

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Thiago Florencio Bonato

Graduando em Engenharia Agrônômica

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR
(*Saccharum officinarum*), EM FUNÇÃO DE DOSES
APLICADAS DE ZINCO NANOPARTICULADO**

Dracena

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA

Thiago Florencio Bonato

Graduando em Engenharia Agrônômica

DESENVOLVIMENTO INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR
(*Saccharum officinarum*), EM FUNÇÃO DE DOSES
APLICADAS DE ZINCO NANOPARTICULADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Campus
de Dracena como parte das exigências
para graduação em Engenharia
Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Bispo
Ramos.

Dracena

2023



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Dracena



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "Desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar
(*Saccharum officinarum*), em função de doses aplicadas de zinco nanoparticulado".

Modalidade: Trabalho de atividade de pesquisa.

Autor: Thiago Florencio Bonato

Orientador (a): Prof. Dr. Sérgio Bispo Ramos

Co-orientador(es):

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 20/6/2023

Nome membro da Banca

Nome membro da Banca

Nome membro da Banca

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Thiago Florencio Bonato, nascido em 26 de maio de 2000, na cidade de Panorama/SP, e residente na cidade de Pauliceia/SP. Ingressante na UNESP-Universidade Estadual Paulista, Campus Dracena em 2018, logo após a ter se graduado em técnico em agropecuária – integrado ao ensino médio, pela ETEC Profa^o Carmelina Barbosa, em Dracena/SP. Desde o ingresso na universidade buscou conhecer diversas áreas e culturas, onde conseguiu adquirir conhecimento e experiência através de projetos de pesquisas ao qual se disponibilizou para participar, obtendo assim conhecimento nas áreas de irrigação, adubação, culturas como algodão, soja, milho e cana-de-açúcar. Adquiriu conhecimento sobre ciclo e manejo cultural e de pragas e doenças dessas grandes culturas, além de aprender a planejar e executar projetos, assim tendo que agir com rapidez na solução de problemas, organizar atividades, desenvolver relatórios e gerenciar pessoas e tempo. Ainda, com a apresentação de artigo científico em evento (CIC-UNESP) aprendeu a desenvolver textos técnicos e científicos e ter uma boa fala, comportamento e exposição de opinião em apresentações em público.

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Cristian Bonato, minha mãe Cleonice da Silva Florencio Bonato, e meus irmãos Ana Carolina e Ivan, que sempre estiveram ao meu lado e são exemplos fundamentais para a minha vida, tanto pessoal, como profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por permitir que eu pudesse chegar ao fim de um ciclo, onde me concedeu muita força e determinação, para que eu pudesse continuar trilhando esse sonho, com saúde, paz e fé.

Aos meus pais Cleonice da Silva Florencio Bonato e Cristian Bonato, meus irmãos Ana Carolina Florencio Bonato e Ivan da Silva Florencio da Silva, e toda a minha família que de longe ou de perto sempre acreditaram em mim e me apoiaram incondicionalmente, onde sem eles nada disso seria possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Bispo Ramos, que sempre buscou transmitir todo conhecimento possível, com muita paciência e pronta disponibilidade, sempre se mostrou disposto a ser um bom mentor.

Aos amigos de curso, Gabriel, Luis Fernando, Eduardo, Paulo, Isabela, Luis Guilherme, Fernando, Alexandre pela amizade e companheirismo.

Aos meus amigos de vida, Frank, Maikon Bruno, Jose Alexandre, Nailson, Caio, por me apoiarem em momentos importantes, se tornando assim uma parte disso.

A todos os professores do curso de Graduação em Engenharia Agrônômica da UNESP, Campus de Dracena, pelos ensinamentos e contribuição em minha carreira acadêmica, além de todos os funcionários e infraestrutura da instituição de ensino.

A todos àqueles que embora não mencionados contribuíram para a realização do trabalho e estiveram comigo nesta etapa importante.

RESUMO

O zinco desempenha um importante papel no desenvolvimento da planta. Há exemplo disso, o mesmo tem diferentes ações, atuando como co-fator enzimático, tornando-se essencial para a atividade de regulação e estabilização proteica, além de também afetar a síntese e conservação de hormônios vegetais, que estão envolvidos no desenvolvimento da planta, a exemplo, as auxinas, que são capazes de promover a distensão da parede celular, e o alongamento celular da planta. O setor agrícola nacional, se torna cada vez maior, seja esse crescimento favorecido pelas condições edafoclimáticas brasileira, como também pela utilização de novas tecnologias, com capacidade de proporcionar maiores produtividades. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, em função de doses de aplicação de um micronutriente nanoparticulado (zinco). Experimento foi conduzido em estufa, nas dependências da FCAT – Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Unesp de Dracena – SP. Foram preenchidos vasos com terra corrigida e adubada, de volumes conhecidos de 45 dm³, que receberam mudas pré-brotadas (MPBs) padronizadas, com altura de 0,60 m. O delineamento experimental foi inteiramente casualizados (DIC), contendo assim 5 tratamentos e 4 repetições, que envolveram o micronutriente zinco nanoparticulado. Os tratamentos foram constituídos em: quatro tratamentos utilizando nanoparticulado com 12% de zinco aplicado na parte aérea das plantas, aos 15 dias após o transplante, nas doses de 2, 5, 8 e 11 kg ha⁻¹ e uma testemunha absoluta para zinco. Durante e no final da condução do experimento, foram avaliadas as características não destrutivas através da biometria, avaliando altura de plantas, números de colmos e diâmetro dos colmos; índice de clorofila; massas secas das folhas, colmos e raízes; concentrações nutricionais dos tecidos foliares. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e, quando encontradas diferenças significativas dos efeitos dos tratamentos, os mesmos foram submetidos a outras formas de análises, como o Teste de Tukey (5%) e análises de regressão. Concluindo que a dosagem de 4,82 kg ha⁻¹ de Zn nanoparticulado agregou valor as características presentes na própria variedade de cana utilizada, sendo essas características, maior desenvolvimento de altura e ótimos números de perfilhos, somados ao maior diâmetro de colmo, proporcionado através da dosagem de 4,82 kg ha⁻¹ de zinco nanoparticulado.

Palavras-chave: Nanotecnologia, nanoestruturas, micronutriente, aplicação foliar.

ABSTRACT

Zinc plays an important role in plant development. There is an example of this, it has different actions, acting as an enzymatic co-factor, making it essential for the regulation and protein stabilization activity, in addition to also affecting the synthesis and conservation of plant hormones, which are involved in the development of the plant, for example, auxins, which are able to promote the distension of the cell wall, and the cell elongation of the plant. The national agricultural sector is becoming bigger and bigger, whether this growth is favored by the Brazilian edaphoclimatic conditions, as well as by the use of new technologies, with the capacity to provide greater productivity. In this context, the present work aimed to evaluate the initial development of sugarcane, as a function of application doses of a nanoparticulate micronutrient (zinc). The experiment was carried out in a greenhouse, on the premises of FCAT – Faculty of Agricultural and Technological Sciences of Unesp in Dracena – SP. Pots were filled with corrected and fertilized soil, with known volumes of 45 dm³, which received standardized pre-sprouted seedlings (MPBs), with a height of 0.60 m. The experimental design was completely randomized (DIC), thus containing 5 treatments and 4 repetitions, which involved the micronutrient zinc nanoparticulate. The treatments consisted of: four treatments using nanoparticles with 12% zinc applied to the aerial part of the plants, 15 days after transplanting, at doses of 2, 5, 8 and 11 kg ha⁻¹ and an absolute control for zinc. During and at the end of the experiment, non-destructive characteristics were evaluated through biometrics, evaluating plant height, number of stems and stem diameter; chlorophyll index; dry mass of leaves, stems and roots; nutritional concentrations of leaf tissues. The results were submitted to the analysis of variance by the F test ($p < 0.05$) and, when significant differences were found in the effects of the treatments, they were submitted to other forms of analysis, such as the Tukey Test (5%) and analyzes of regression. Concluding that the dosage of 4.82 kg ha⁻¹ of nanoparticulate Zn added value to the characteristics present in the variety of sugarcane used, being these characteristics, greater height development and excellent numbers of tillers, added to the larger stem diameter, provided through of the dosage of 4.82 kg ha⁻¹ of nanoparticulate zinc.

Keywords: Nanotechnology, nanostructures, micronutrient, foliar application.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Disposição dos vasos para recebimento das mudas, referentes ao experimento envolvendo o nutriente zinco nanoparticulado, na cultura da cana-de-açúcar.....	16
Figura 2 – Mudanças pré-brotadas (MPBs) – variedade RB975201, prontas para o transplante, para início do experimento.....	17
Figura 3 – Vasos preenchidos e dispostos, aguardando o transplante das MPBs para início do experimento.....	17
Figura 4 – Preparo da solução de Zn nanoparticulado; Preenchimento de recipiente, com Zn nanoparticulado; Aplicação da solução de Zn nanoparticulado nas plantas do experimento	18
Figura 5 – Vasos com as mudas de cana-de-açúcar, após adubação de cobertura (ureia), buscando auxiliar a planta na sua fixação do transplante	19
Figura 6 – Avaliação com clorofilômetro portátil Minolta SPAD – 502, afim de coletar dados sobre o índice de clorofila, para posteriores avaliações estatísticas	19
Figura 7 – Folhas, colmos e raízes embalados para secagem, levados para a secagem em estufa, para realização de análises finais, como massa seca e diagnose foliar	20
Figura 8 – Gráfico de análise de regressão linear, do diâmetro do colmo, em função de doses de Zn nanoparticulado, para determinação do ponto de inflexão.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios de matéria seca, em função de doses de Zinco nanoparticulado, ao final de 60 dias do experimento.....	21
Tabela 2 - Valores médios de teores de zinco , em função de doses de zinco nanoparticulado, ao final de 60 dias do experimento, através de análise foliar.....	22
Tabela 3 - Valores médios de índice de clorofila (ic), em função de épocas e doses de zinco nanoparticulado.....	23
Tabela 4 - Valores médios de análises biométricas, de altura, diâmetro e nº de plantas (perfilhos), em função de épocas e doses de zinco nanoparticulado.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
4 MATERIAL E MÉTODOS	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
6 CONCLUSÃO.....	26
7 REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A nanotecnologia proporciona oportunidade na melhoria de competitividade, agregação no valor do produto, maior desempenho de processos e produtos do setor agrícola, e redução de custos. Sendo uma realidade pré existente dentre as novidades tecnológicas.

As condições edafoclimáticas brasileira, variam muito de acordo com o local, em alguns locais faz frio e em outros muito calor, mas em grande parte, o clima é quente. Somado isso em conjunto com os insumos e as tecnologias, traz a possibilidade, de muitas vezes, ocorrer duas safras por ano, com excelente produtividade e um bom custo/benefício, principalmente quando comparado a países com maior poder aquisitivo, e tecnologicamente mais poderosos.

O setor agrícola recebe com uma certa constância novas informações tecnológicas sobre máquinas e equipamentos, manejos adaptados, softwares de controle produtivo e financeiro, e insumos específicos para as culturas. Entre as inovações constantes do mercado, recentemente surgiu a nanotecnologia, que consiste na utilização de propriedades de matéria em nanoescala, que são equivalentes a $1,0 \times 10^{-9}$ metros.

Trata-se de uma tecnologia amplamente utilizado no cenário global, tais como nos setores de energia, saúde e medicamentos, higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, indústria têxtil, agronegócio e alimentos, indústria automotiva e aeroespacial, meio ambiente e dentre outras vastas áreas de aplicação.

A agricultura brasileira é responsável por uma alta produção de cana-de-açúcar, figurando dentre os maiores produtores mundiais, tendo o Estado de São Paulo como o maior produtor. Tal capacidade de produção, necessita de novas tecnologias, para que a produtividade continue em crescimento, assim abrindo espaço para estudos sobre a aplicação de produtos nanotecnológicos.

O zinco, atua na estimulação dos hormônios vegetais, que estão relacionados ao crescimento das plantas. A exemplo das auxinas, que promove o amolecimento da parede celular, favorecendo assim o processo de distensão das células da planta.

2 OBJETIVO

Avaliar o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), em função de doses aplicadas de zinco nanoparticulado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A agricultura brasileira vem ao decorrer do tempo, demonstrando ser um vetor crucial para o crescimento econômico nacional, tornando-se assim responsável pelo aumento do PIB. Em 2020 a soma de bens e serviços que foram gerados pelo agronegócio, chegou a R\$1,98 trilhão ou 27% do PIB brasileiro (CNA, 2021).

Portanto, para que seja possível o avanço contínuo de produtividade, se faz necessário também o avanço tecnológico. “Tivemos 218% de crescimento nos últimos 45 anos. Na produtividade, viabilizada pela tecnologia, tivemos aumento de 636%, enquanto a área plantada subiu 84% e a segunda e terceira safras subiram 231% no período” (Agência Brasil, 2021).

A nanotecnologia no campo, beneficiará o emprego da agricultura de precisão, a rastreabilidade dos produtos, a certificação, a produção de biocombustíveis, a indústria de insumos (fertilizantes, pesticidas) e de medicamentos para uso veterinário, a indústria de alimentos, assim como vários outros setores vinculados à agroindústria serão inevitavelmente beneficiados pelos avanços da nanotecnologia.

O prefixo nano significa anão (CUNHA, 2010) e segundo Alencar (2008), a Nanotecnologia é um termo genérico para um conjunto de tecnologias, técnicas e processos para a preparação, caracterização, manipulação e controle de átomos ou moléculas para construir novos materiais em escala de nanômetros, com novas propriedades inerentes às suas dimensões. Nanotecnologia é o controle e reestruturação da matéria em escala nanométrica, nos níveis atômico e molecular na faixa de tamanho de 1 a 100 nm (ROCO et al., 2011).

A nanotecnologia tem demonstrado grande atuação em diversas áreas no mercado mundial. Entre elas, são importantes citar algumas que estão diretamente ligadas ao dia a dia das pessoas, como a confecção de novos materiais, tecnologia computacional, medicina, segurança, alimentação, cosméticos, aeronáutica, meio ambiente, energia, agricultura, entre outras.

Os novos materiais podem pertencer aos mais diversos âmbitos, destacando o desenvolvimento de ferramentas de aplicabilidade atômica, como microscópios (GALEMBECK et al., 2013), confecção de catalisadores mais eficientes e ferramentas mais flexíveis e com cortes de alta durabilidade (SOUSA et al., 2018).

Na construção civil, por exemplo, Smith (2011) apresenta resultados verdes de sustentabilidade, com o uso da tecnologia em revestimentos, compósitos e estruturas poliméricas usadas em janelas e revestimentos de telhados e paredes, enquanto Sanchez e Sobolev (2010) relatam o uso da nanotecnologia na formulação de cimentos especiais.

Na área eletrônica, a utilização de nanofios e nanotransmissores têm aumentado significativamente a eficiência do armazenamento de dados e a velocidade de processamento das informações, tudo isso com menor exigência de energia (WIRDATMADJA et al., 2017; BORGES et al., 2019).

No quesito segurança, a nanotecnologia tem atuado na produção de ligas mais resistentes e especiais para fabricação de coletes à prova de balas (TOMA e ARAKI, 2005) e vidros blindados.

Ajudando o meio ambiente, os nanoimãs hidrofóbicos removem o óleo presente na água, em caso de eventos de contaminação e poluição. Esses elementos quando dispersos em uma mistura água/óleo se ligam na fase óleo, facilitando sua remoção. Nanometais e nanomateriais de óxidos metálicos foram usados para absorver contaminantes ambientais (KHIN et al., 2012), aumentando a capacidade de remediação do solo e reduzindo o tempo e o custo dos tratamentos.

Entretanto, é na medicina que são observados, qualitativa e quantitativamente, os melhores resultados da nanotecnologia, com o aumento da velocidade dos diagnósticos, aplicação de procedimentos menos invasivos (COSTA e SILVA, 2017), redução de rejeições em transplantes (HERMES e OLIVEIRA BASTO, 2014), criação de novos medicamentos (DIMER et al., 2013), biologia sintética (SEEMAN e SLEIMAN, 2018; PINHEIRO et al., 2011; SEMO et al., 2007), medicina oncológica (COUVREUR e VAUTHIER, 2006; FERRARI, 2005) e produção de materiais para regeneração de ossos e tecidos (ZHANG e WEBSTER, 2009; THOMAS et al., 2015).

Na agricultura, nanoestruturas têm sido empregadas em todos os setores da fazenda, como equipamentos de precisão, nanosensores, como também em revestimentos comestíveis de frutas.

Khodakovskaya et al. (2009) verificaram que os nanotubos de carbono (CNTs) penetram nas sementes de tomate e melhoram as taxas de germinação e crescimento. De Rosa et al. (2010) utilizaram a nanotecnologia para melhorar a eficiência de uso do nitrogênio. Hossain et al. (2008) demonstraram a hidrólise controlada da ureia quando da aplicação do material PE-MCM-41, que é um nanoparticulado com sílica nanoporosa, como hospedeiro adequado para a uréase.

Yang et al. (2007) utilizaram o dióxido de titânio nanoparticulado para melhorar o rendimento da colheita por meio da fotorredução do gás nitrogênio, enquanto Bao-Shan et al. (2004) verificaram maior crescimento de mudas de Changbai Larch quando embebidas com dióxido de silício nanoestruturado.

Segundo Chhipa e Joshi (2016), os nanofertilizantes incluem nanotubos de Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Ti e carbono, que melhoram o crescimento das plantas e economizam dinheiro porque são mais eficientes. Isso acontece devido as propriedades dos nanofertilizantes em minimizar a lixiviação, melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas e mitigar a eutrofização, reduzindo a transferência de nitrogênio para as águas subterrâneas (LIU e LAL, 2015). Além disso, vale ressaltar que os nanomateriais também podem ser explorados para melhorar a estrutura e a função dos pesticidas, aumentando a solubilidade e resistência contra a hidrólise e diminuindo sua fotodecomposição (MISHRA e SINGH, 2015; NURUZZAMAN et al., 2016). No entanto, o impacto real dos nanomateriais nas plantas depende de sua composição, concentração, tamanho, carga superficial e propriedades físico-químicas, além da suscetibilidade das espécies vegetais (LAMBREVA et al., 2015).

Os nanossensores podem encontrar aplicações em diversos setores da agricultura produtiva e de pós-colheita. Valdes et al. (2009) revelam seu uso em dispositivos analíticos dedicados ao controle de qualidade, biossegurança e segurança ao longo da cadeia de suprimento de alimentos, podendo ser empregados em sistemas multiplexados (ARAGAY et al., 2010; YAO et al., 2014). Ainda, podem ser usados na medição dinâmica de parâmetros do solo, como pH, teores de nutrientes, presença de pesticidas residuais nas culturas e no solo, umidade do solo, detecção de patógenos, previsão de captação de nitrogênio, entre outros, promovendo uma agricultura mais sustentável (BELLINGHAM, 2011)

Ajudando no gerenciamento das propriedades, Mousavi e Rezaei (2011) destacam que os nanossensores ajudam os agricultores na manutenção da fazenda com informações precisas das necessidades oportunas das plantas, controle da irrigação e processamento, transporte, embalagem e distribuição de alimentos (SCOGNAMIGLIO et al., 2014; DE MEDEIROS et al., 2001; VANDERROOST et al., 2014).

Dessa forma, entende-se que a nanotecnologia não se trata de mais uma ferramenta do futuro, que melhoraria as produtividades e diminuiria os impactos ambientais da agricultura moderna, mas sim, uma realidade tecnológica para o homem do campo, que, com alguns ajustes, pode se tornar mais presente no cotidiano rural.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho, consiste na determinação da dose de aplicação do micronutriente nanoparticulado zinco, buscando o melhor desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido em estufa, nas dependências da FCAT- Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Unesp de Dracena - SP, entre os meses de janeiro e maio de 2023.

A terra utilizado no experimento foi coletada no Campus da UNESP-FCAT, em horizontes mais profundos de solo em terreno classificado como Franco Arenoso (EMBRAPA, 2006). Foi realizada análise do solo, para determinação dos atributos físicos, como areia, silte e argila, segundo a metodologia preconizada por EMBRAPA (1997). Também foi determinado, através da análise de solo os principais atributos químicos do solo, como pH, M.O., P, S, K, Ca, Mg, Al, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn, de acordo com Raij e Cantarella (1996).

Os vasos utilizados tinham volume de 45 dm³, que receberam a terra devidamente corrigida e adubada, de acordo com as recomendações técnicas previstas para a cultura da cana-de-açúcar (RAIJ et al., 1997), exceto para o nutriente zinco, que tem como objetivo este estudo.

Figura 1: Disposição dos vasos para recebimento das mudas, referentes ao experimento envolvendo o nutriente zinco nanoparticulado, na cultura da cana-de-açúcar.



Fonte: autoria própria.

As mudas da variedade RB975201 de cana-de-açúcar, com altura padronizada em 0,60 m, foram adquiridas em viveiro credenciado, sob a forma de Mudas Pré-Brotadas (MBPs), sendo elas transplantadas em janeiro de 2023, onde cada vaso representou uma unidade experimental, recebendo apenas uma unidade de MBP.

Figura 2: Mudas pré-brotadas (MPBs) – variedade RB975201, prontas para o transplântio, para início do experimento.



Fonte: autoria própria.

O experimento foi instalado em casa de vegetação (estufa), com delineamento inteiramente casualizado (DIC), contendo 5 tratamentos, definidos assim: quatro tratamentos envolvendo um produto nanoparticulado com 12% de zinco, aplicado na parte aérea das plantas, compreendendo as doses de 2, 5, 8 e 11 kg ha⁻¹, e uma testemunha absoluta para zinco. Os tratamentos foram replicados quatro vezes, totalizando 20 unidades experimentais. Os vasos permaneceram dispostos aleatoriamente e espaçados entre si, com distância 1,5X1,5 m, de modo facilitador, para a realização dos trabalhos pertinentes à instalação, condução, tratos culturais, avaliações e coletas de resultados experimentais.

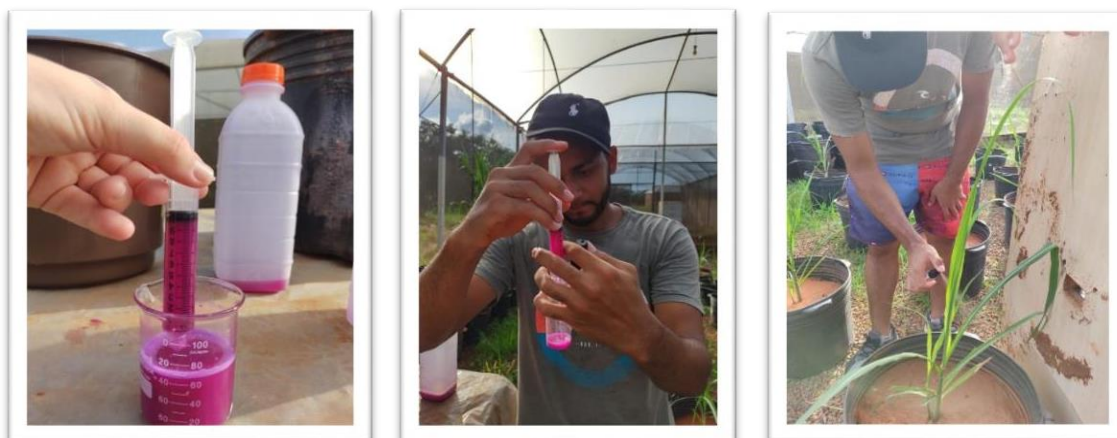
Figura 3: Vasos preenchidos e dispostos, aguardando o transplântio das MBPs para início do experimento.



Fonte: autoria própria.

As aplicações via foliar, teve início após 15 dias do transplântio das mudas, dentro da estufa, utilizando anteparos que evitaram a deriva, e consequentemente, a possível contaminação das parcelas vizinhas.

Figura 4: Preparo da solução de Zn nanoparticulado; Preenchimento de recipiente, com Zn nanoparticulado; Aplicação da solução de Zn nanoparticulado nas plantas do experimento.



Fonte: autoria própria.

A irrigação foi realizada de duas formas distintas, em função dos momentos em que se encontravam os vasos. Inicialmente, antes do transplântio das mudas, os vasos receberam irrigação até atingir a sua capacidade de campo, por duas vezes, com intervalo de rega de 5 dias. No final desses 10 dias, foi realizado o transplântio das mudas, dando início a instalação do experimento. Após essa operação e até o término do experimento, as épocas de irrigações foram com turnos de rega de 5 dias, e o volume aplicado de água, foi calculado mediante a evapotranspiração acumulada no período.

Quarenta dias após o início do experimento, foi realizada a adubação de cobertura, com o fertilizante ureia, na dose de 2,2 g vaso, ou 80 kg ha⁻¹, aplicado ao redor das plantas, de forma igualitária em todas as parcelas.

Figura 5: Vasos com as mudas de cana-de-açúcar, após adubação de cobertura (ureia), buscando auxiliar a planta na sua fixação do transplantio.



Fonte: autoria própria.

A cada 15 dias, após o transplantio das mudas foram realizadas avaliações para coleta de dados, com as seguintes características não destrutivas: altura, diâmetro e número de colmos, dentre um período de 60 dias.

Dez dias após o transplantio das MPBs e dez dias após a aplicação via foliar, foram realizadas avaliações sobre as características relacionadas ao índice de clorofila, utilizando o clorofilômetro portátil Minolta SPAD – 502.

Figura 6: Avaliação com clorofilômetro portátil Minolta SPAD – 502, afim de coletar dados sobre o índice de clorofila, para posteriores avaliações estatísticas.



Fonte: autoria própria.

Por ocasião de coleta final de material, ou seja, aos 90 dias após o início do experimento, foram avaliadas as características destrutivas: massas de matéria seca de caules, folhas e raízes.

Figura 7: Folhas, colmos e raízes embalados para secagem, levados para a secagem em estufa, para realização de análises finais, como massa seca e diagnose foliar.



Fonte: autoria própria.

Sendo coletado no momento final do experimento (90 dias), os terços medianos das folhas +1, retiradas das nervuras centrais do limbo foliar, para fins de diagnose nutricional das plantas de cada parcela, determinando assim a concentração foliar de Zn, conforme metodologia descrita por Gallo et al. (1962).

Os resultados coletados, foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Resultados de tratamentos que apresentaram diferenças significativas, foram submetidos a outra forma de análise, como o Teste de Tukey (5%) e análise de regressão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença significativa entre os efeitos das doses aplicadas na forma de Zinco nanoparticulado (via foliar), tanto nos valores para massa seca das raízes, quanto para os caules e folhas (Tabela 1, pag. 21), isso demonstrado pelas médias de letras iguais, que não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Provavelmente a ausência de incrementos nas médias de massa seca, possam estar correlacionadas com os teores de Zn, que independente dada-se aplicada, estavam dentro da faixa considerada adequada, valores esses demonstrados na Tabela 2 (pag. 22), que segundo Raij et al. (1997), pode variar de 10 a 50 mg de Zn kg⁻¹ de matéria seca.

Outro ponto a ser evidenciado, foi a presença de pulgões, que podem ter ajudado a mascarar a média de massa seca, devido as consequências causadas pelo seu ataque, pois segundo Flávia Barbosa (Embrapa, 2021), os pulgões ao se alimentarem da seiva, injetam na planta substâncias tóxicas, que provocam o encarquilhamento, a murcha, o secamento e queda de folhas. Sintomas esses que foram evidenciados em algumas plantas presentes no experimento.

Tabela 1. Valores médios de matéria seca, em função de doses de Zinco nanoparticulado, ao final de 60 dias do experimento. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão. Letras iguais não diferem entre si.

Causa de variação: Massa seca			
	Raízes	Caules	Folhas
Doses (kg ha¹)	 g		
0	45,75 a	56,50 a	147,25 a
2	40,00 a	34,25 a	108,75 a
5	49,50 a	42,75 a	129,50 a
8	44,75 a	44,00 a	133,25 a
11	48,50 a	27,50 a	120,75 a
d.m.s	35,97	29,30	64,56
Teste F	0,21 ^{ns}	2,67 ^{ns}	0,94 ^{ns}
C.V.	36,05%	32,73%	23,12%

Tabela 2:

Valores médios de teores de zinco , em função de doses de zinco nanoparticulado, ao final de 60 dias do experimento, através de análise foliar. Expresso em mg de Zn kg⁻¹.

Média de teores de zinco (Zn)	
Doses	 mg de Zn kg⁻¹
0	16,90 a
2	17,33 a
5	17,90 a
8	19,78 a
11	24,33 a
d.m.s	11,02
Teste F	1,46^{ns}
C.V.	26,22%

Pela Tabela 3 (pag. 23), não houve interação significativa entre as épocas e doses. As doses também não demonstraram resultados significativos, porém notou-se uma diferença significativa entre as épocas, onde ficou evidenciado que a quantidade de clorofila avaliada através do SPAD, foi estatisticamente significativa, de acordo com o Teste de Tukey, na primeira época (15 dias dada época) de avaliação, quando comparada com a segunda época de avaliação (Tabela 3).

O índice de clorofila (Tabela 3), se demonstrou maior na primeira época, quando comparada a segunda. Então ao saber que a clorofila está ligada de forma direta com o nitrogênio presente nas folhas, e consequentemente com a nutrição e a produção vegetal, é possível que o índice de clorofila tenha sido maior na primeira época, quando comparada a segunda, por causa da adubação via ureia que os vasos receberam inicialmente.

Fato que pode ter proporcionado o maior índice de clorofila na primeira época, devido a correlação entre a clorofila e o nitrogênio. Pois quando realizada a segunda época de avaliação (30 dias após o transplante), as plantas ainda não tinham recebido outra dose de nitrogênio via ureia, pois essa aplicação foi realizada aos 40 dias. Sendo assim, talvez mais uma época de análise de IC, poderia trazer dados mais completos para o experimento.

De acordo com Prado (2008), o Zn pode ter alguma participação na formação da clorofila, afetando assim a fotossíntese. Além disso, segundo Malavolta (2006), o Zn ativa enzimas importantes como a ribulose 1,5-difosfato carboxilase (presente nos cloroplastos), assim afetando significativamente a taxa fotossintética das plantas.

Diante disso, ao saber que o nitrogênio atua diretamente na fotossíntese, e na constituição da clorofila, talvez o decréscimo da média na época 2, possa estar ligada a um intervalo menor de uma nova adubação de ureia, adubo utilizado com fonte de nitrogênio, ou sobre uma nova época de avaliação.

Tabela 3: Valores médios de índice de clorofila (ic), em função de épocas e doses de zinco nanoparticulado.
^{ns}Não significativo pela análise de regressão. Letras iguais não diferem entre si.

Causa de variação	Índice de clorofila (ic)
Época (15 dias)	
1	22,95 a
2	15,51 b
d.m.s	2,96
Teste F	26,35**
Doses (kg ha⁻¹)	Índice de clorofila (ic)
0	20,09 a
2	20,08 a
5	18,02 a
8	18,76 a
11	19,21 a
d.m.s	6,65
Teste F	0,30 ^{ns}
Interação	
Épocas X doses	1,21 ^{ns}
C.V.	23,82%

Foi constatado que estatisticamente não houve interação entre os resultados (épocas X doses) nas avaliações biométricas (Tabela 4, pag. 25). Em função das doses verificou se que a altura da planta não foi influenciada pelo Zn, fato também observado por Costa Filho e Prado (2008), avaliando a aplicação de Zn, em 3ª soca de cana-de-açúcar, também não verificaram incrementos na altura das plantas. O N° de plantas (perfilhos), também não demonstrou diferença estatística (Tabela 4, pag. 25).

Tal resultado indicou que não houve influência do zinco sobre a altura, e nem sobre o número de perfilhos. Entretanto, Caimbra et al. (1989), dispondo de aplicação via solo, em doses de 0, 5, 10, 20 e 25 kg ha⁻¹ de Zn, em forma de sulfato de zinco, verificou que o perfilhamento da cana-planta foi afetado de forma negativa, quando utilizadas doses superiores a 15 kg ha⁻¹, doses e forma de aplicação essas que diferem das utilizadas no presente trabalho. Destaca-se que a dose máxima avaliada neste experimento foi de 11 kg ha⁻¹ de Zn, e talvez por isso não houve a constatação do efeito tóxico deste nutriente no perfilhamento da cultura.

Através da análise de regressão (figura 8), foi possível determinar que a dosagem de $4,82 \text{ kg ha}^{-1}$ afetou de forma positiva a cultivar. Assim beneficiando a mesma com um maior diâmetro de colmo. Favorecendo o desenvolvimento de um bom potencial agrícola do canavial, principalmente quando somado o efeito da dose, com os resultados das épocas, sendo eles boa altura de planta e bom perfilhamento (tabela 4, pag.25).

O diâmetro começou a reduzir seu desenvolvimento a partir dos 45 dias (Tabela 4); O número de plantas se consolidando a partir dos 30 dias, um possível fator positivo, propiciado pela cultivar RB975201; Ao passar das épocas, a cultivar, pode favorecer tanto o fator altura que demonstrou continuar crescendo, se destacando na ultima época (60 dias), como também o diâmetro e n° de plantas.

A evolução em altura e n° de plantas, somadas a dose de $4,82 \text{ kg ha}^{-1}$, que trouxe um melhor desenvolvimento do diâmetro do colmo, complementou o potencial da cultivar. Segundo Landell e Silva (2004), o perfilhamento, a altura e o diâmetro de colmos, são componentes importantes para a formação do potencial agrícola do canavial. E de acordo com Bacchi (1983), o perfilhamento da cana é influenciado por diversos fatores, sendo eles, água, luz, temperatura, nutrição, épocas de plantio, pragas, doenças, espaçamentos e profundidades de plantio.

Portanto, a probabilidade de não ter tido diferença estatística entre as doses de Zn nesta avaliação, podem estar associadas a doses aplicadas, que acabou permitindo que a quantidade de zinco encontrado na matéria seca (Tabela 2, pag. 22), ficasse na faixa considerada adequada ($10 \text{ a } 50 \text{ mg de Zn kg}^{-1}$ de matéria seca) para a cultura da cana-de-açúcar, de acordo com o que foi descrito por Raij et al. (1997).

Figura 8: Gráfico de análise de regressão linear, do diâmetro do como, em função de doses de Zn nanoparticulado, para determinação do ponto de inflexão.

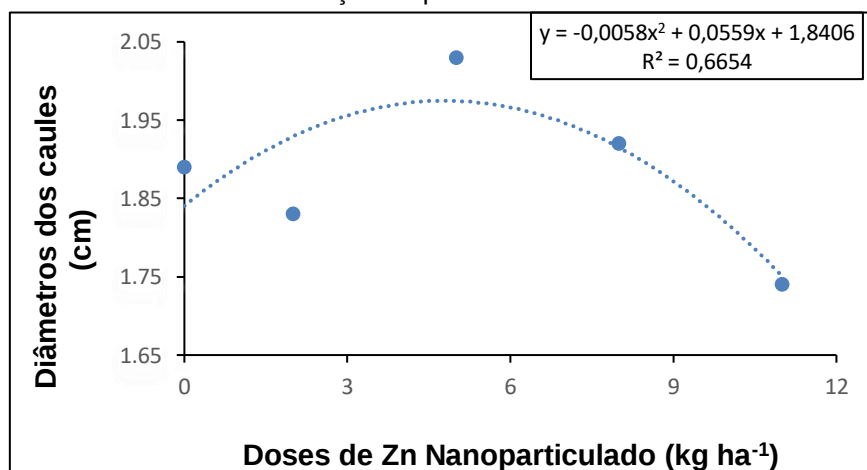


Tabela 4. Valores médios de análises biométricas, de altura, diâmetro e nº de plantas (perfilhos), em função de épocas e doses de Zinco nanoparticulado. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão. Letras iguais não diferem entre si.

Causa da variação		Biometrias	
Épocas (dias)	Altura	Diâmetro	Nº de plantas
15	1,05 d	1,32 c	2,35 b
30	1,59 c	1,87 b	6,55 a
45	1,91 b	2,08 a	7,40 a
60	2,06 a	2,26 a	7,70 a
d.m.s	0,09	0,18	1,66
Teste F	350,99**	68,67**	31,25**
Doses (kg ha ⁻¹)	Altura	Diâmetro	Nº de plantas
0	1,66 a	1,89 ab	5,44 a
2	1,64 a	1,83 ab	5,69 a
5	1,69 a	2,03 a	5,38 a
8	1,60 a	1,92 ab	6,81 a
11	1,61 a	1,74 b	6,69 a
d.m.s	0,11	0,22	1,97
Teste F	1,94 ^{ns}	3,91**	1,97 ^{ns}
Interação			
Épocas X Doses	0,52 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,40 ^{ns}
C.V.	6,56%	11,76%	33,09%

Importantíssimo ressaltar que a variedade RB975201, lançada em 2016, pela RIDESA UFSCar, apresenta crescimento mais rápido e ótimo perfilhamento, fato que pode evidenciar a ausência de resultados nas doses, e que pode ter favorecido o desenvolvimento de melhores resultados nas épocas.

6 CONCLUSÃO

A aplicação de zinco nanoparticulado, agregou de forma positiva, o desenvolvimento do diâmetro de colmo da variedade RB975201, fato demonstrado pelo resultado da análise de regressão, mais especificamente pela dosagem de $4,82 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn nanoparticulado.

7 REFERÊNCIAS

- ARAGAY, G.; PONS, J.; ROS, J.; MERKOCI, A. Aminopyrazole-based ligand induces gold nanoparticle formation and remains available for heavy metal ions sensing. A simple “mix and detect” approach. **Langmuir**, v. 26, p.10165–10170, 2010.
- BACCHI, O. O. S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. (Org.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. v. 2, p. 25-37.
- BAO-SHAN, L.; SHAO-QI, D.; CHUN-HUI, L.; LI-JUN, F.; SHU-CHUN, Q.; MIN, Y. Effect of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of Changbai larch seedlings. **Journal of Forestry Research**, v.15, p.38 – 140, 2004.
- BELLINGHAM, B. K. Proximal soil sensing. **Vadose Zone J.**, v.10, p.1342–1342, 2011.
- BORGES, L.F.; MICHAEL T. BARROS, M.T.; MICHELE NOGUEIRA, M. Explorando o Potencial da Molécula IP3 para a Comunicação em Nanorredes. **Anais do XXXVII Simpósio ...** sol.sbc.org.br, 2019.
- CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234p.
- CAMBRIA, S.; BONI, P. S.; STRABELLI, J. Estudos preliminares com micronutrientes - zinco. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, n. 46, p. 12-17, 1989.
- CHHIPA H., JOSHI P. Nanofertilisers, nanopesticides and nanosensors in agriculture H Chhipa. In: Ranjan S., Dasgupta N., Lichtfouse E. (eds) Nanoscience in Food and Agriculture 1. Sustainable Agriculture Reviews, **Springer, Cham**, v.20, p 247-282, 2016.
- COSTA, A.M.; SILVA, V.V. Estratégias nanotecnológicas para diagnóstico e tratamento do câncer. **Revista Saúde e Meio Ambiente – RESMA**, v.5, n.2, p.1-13, 2017.
- COSTA FILHO, R. T.; PRADO, R. de M. Zinco na nutrição e na produção de colmos da terceira soqueira de cana-de-açúcar cultivada em um latossolo vermelho amarelo. **Tecnologia/Pesquisa-STAB**, v. 26, n. 3, p. 6-9, 2008.
- CONHEÇA a RB-975201, uma das quatro novas variedades lançadas pela Ridesa Ufscar.** [S. l.], 2016. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/conheca-a-rb975201-uma-das-quatro-novas-variedades-lancadas-pela-ridesa-ufscar.html>. Acesso em: 16 mar. 2023.
- COUVREUR, P.; VAUTHIER, C. Nanotechnology: Intelligent Design to Treat Complex Disease. **Pharmaceutical Research**, v.23, p.1417 – 1450, 2006.
- CUNHA, A. G. **Dicionário etimológico da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Lexikon, 2010.
- DE MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M. The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agric. Water Manage**, v.49, p.211–224, 2001.
- DEROSA, M.C.; MONREAL, C.; SCHNITZER, M.; WALSH, R.; SULTAN, Y. **Nanotechnology infertilizers**. Nature Nanotechnology, v.5, p.91, 2010.

DIMER, F.A.; FRIEDRICHI, R.B.; BECKI, R.C.R.; GUTERRESI, S.S.; POHLMANN, A.R. Impact of nanotechnology on public health: production of medicines. **Quím. Nova**, v.36, n.10, p.1520-1526, 2013

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ed. **Manual de métodos de análise de solo**, Rio de Janeiro: 1997, 212p.

EMBRAPA: **PULGÃO**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/manga/producao/doencas-e-pragas/pragas/secundarias/pulgao>. Acesso em: 8 mar. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: 2006, 412p.

EVOLUÇÃO tecnológica da agricultura é tema de seminário virtual. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-09/evolucao-tecnologica-da-agricultura-e-tema-de-seminario-virtual>. Acesso em: 22 fev. 2023.

FILHO, Marcelo. **Doses, fontes e modos de aplicação de zinco na cultura da cana-de-açúcar**. 2011. Pós-graduação em agronomia (Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, [S. l.], 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106184/teixeirafilho_mcm_dr_ilha.pdf;jsessionid=A5D725F808616D78F978734BAFAD2561?sequence=1. Acesso em: 21 fev. 2023.

FERRARI, M. Cancer nanotechnology: opportunities and challenges. **Nature Reviews**. V.5, p.161-171, 2005.

GALEMBECK, F.; COSTA, C.A.R.; BURGO, T.A.L.; BERNARDES, J.S.; GOUVEIA, R.F. Microscopia de sondas: uma caixa de ferramentas da nanotecnologia. **Cienc. Cult.** v.65, n.3 São Paulo, p.37-43, 2013.

GALLO, J.R.; HIROCE, R.; ALVAREZ, R. Amostragem de cana-de-açúcar para fins de análise foliar. *Bragantia*, v.21, n.54, p.899-921, 1962.

HERMES, E.G.C.; OLIVEIRA BASTO, P.R.H. Nanotecnologia: progresso científico, material, global e ético. **Persona y Bioética**, v.18, n.2, p.107-118, 2014.

HOSSAIN, K.; MONREAL, C.M.; SAYARI, A. Adsorption of urease on PE-MCM-41 and its catalytic effect on hydrolysis of urea. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.62, n.1, p.42-50, 2008.

KHIN, M.M.; NAIR, A.S.; BABU, V.J.; MURUGAN, R.; RAMAKRISHNA, S. A review on nanomaterials for environmental remediation. **Energy Environ. Sci.** v.5, p.8075-8109, 2012.

KHODAKOVSKAYA, M.; DERVISHI, E.; MAHMOOD, M.; XU, Y.; LI, Z.; WATANABE, F.; BIRIS, A.S. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. **ACS Nano**, v.3, n.10, p.3221-3227, 2009.

LAMBREVA, M.D.; LAVECCHIA, T.; TYYSTJÄRVI, E.; ANTAL, T.K.; ORLANDUCCI, S.; MARGONELLI, A. Potential of carbon nanotubes in algal biotechnology. **Photosyn. Res.** v.125, p.451–471, 2015.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, p. 18-23, 2004.

LIU, R. Q.; LAL, R. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. **Sci. Total Environ.** V.514, p.131–139, 2015.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MICRONUTRIENTES: conhecendo o Zinco. [S.l.], 2013. Disponível em: <https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/micronutrientes-conhecendo-o-zinco#:~:text=Principais%20fun%C3%A7%C3%B5es%20do%20Zinco%3A,envolvidos%20no%20crescimento%20das%20plantas>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MISHRA, S.; SINGH, H.B. Nanopartículas de prata biossintetizadas como uma nanofarma contra fitopatógenos: explorando seu escopo e potencial na agricultura. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** v.99, p.1097–1107, 2015.

MOUSAVI, S.R.; REZAEI, M. Nanotechnology in agriculture and food production. **J. Appl. Environ. Biol. Sci.**, v.1, p.414–419, 2011.

NURUZZAMAN, M.; RAHMAN, MM; LIU, Y.; NAIDU, R. Nanoencapsulation, nano-guard for pesticides: a new window for safe application. **J. Agric. Food Chem**, v.64, p.1447-1483, 2016.

PINHEIRO, A.V.; HAN, D.; SHIH, W.M. YAN, H. Challenges and opportunities for structural DNA nanotechnology. **Nature Nanotechnology**, v.6, p.763–772, 2011.

PRODUÇÃO agropecuária do Brasil alimenta 1 bilhão de pessoas no mundo. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/9/22/producao-agropecuaria-do-brasil-alimenta-1-bilhao-de-pessoas-no-mundo.html#:~:text=Estudos%20apontam%20que%20o%20Brasil,88%20bilh%C3%B5es%20em%20cr%C3%A9dito%20rural>. Acesso em: 20 fev. 2023.

PUBLICAÇÃO semanal. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro#:~:text=Atualmente%2C%20o%20Brasil%20%C3%A9%20o,Uni%C3%A3o%20Europeia%2C%20EUA%20e%20China>. Acesso em: 16 fev. 2023.

RAIJ, B. van & CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J.A. & FURLANI, A.M.C. (coord.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. p.233-236.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**, 2 ed. rev. ampl. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. **Determinação da Matéria Orgânica**. In: RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p.189-199.

ROCO, M.C.; MIRKIN, C.A.; HERSAM, M.C. Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: summary of international study. **Journal of Nanoparticle Research**, v.13, p.897 – 919, 2011.

SANCHEZ, F; SOBOLEV, K. Nanotechnology in concrete – A review. **Construction and Building Materials**. v.24, n.11, p.2043-2330, 2010.

SCOGNAMIGLIO, V.; ARDUINI, F.; PALLESCHI, G.; REA, G. Biosensing technology for sustainable food safety. **Trac-Trends Anal. Chem.**, v.62, p.1–10, 2014.

SEEMAN, N.C.; SLEIMAN, H.F. Nanotecnologia de DNA. **Nature Reviews Materials** v.3, n. do artigo 17068, 2018.

SEMO, E.; KESSELMAN, E.; DANINO, D.; LIVNEY, Y.D. Micela de caseína como um veículo nano-capsular natural para nutracêuticos. **Hidrocolóides alimentares**, v.21, p.936- 942, 2007.

SMITH, G.B. **Nanotecnologia verde**. Proceedings, v.8104, 2011.

SOUSA, C.R.S.; HOLANDA, A.L.; NUNES, A.B.A.; ALVES, G.S.A.; SAMPAIO, M.C. Nanotecnologia e nanociência: considerações histórica e interdisciplinar. **UNIEURO**, Brasília, n.25 (Especial), pp.150-178, 2018.

MACRONUTRIENTES: conhecendo o Nitrogênio. [S. l.], 2013.
Disponível em: <https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/macronutrientes-conhecendo-o-nitrogenio>. Acesso em: 24 fev. 2023.

THOMAS, T.; GROHENS, Y.; NINAN, N. **Nanotechnology Applications for Tissue Engineering**. Micro & Nano Technologies Series. Waltam, 2015, 314p.

TOMA, H.E.; ARAKI, K. NANOTECNOLOGIA: O gigantesco e promissor mundo do muito pequeno. **CIÊNCIA HOJE**, v.37, n.217, p.24-31, 2005.

VALDES, M.G.; GONZALEZ, A.C.V.; CALZON, J.A.G.; DIAZ-GARCIA, M.E. Analytical nanotechnology for food analysis. **Microchimica Acta**, v.166, p.1–19, 2009.

VANDERROOST, M.; RAGAERT, P.; DEVLIEGHERE, F.; DE MEULENAER, B. Intelligent food packaging: the next generation. **Trends Food Sci. Technol.**, v.39, p.47–62, 2014.

WIRDATMADJA, S.A.; BARROS, M.T.; KOUCHERYAVY, Y.; JORNET, J.M.; BALASUBRAMANIAM, S. “Wireless optogenetic nanonetworks for brain stimulation: Device model and charging protocols,” **IEEE TRANSACTIONS ON NANOBIOSCIENCE**, v.16, n.8, p.859-872, 2017.

YANG, F.; LIU, C.; GAO, F.; SU, M.; WU, X.; ZHENG, L.; HONG, F.; YANG, P. The Improvement of Spinach Growth by Nano-anatase TiO₂ Treatment Is Related to Nitrogen Photoreduction. **Biological Trace Element Research**, v.119, p.77 – 88, 2007.

YAO, J.; YANG, M.; DUAN, Y.X. Chemistry, biology, and medicine of fluorescent nanomaterials and related systems: new insights into biosensing, bioimaging, genomics, diagnostics, and therapy. **Chem. Rev.**, v.114, p.6130–6178, 2014.

ZHANG, L.; WEBSTER, T. Nanotechnology and nanomaterials: Promises for improved tissue regeneration. **Nanotoday**. v.4, n.1, p.66-80, 200.