planta acumuladora de silício (Carvalho et al., 2009).

Apesar do pequeno número de amostras, o que não permitiu análise estatística dos dados, os resultados preliminares indicaram que o lodo de silício permitiu a germinação das culturas estudadas, não se caracterizando, portanto, como um produto fitotóxico, pelo menos para estas espécies.

Procedeu-se com o bioensaio utilizando a minhoca vermelha da Califórnia (*Eisenia andrei*) segundo ABNT NBR 15537:2014. Além da mortalidade, preconizada pelo teste, foi avaliado também o comportamento dos animais, uma vez que o material analisado pode não ser tóxico no período de exposição, porém pode ter efeitos secundários, que levam os animais a ficarem letárgicos, estáticos ou superexcitados. A montagem e o resultado do ensaio estão ilustrados na Figura 3, A, B e C.

FIGURA 3 – ENSAIO COM *E. ANDREI*. EM A. POTES DE PLÁSTICO UTILIZADOS PARA MONTAGEM DO TESTE; EM B. PESAGEM DOS ORGANISMOS E EM C. VISUALIZAÇÃO DOS ORGANISMOS NAS AMOSTRAS DE SOLO ESTUDADAS, INDICADOS PELAS SETAS.



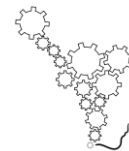
FONTE: Os autores (2019).

O ensaio de toxicidade terrestre com amostras do lodo residual resultou em ausência de efeito tanto na mortalidade quanto no comportamento da *Eisenia andrei*, no período de exposição avaliado (7 e 14 dias). O peso médio dos animais foi de $25,04 \pm 2,23$ g no início e $26,12 \pm 2,86$ g ao final do período de avaliação.

4 DISCUSSÃO

Na indústria o silício é um elemento químico utilizado no processo de produção da microeletrônica, especificamente de semicondutores. Durante a etapa de corte do “wafer” em lâminas de silício é gerado um resíduo caracterizado por pó e água, os quais compõem o lodo residuário. Este lodo tem potencial para se transformar em co-produto se puder ser empregado sem tratamento, para as aplicações agrícolas. Para se comprovar esta possibilidade é necessária a realização de testes, incluindo a avaliação de seu potencial tóxico no ecossistema terrestre.

A forma livremente disponível de silício no solo é menor e requer um mecanismo, que é conhecido como intemperismo biológico de rochas, necessário para solubilizar quimicamente o silicato inerte (WAINWRIGHT, 1997). Foi proposto que possivelmente as primeiras bactérias na terra existirem devido à presença de silício (WAINWRIGHTM et al. 2003). O ácido silícico estimula o crescimento de bactérias anaeróbias e aeróbicas facultativas do solo sob condições oligotróficas rigorosas.



Portanto, o silício é um elemento essencial para as plantas porque o cultivo contínuo reduz as formas disponíveis de silício, levando a um fraco crescimento e rendimento da colheita. Para melhorar o crescimento e o rendimento das culturas, diferentes fontes de fertilizantes a base de silício são usados. Plantas normalmente absorvem silício na forma de monossilícico e ácidos polissilícicos. A sílica e os silicatos absorvidos são polimerizados nas raízes e, em seguida, são depositados na haste e folha (KARUNAKARAN et al., 2013).

Mais recentemente, o silício nanoestruturado, na forma de nanosílica ganhou maior atenção por causa de sua propriedade altamente reativa, relacionada à sua alta relação superfície-volume. A aplicação agrícola de nanopartículas são atualmente uma área de crescente interesse. A introdução de nanopartículas em plantas pode ter impacto significativo e, portanto, pode ser usado para fins agrícolas para um melhor crescimento e rendimento. Geralmente, estudos sobre a toxicidade de nanopartículas em sementes são baseados nas taxas de germinação obtidas como resposta a nanopartículas (JOSKO, OLESZCZUK, 2013). Com relação ao silício, um estudo anterior mostrou que a adição de nanosílica no solo melhora o crescimento de milho (*Zeamays L*) (YUVAKKUMAR et al., 2013).

Mesmo que diferentes fontes de sílica sejam usadas como fertilizantes a base de silício, estudos sobre as propriedades ecotoxicológicas e os riscos dos fertilizantes à base de silício em termos de saúde microbiana e nutrientes do solo ainda são escassos.

Estudos realizados com espécies de invertebrados (*E.andrei*) não encontraram nenhum efeito significativo na função reprodutiva desta espécie. No entanto, dados fitotóxicos significativos foram registrados pelo menos para o crescimento de espécies vegetais dicotiledôneas (*Lactuca sativa* e *Lycopersicon lycopersicum*) com valores de EC50 variando entre 236 e 414 mg kg⁻¹ de solo, de nano-TiSiO₄ para massa seca e massa fresca de *L. sativa*, respectivamente (CASTIGLIONE et al., 2011).

Quando diferentes espécies químicas de silício foram avaliadas quanto à sua ação sobre a população de rizobactérias, as quais têm importante papel na reciclagem e manutenção do solo (ORTÍZ-CASTRO et al., 2008; GHOLAMI et al., 2009), observou-se que apenas o silicato de sódio teve efeito negativo sobre a população bacteriana, além da influência do pH do solo (KARUNAKARAN et al., 2013).

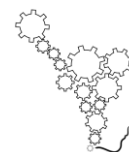


Os resultados do presente trabalho mostraram que o uso do resíduo contendo silício, resultante do processo de produção de placas de microeletrônica teve efeito positivo sobre as culturas de feijão e girassol, corroborando com estudos anteriores com diferentes espécies químicas de silício (CARVALHO et al., 2009). Os resultados observados com as sementes de girassol foram positivos mesmo na presença de alta concentração de alumínio no lodo residuário, em contraste com a já relatada toxicidade do alumínio presente no solo (NATHANSON, 1978; UNGARO et al., 1985; RODAK et al., 2011).

Em culturas de feijão que receberam silício sob forma de aspersão foliar demonstrou-se que este elemento atua acumulando lignina nas células vegetais, conferindo maior rigidez, resultando em uma maior resistência mecânica a insetos sugadores e à penetração de patógenos (FRANZOTE et al. 1., 2005). O efeito pode também estar ligado ao estresse oxidativo que aumenta a expressão de compostos fenólicos e peroxidase, elementos importantes na resposta da planta a agentes estressores (NICHOLSON; HAMMERSCHMIDT, 1992).

No Brasil, há predominância de latossolos, que são solos de intemperização intensa, popularmente chamados de solos velhos, sendo definidos pela presença de horizonte diagnóstico latossólico e argilas com predominância de óxidos de ferro, alumínio, silício e titânio (EMBRAPA, 2006). Em latossolos de textura muito argilosa, como latossolo vermelho distrófico típico e latossolo vermelho-amarelo distrófico típico podemos encontrar uma média de 19% de SiO_2 e 33 % de Al_2O_3 . (CAMARGO et al., 2007).

Na caracterização do lodo residuário utilizado neste trabalho, encontrou-se 24% de SiO_2 e 70% de Al_2O_3 . Assim, a porcentagem de SiO_2 encontra-se próxima ao encontrado em alguns latossolos brasileiros, e mesmo com a alta presença de Al_2O_3 , sua baixa toxicidade pode estar relacionada ao fato de que plantas que absorvem silício na forma de H_4SiO_4 possuem resistência a toxicidade do alumínio na sua forma tóxica (Al^{3+}). Desta forma, o silício pode estar auxiliando a planta de diversas maneiras, endurecendo os tecidos vegetais, levando ao aumento das defesas contra pragas, melhorando o aproveitamento de água pelas sementes e reduzindo a toxicidade do alumínio presente no lodo (FREITAS et al., 2012; ANTONANGELO, 2015)



O ensaio de ecotoxicidade em solo não apontou efeitos nocivos sobre a população dos invertebrados terrestres, empregados como organismos sensíveis, mesmo considerando-se que este lodo possui outras espécies químicas que derivam dos agentes floculantes utilizados para o tratamento do efluente deste processo de produção. Os resultados aqui apresentados corroboram com dados anteriores quanto às propriedades do silício na agricultura, entretanto, a utilização de lodo residual industrial aplicado à melhoria do solo para agricultura, até onde se sabe, não havia sido investigado.

5 CONCLUSÃO

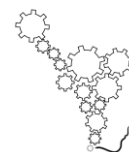
A proposta de emprego do lodo residuário de ETE da indústria eletroeletrônica, rico em silício, como coproduto na agricultura mostrou-se viável. A administração do lodo como material enriquecedor de solo visando a fertilização de cultivares mostrou-se promissora com os resultados obtidos com as sementes estudadas, incluindo para o girassol (*Helianthus annuus*) espécie vegetal reconhecidamente sensível ao alumínio, metal presente na forma de Al_2O_3 no lodo. Os resultados indicam que o silício presente pode estar impossibilitando este metal de assumir sua forma iônica mais tóxica (Al^{3+}), bem como pode estar auxiliando na manutenção da umidade do solo, resultando tanto na diminuição da toxicidade do lodo para as espécies estudadas, sendo elas vegetais ou animais, como auxiliando na manutenção do equilíbrio hídrico do solo, característica fundamental para estas mesmas espécies.

REFERÊNCIAS

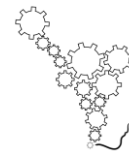
- ALVES, N.P. **Silício** – Disponível em:
<http://www.quimlab.com.br/guiadoselementos/silicio.htm> Acesso em 04 out. 2015.
- ANTONANGELO, J.A. **Formas de silício e de alumínio num Latossolo sob semeadura direta tratada com calcário e silicato de cálcio e de magnésio**, 2015, 147p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.
- ANTUNES, C. S.; MORAES, J. C.; COSTA, M.B.; ANTÔNIO, A.; LIMA, R.K.. **Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho e girassol tratados com silício**. XIX Congresso de Pós-



- Graduação da Universidade Federal de Lavras – 2010 – Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/lavras/resumos/261.pdf> Acesso em 04 jan.2016.
- BALBINOT JÚNIOR, A. A. Problemas causados pelo acamamento. Fatores que afetam o acamamento. Principais práticas para reduzir o acamamento. **Agropecuária Catarinense**, v. 25, n. 1, p. 40-42, 2012.
- BECKHOFF, B.; KANNGIEBER, B.; LANGHOOF, N.; WEDELL, R.; WOLFF, H. **Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis**. 1 ed. Berlin-London: Springer, 2006.
- BLAMEY, F. P. C.; NATHANSON, K. Relationships between aluminum toxicity and sunflower yields on an Avalon medium loam. **Sunflower News**, Zevenaar, 2:6-12, 1978.
- BRASIL - LEI Nº 6.894 de 16/12/1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L6894.htm. Acesso em 06 jan.2019.
- CARMAGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: Influência do calcário e ácido silícico aplicados. *Bragantina*, Campinas, v. 66, n.4, p.637-647. 2007.
- CARVALHO, M. P.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2394-2399, 2009.
- CASTIGLIONE, M.R., GIORGETTI, L., GERI, C., CREMONINI, R.: ‘The effects of nano-TiO₂ on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia carbonensis* L. and *Zea mays* L’, *J. Nanoparticle Res.*, v. 13, p. 2443–2449, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, v.88, p.396-401, 1998.
- FILGUEIRAS, O. Silício na agricultura. *Pesquisa Fapesp*, n. 140, p. 72-74, 2007.
- FRANZOTE, B. P. et al. . **Aplicação foliar de silício em feijoeiro comum**. In: Congresso Nacional de Pesquisas de Feijão. Embrapa/CNPAP, v. 02, p. 957-960, 2005.
- FREITAS, L. B.; FERNANDES, D. M.; MAIA, S.C.M. Interação silício e alumínio em plantas de arroz de terras altas cultivadas em solo alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 507-515, 2012.
- GHOLAMI, A., SHAHSAVANI, S., NEZARAT, S. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize, **Int. J. Biol. Life Sci.**, v. 1, p. 35–40, 2009.



- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551. 2005.
- GOTTARDI, S. et al. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* (L.) Laterr) plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 56, p. 14-23, 2012.
- JOSKO, I., OLESZCZUK, P. Influence of soil type and environmental conditions on ZnO, TiO₂ and Ni nanoparticles phytotoxicity, **Chemosphere**, 92, p. 91–99, 2012.
- KARUNAKARAN, G.; SURIYAPRABHA, R.; MANIVASAKAN, P.; YUVAKKUMAR, R.; RAJENDRAN, V.; PRABU, P.; KANNAN, K. Effect of nanosilica and silicon sources on plant growth promoting rhizobacteria, soil nutrients and maize seed germination. **IET Nanobiotechnol.**, p. 1–8, 2013.
- KEEPING, M.G.; MEYER, J.H. Silicon-mediated resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Walker (Lepidóptera: Pyralidae): effects of silicon source and cultivar. **Journal of Applied Entomology**, v.130, p.410-420, 2006.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, O.A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, MG, Grupo de Pesquisa em Silício, ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 34p
- KVEDARAS, O. L.; BYRNE, M. J.; COOMBES, N. E.; KEEPING, M. G. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v.11, p.301– 306, 2009.
- LUDWIG, F; BEHLING, A.; SCHMITZ, J.A. K. Silício na Produção e Qualidade Fitossanitária do Tomate (*Lycopersicum esculentum*) - **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 1, p. 60-66, 2015.
- MA, J.F.: Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses, **Soil Sci. Plant Nutr.**, vol.50, p. 11–18, 2004.
- MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, v.78, p.281– 291, 2009.
- MEHARG, C.; MEHARG, A.A. Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice? **Environmental and Experimental Botany**, v.120, p. 1-15, 2015.
- MENDES, L.S.; SOUZA, C. H. E.; MACHADO, V.J. Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. Cerrado Agrociências - **Revista do Centro Universitário de Patos de Minas**. ISSN 2178-7662 - Patos de Minas, UNIPAM, vol.4, n.2, p. 51-63, 2011.
- MONTES, R. M; MONTES, S.M.N. M.; RAGA, A. **O uso do silício no manejo de pragas**. Instituto Biológico – Governo do Estado de São Paulo – Secretaria de Agricultura e Abastecimento – Ag. Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – Doc. Téc. 017, p. 1-13, 2015.



- NALIN, R.S.; MOURA, R.; BEXIGA, L.; SANTOS, R.C.; CRIVELLI, R.N.; ARRUDA, V.R.; REIS, S.J. **Utilização de Fontes de Silício Para Controle de Danos de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) na Cultura do Milho.** XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012.
- NERI, D.K.P.; GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; De GÓESI, G.B.; MARROCOS, S.T.P. Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p.1633-1638, 2009.
- NICHOLSON, R. L.; HAMMERSCHMIDT, R. Phenolic compounds and their role in disease resistance. **Annual Review of Phytopathology**, v.30, p.369-389, 1992.
- ORTÍZ-CASTRO, R., VALENCIA-CANTERO, E., LÓPEZ-BUCIO, J. Plant growth promotion by *Bacillus megaterium* involves cytokinin signalling, **Plant Signal Behav.**, v.3, p. 263–265, 2008.
- PAPINI, S.; ANDRÉA, M. M. Ação de minhocas *Eisenia foetida* sobre a dissipação dos herbicidas simazina e paraquat aplicados no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 67-73, 2004.
- PEIXOTO, Eduardo Motta Alves. **Química nova na Escola - Elemento Químico: Silício**, nº 14, p.1, Nov. 2001.
- Q LUZ; J.M.; RODRIGUES, C.R.; SOUSA, V.B.F.; SOUSA, J.V.; CARVALHO, P.C.;BITTAR, C.A.; RODRIGUES, T.M. **Produtividade de Tomateiro em Função da Aplicação Foliar de Silicato de Potássio.** Hortic. bras., v.27, n.2 (Suplemento - CD Rom), 2009.
- RODAK, B. W.; CASTRO, C.; MORAES, L.A.C.; OLIVEIRA, A.; OLIVEIRA, F. A. **Tolerância de girassol (*Helianthus annuus* L.) ao alumínio.** In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 19., 2011, Aracaju. Anais... Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011.
- SA, F.V.S.; ARAUJO, J.L.; OLIVEIRA, F.S.; SILVA, L.A.; MOREIRA, R.C.L.; SILVA NETO, A.N. Influence of silicon in papaya plant growth. **Científica**, Jaboticabal, v.43, n.1, p.77–83, 2015.
- SANTOS, M. C. **Efeito de silício em características morfológicas, comportamentais e na história de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2012, 85p. Tese de Doutorado.
- UNGARO, M.R.G.; QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. Comportamento do Girassol em relação à Acidez do Solo. **Bragantia**, Campinas 44 (1): 41-48, 1985
- WAINWRIGHT, M., AL-WAJEEH, K., WICKRAMASINGHE, N.C., NARLIKAR, J.V. Did silicon aid in the establishment of the first bacterium? **Int. J. Astrobiol.**, v.2, p. 227–229, 2003.
- WAINWRIGHT, M.: 'The neglected microbiology of silicon', **Soc. Gen. Microbiol. Q.**, 1997, 24, pp. 83–85



www.relainep.ufpr.br



YUVAKKUMAR, R., ELANGO, V., RAJENDRAN, V., KANNAN, N.S., PRABU, P.
Influence of nanosilica powder on the growth of maize crop (*Zea mays* L.), **Int.
J. Green Nanotechnol.**, v. 3, p. 180–190, 2013.