



INSTITUTO FEDERAL
GOIÁS
Câmpus Anápolis

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS CÂMPUS ANÁPOLIS**

CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE
NANOPARTICULAS DE ZnO E MgO NO SOLO DE PLANTIO DE
MILHO**

DISCENTE: YARA SOARES GOMES

ORIENTADOR: Prof. Dr. THIAGO EDUARDO PEREIRA ALVES

Anápolis, 2022

YARA SORES GOMES

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE
NANOPARTICULAS DE ZnO E MgO NO SOLO DE PLANTIO DE
MILHO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Licenciatura em Química, apresentado à Coordenação do Curso Superior de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Anápolis.

Orientador: Prof.Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves

ANÁPOLIS, 2022.

FICHA CATALOGRÁFICA

G633e	GOMES, Yara Soares Estudo da influência da aplicação de Nanopartículas de ZnO e MgO no solo de plantio de milho / Yara Soares Gomes – – Anápolis: IFG, 2022. 46 p. : il. color. Orientador: Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves. Trabalho de Conclusão do Curso de Licenciatura em Química, Instituto Federal de Goiás, Campus Anápolis, 2022. 1. Melhoramento de solo. 2. Biomassa na agricultura. 3. Óxido de zinco e magnésio. 4. Estruturas nanoméricas. I. ALVES, Thiago Eduardo Pereira orien.. II. Título.
	CDD 631.8

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Matheus Rocha Piacenti CRB1/2992
Biblioteca Clarice Lispector, Campus Anápolis
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Yara Soares Gomes

Matrícula: 20191060020473

Título do Trabalho: Estudo da influência da aplicação de nanopartículas de ZnO e MgO no solo de plantio de milho.

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Anápolis, 13/02/2023.



Assinatura do Autor e/ou Detentor Dos Direitos Autorais

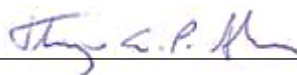
YARA SOARES GOMES

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE
NANOPARTICULAS DE ZnO E MgO NO SOLO DE PLANTIO DE
MILHO**

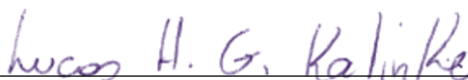
Trabalho de Conclusão do Curso de Licenciatura em
Química, apresentado à Coordenação da área de Química
do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Goiás – Campus Anápolis.

Orientador: Prof.Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves

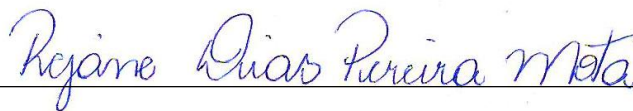
Aprovado em 15/12/2022



Profº. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves. (IFG – Anápolis)



Profº. Dr. Lucas Hoffmann Gregghi Kalinke (IFG – Anápolis)



Prof.ª. Profa. Dr.ª. Rejane Dias Pereira Mota (IFG – Anápolis)

Anápolis, 2022

RESUMO

O presente trabalho apresenta a síntese das nanopartículas ZnO e MgO para aplicação no solo para o plantio de milho e posterior estudo do seu desenvolvimento em diferentes concentrações das amostras e também em relação ao diâmetro das partículas. Para o estudo foram utilizados o ZnO e uma mistura de ZnO/MgO (1:1), sendo amostras nanoparticuladas sintetizadas em laboratório tanto pelo método de combustão, quanto em formato *bulk* obtidas comercialmente. O milho foi cultivado em latossolo preparado e tratado com as amostras dos óxidos e foi cultivado por 90 dias para estudo do desenvolvimento das plantas por meio da comparação da variação das biomassas de raízes e folhas. Por meio da espectroscopia infravermelho foi possível aferir a melhor temperatura para a síntese dos materiais nanoparticulados e foi verificada a formação dos óxidos, ausência de fases secundárias e impurezas após tratamento térmico. Por meio da difração de raios X foi observada a formação das fases cristalinas típicas para ZnO e MgO, que apresentaram diâmetro dos cristalinos de 39 nm e 28 nm, respectivamente. Em relação à variação da dose de biomassa aplicada quando comparadas com a dose zero apresentaram pouca influência em relação a biomassa da planta modelo, se destacando a mistura ZnO e MgO *bulk* com um aumento da biomassa significativo com o aumento da concentração.

Palavras-chaves: Melhoramento de solo, biomassa na agricultura, óxido de zinco e magnésio, estruturas nanoméricas.

ABSTRACT

The present work presents the synthesis of ZnO and MgO nanoparticles for application to soil for corn planting and further study of their development at different concentrations of the samples and also in relation to the particle diameter. For the study ZnO and a mixture of ZnO/MgO (1:1) were used, being nanoparticulate samples synthesized in the laboratory both by the combustion method and in bulk format obtained commercially. Corn was grown on latosol prepared and treated with the oxide samples and was cultivated for 90 days to study plant development by comparing the variation in root and leaf biomass. By means of infrared spectroscopy it was possible to determine the best temperature for the synthesis of nanoparticulate materials and to verify the formation of oxides, absence of secondary phases and impurities after thermal treatment. Through X-ray diffraction the formation of typical crystalline phases was observed for ZnO and MgO, which presented crystalline diameters of 39 nm and 28 nm, respectively. In relation to the variation of the biomass dose applied when compared to the zero dose showed little influence in relation to the biomass of the model plant, standing out the mixture ZnO and MgO bulk with a significant increase of biomass with the increase of the concentration.

Keywords: soil improvement, biomass in agriculture, zinc magnesium oxide, nanomeric structures.

LISTA DE ABREVIATURAS

DRX - Difração de Raios X.

FTIR - Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho com transformada de Fourier

NPs – nanopartículas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação das quantidades dos materiais para síntese das nanopartículas de óxido de zinco e magnésio 23

Tabela 2. Relação dos tratamentos em dados estatísticos da biomassa das folhas 34

Tabela 3. Relação dos tratamentos em dados estatísticos da biomassa das raízes 36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de obtenção do óxido de zinco e magnésio pelo método de combustão em forno mufla	22
Figura 2. Preparo do solo no agitador elétrico	24
Figura 3. Esquema da organização dos vasos	26
Figura 4. Digratograma para amostra de ZnO nanoparticulado preparado pelo método de combustão.....	28
Figura 5. Digratograma para amostra de MgO nanoparticulado preparada pelo método da combustão.....	29
Figura 6. Espectros do ZnO antes e após o tratamento térmico sob diferentes temperaturas .	30
Figura 7. Espectros do ZnO sob tratamento térmico em várias temperaturas.....	31
Figura 8. Box plot das folhas.....	32
Figura 9. Box plot das raízes	33
Figura 10. Gráficos de regressão das folhas (a) MgOZnO bulk (b) MgOZnO nano (c) ZnO nano (d) ZnO bulk	34
Figura 11. Gráficos de regressão das raízes (a) MgOZnO bulk (b) MgOZnO nano (c) ZnO bulk (d) ZnO nano	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Nanopartículas e nanociência	16
2.2 Óxido de zinco.....	16
2.3 Óxido de magnésio AUMENTAR TÓPICO.....	17
2.4 Método da reação de combustão	18
2.5 Solo do Cerrado AUMENTAR TB	19
2.6 Planta modelo	20
3. OBJETIVOS	21
3.1 Objetivo Geral	21
3.1.1 Objetivos específicos.....	21
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	22
4.1 Síntese das nanopartículas de ZnO e MgO.....	22
4.2 Preparo do solo aplicação de óxidos no solo do cerrado para desenvolvimento do milho	24
4.3 Adição das nanopartículas de óxidos de zinco e magnésio na amostra de solo	24
4.4 Cultivo e colheita.....	25
4.5 Caracterização das amostras.....	27
4.6 Difração de Raio X	27
4.7 Espectroscopia na região do infravermelho	27
4.8 Caracterização da Biomassa da Planta	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 Caracterização das nanopartículas.....	28

5.1.1 Difração de Raio X das amostras de ZnO e MgO	28
5.1.2 Espectroscopia no Infravermelho do ZnO e MgO.....	29
5.2 Análise da biomassa	31
5.2.1 <i>Box plot</i> das biomassas	31
5.2.2 Gráficos de regressão e significância	33
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

As nanopartículas (NPs) possuem um alto potencial de inovação para o desenvolvimento de novos produtos com propriedades químicas, físicas e biológicas únicas devido os efeitos da alteração do tamanho em suas estruturas. Os principais campos de aplicação desse material são a biomedicina, tecnologia, indústria e no campo da agricultura, não é diferente, a partir do desenvolvimento de estruturas nanométricas, inúmeras possibilidades vêm sendo desenvolvidas (OLIVEIRA, 2016).

Atualmente já existem estudos com estruturas nanométricas de diversos materiais para aplicação em agricultura, dentre eles estão o zinco (Zn), óxido de zinco (ZnO), dióxido de titânio (TiO₂), óxido de cério (CeO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃) e nanotubos de carbono. Estes compostos geralmente estão associados ou revestidos com outros elementos como ouro e fósforo, com aplicabilidade tanto como defensivos químicos no combate e prevenção de pragas, como na utilização de estimulantes ou inibidores de crescimento de plantas (GHIDAN E ANTARY, 2019; USMAN ET AL., 2020).

Dentre as NPs, as de óxido de zinco (ZnO), são óxidos bastante utilizados (SANTOS, 2020), isso se deve as variadas aplicações como por exemplo biosensores, tintas, pigmentos, alimentos, baterias e semicondutores. Além disso, o zinco (Zn) é um micronutriente essencial para as plantas sendo utilizado como adubos ou formulações agrícolas. Considerando as NPs de óxido de magnésio (MgO) podemos observar a sua importância na área da agricultura, principalmente devido à relevância bioquímica do magnésio como macronutriente essencial para a fisiologia das plantas (ALTOÉ, 2013).

As NPs de ZnO e MgO podem ser sintetizadas por diferentes rotas sintéticas (método de precipitação, método de transporte de vapor e processo hidrotérmico), no presente trabalho as NPs de ZnO e MgO foram sintetizadas através do método de combustão, um método simples, rápido, com baixo custo, bom rendimento e de fácil controle estequiométrico.

A inclusão dessas NPs no solo é um estudo muito importante e ainda pouco explorado especificamente no solo do cerrado, que além de possuir características muito específicas como alta toxicidade e pobreza em nutrientes demanda diversos macro e micronutrientes

dentre eles o zinco e o magnésio (SOUZA, 2018). Portanto, este trabalho é bastante relevante, visto que o milho é uma cultura muito presente e importante na região de Goiás e que o solo enriquecido com nanopartículas de óxidos de zinco e magnésio poderão auxiliar no cultivo e produtividade desta planta, bem como os resultados aqui apresentados impulsionarão pesquisas futuramente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Nanopartículas e nanociência

A nanociência é responsável pelo estudo de materiais em escala nanométrica, ou seja, que possuem dimensão entre 1-100 nm, isso inclui as nanopartículas (NPs) vista como uma das principais e mais inovadoras linhas de pesquisas científicas, aplicadas em diversos campos por possuírem propriedades únicas não encontradas na escala macro. Isso porque quando um material é reduzido em sua escala nanométrica a fração de átomos localizados nas regiões superficiais aumentam consideravelmente, o que proporciona novas possibilidades no desenvolvimento de dispositivos e sistemas mais eficientes (PADOVINI, 2013).

Os materiais nanométricos são dependentes da sua composição, forma e tamanho, tais fatores influenciam principalmente suas propriedades elétricas, cristalinidade, solubilidade, forma de agregação, entre outras (NEL et al., 2006). Essas características permitem alta capacidade de funcionalização em diferentes áreas da ciência como na física, química e biologia e campos como a biotecnologia, setores têxtil e automotivo, biomedicina e na agricultura (MODY et al., 2010; FALLEIROS et al., 2011; BRAKMANE et al., 2012).

Com tamanho e desempenho, atualmente já existe a produção de diferentes nanopartículas que envolvem o uso de partículas metálicas, polímeros, óxidos ou a exploração de materiais de carbono tais como os nanotubos de carbono, grafenos e fulerenos (OLIVEIRA, 2016). Cada uma com diferentes aplicações tanto como defensivos químicos no combate e prevenção de pragas e doenças na área agrícola, como na utilização como estimulantes ou inibidores de crescimento, para o fornecimento de nutrientes específicos ou inibidores de atividade microbiana (GHIDAN E ANTARY, 2019; USMAN ET AL., 2020).

2.2 Óxido de zinco

O óxido de zinco também conhecido como zincita pode ser encontrado em diferentes fases cristalinas como blenda e wurtzita, sendo a wurtzita uma estrutura pouco compacta e de fácil incorporação de impurezas em sua rede cristalina (WANG, 2009), a forma mais estável termodinamicamente em condições ambientes. Devido as propriedades ópticas, elétricas e piezelétricas, esse material possui diversas aplicabilidades e ainda é alvo de muitos estudos.

O ZnO é um semicondutor que possui energia de band gap de aproximadamente 3,4 eV, alta energia de éxciton (60 meV) e baixa toxicidade. Apresenta elevada condutividade térmica e boa estabilidade térmica e química. Sua energia de band gap pode ser modificada através de mudanças no tamanho de partícula, estado de agregação, forma e propriedades de superfície, permitindo a otimização de suas propriedades (OLIVEIRA e PINEDA, 2009).

O ZnO tem baixa solubilidade em meio aquoso, porém, quando nanoparticulado, esta propriedade é favorecida, ocorrendo a solubilização e facilitando o processo de absorção do íon Zn^{2+} pelas plantas. (CHILITI et al., 2017). Além disso, o ZnO nanoparticulado tem sua atividade antimicrobiana aumentada (SIRELKHATIM et al., 2015).

No campo da bioquímica as NPs de ZnO podem entrar no solo por vias diretas (produtos agrícolas) ou indiretas (biossólidos), e podem ser absorvidas e acumuladas pelas plantas, causando efeitos negativos ou positivos no crescimento das plantas. (Zeb et al., 2021). Além dessas propriedades, as NPs de ZnO, têm alto potencial catalítico e é muito comum seu uso em protetores solar, cerâmicas, processamento de borracha, tratamento de água residuais e como fungicida (SANGEETHA, et al., 2012).

Considerando os aspectos apresentados sobre o óxido de zinco, com sua gama de aplicabilidades, e ainda mais potencialidade para aplicação na agricultura em sua forma nanoparticulada, é necessário se atentar em qual dos diferentes métodos de síntese é o mais compatível com a pesquisa.

2.3 Óxido de magnésio

Dentre os diferentes óxidos metálicos, o óxido de magnésio (MgO) um composto de metal alcalino com estrutura cúbica de face centrada obtido geralmente através da calcinação de carbonato ou hidróxido de magnésio é muito citado em trabalhos e pesquisas isso por suas propriedades de alta capacidade de absorção, elevada refratariedade, boa estabilidade térmica e química (KHAIRALLAH; GLISENTI, 2007).

Essas propriedades permitem diferentes aplicabilidades como agente antimicrobianos, remediador de águas tóxicas, aditivo em materiais refratários, sensores eletroquímicos e biocomponentes. Em sua forma nanoestruturada o MgO exibe reatividade diferente de sua forma

convencional, já que sua reatividade e taxa de absorção dependem principalmente da grande área de superfície, característica que proporciona a sua utilização como agente de revestimento que ajuda a aumentar a eficiência de conversão de energia (DUARTE, 2018). Além disso, o óxido de magnésio é um catalisador eficiente e tem sido foco de considerável atenção, pois catalisa uma variedade de reações orgânicas, como reação aldólica, síntese de epóxi quiral de cetonas e também nitro álcoois quirais (MURAGAN et al., 2012; ITAS et al., 2023).

O MgO nanoparticulado como produto intermediário do processo industrial de produção de refratários obtido da calcinação da magnesita (MgCO_3) (NOGUEIRA et al., 2012), vem sendo estudado como uma das possibilidades de corretivo para, isso porque além de um macronutriente essencial para as plantas, o magnésio exerce funções como transporte e redistribuição dos produtos da fotossíntese (chamados de fotoassimilados).

2.4 Método da reação de combustão

O método da reação de combustão se destaca para a síntese de diferentes materiais como catalisadores, semicondutores e óxidos nanométricos em geral. Isso devido a vantagens como baixo custo, ao controle da homogeneidade química (ARAÚJO, 2019) e a execução relativamente fácil, uma vez que iniciadas por uma fonte externa, as reações exotérmicas constituintes desse processo ocorrem rapidamente, tornando-se auto-sustentável e resultando no óxido final.

Esse método também chamado de síntese auto-propagante ocorre dentro dos princípios termodinâmicos das reações de combustão, que tem seu início na temperatura de ignição e envolve uma reação redox exotérmica contendo íons metálicos de interesse, nesse caso nitratos dos cátions desejados, agindo como oxidantes e a uréia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) agindo combustível redutor.

Dentre os agentes oxidantes os nitratos foram escolhidos como precursores metálicos porque além de disponibilizar o cátion, possui eficiente solubilidade em água o que permite a homogeneização da solução. Sendo assim os precursores responsáveis pela síntese de combustão de óxido de zinco e óxido de magnésio são seus respectivos nitratos: $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ no qual contém seus íons e os grupos de agentes oxidantes NO_3 .

Outra importante escolha é o combustível, que além de responsável para que haja auto-

ignição, pode determinar a quantidade de gases tóxicos liberados e até a cristalinidade em escala nanométrica dos materiais obtidos. Entre os combustíveis utilizados podem ser citados o ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), a carboidrazida (CH_6N_4O), a uréia (CH_4N_2O) e a glicina ($C_2H_5NO_3$), sendo esses dois últimos os que podem ser obtidos com maior facilidade, e a uréia considerada a mais viável economicamente e comercialmente (GUAGLIANONI, 2012).

Considerando esses aspectos o ponto chave da síntese por reação de combustão está na relação oxidante/combustível. A mistura entre esses dois componentes envolve a desidratação, decomposição, inchaço e ignição. Primeiramente a água dos sais é evaporada e nesse processo ocorre a decomposição da amônia (NH_3) e do biureto. O biureto se decompõe em ácido cianúrico e concomitantemente, nesse ponto, os nitratos se decompõem em óxidos de nitrogênio (ALVES, 2018).

Finalmente, após o aquecimento da mistura e produção de gases liberados, é formada uma espuma que com choque térmico e quebra da resina formada produz um óxido em pó com estrutura amorfa (KIMINAMI et al, 2007) e posteriormente com tratamento térmico se transforma em um material cristalino do óxido em escala nanométrica.

2.5 Solo do Cerrado

Os solos do bioma brasileiro Cerrado são caracterizados pela baixa fertilidade inerente da escassez de nutrientes do solo (LOPES, 1996; SERAFIM et al., 2023). Os latossolos, constituem a principal classe de solos do Brasil, correspondendo a mais de 60% da superfície do país e aproximadamente a metade do bioma Cerrado brasileiro. Os autores Schaefer et al. (2008) e Eberhardt et al. (2008) relatam que os latossolos apresentam severa restrição química ao desenvolvimento vegetal, pois esses solos apresentam baixa capacidade de troca catiônica, alta saturação de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes (GOEDERT, 1983; LOPES 1984; LOPES; COX, 1977). No entanto, essas limitações de fertilidade dos latossolos podem ser solucionadas com a aplicação de corretivos e fertilizantes (CASTRO; CROSCIOL, 2013; GOEDERT, 1983; SILVA et al., 2021).

A introdução de corretivos e fertilizantes nos latossolos do Cerrado tiveram início na década de 1970, no qual ocorreram mudanças na infraestrutura e também melhorias como

enriquecimento do solo, permitindo um avanço e expansão na agricultura, como cultivo de soja, milho e feijão (CUNHA, 1994; JEPSON, 2005; KLINK; MACHADO, 2005). Esses avanços tecnológicos e o aumento da rentabilidade da terra foram fundamentais para transformar o Cerrado na mais importante fronteira agrícola do país (REZENDE, 2002; ARANTES et al., 2016).

O Mg e Zn são macro e micronutrientes necessários e de disponibilidade escassas no solo do cerrado e devido os altos níveis de acidez e índices de alumínio afetarem capacidade de solubilidade desses compostos, o uso de fertilizantes que atendam a essa demanda é a saída para os produtores (TORRES, 2017).

2.6 Planta modelo

O milho (*Zea mays*) originário de ilhas próximas do México, é um cereal com alto potencial produtivo, sendo cultivado e consumido em todo continente inclusive no Brasil, perdendo apenas para o trigo e arroz, isso porque ele é utilizado não só na alimentação humana de diversas populações, como em alimentos básicos (fubá, farinha, óleos), mas também na produção de rações animais devido seu alto valor nutricional.(KLEINSCHMITT, 2019).

A utilização variada do milho em diferentes regiões com solo e clima distintos é um dos pilares para o seu crescimento do potencial produtivo, com isso, para satisfazer a produção, os produtores se utilizam de algumas tecnologias, como as sementes sofrem modificação sendo melhoradas, o que representa maior estabilidade no seu desenvolvimento (EMBRAPA, 2012).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo central deste projeto é sintetizar as nanopartículas de ZnO e MgO, caracterizá-las e aplicá-las no solo junto aos materiais em escala *bulk*¹ comparando os efeitos de diferentes concentrações para avaliar o impacto no desenvolvimento do milho.

3.1.1 Objetivos específicos

- Sintetizar as nanopartículas de óxidos de zinco e magnésio pelo método de combustão;
- Caracterizar as estruturas das nanopartículas por difração de raios x e espectroscopia de infravermelho;
- Realizar o plantio do milho em solo previamente preparado com os óxidos de zinco e zinco/magnésio *bulk* e nanoparticulados em diferentes concentrações, em delineamento experimental controlado;
- Proceder a análise da biomassa das raízes e folhas para uma análise acerca do impacto das aplicações sobre o desenvolvimento do milho.

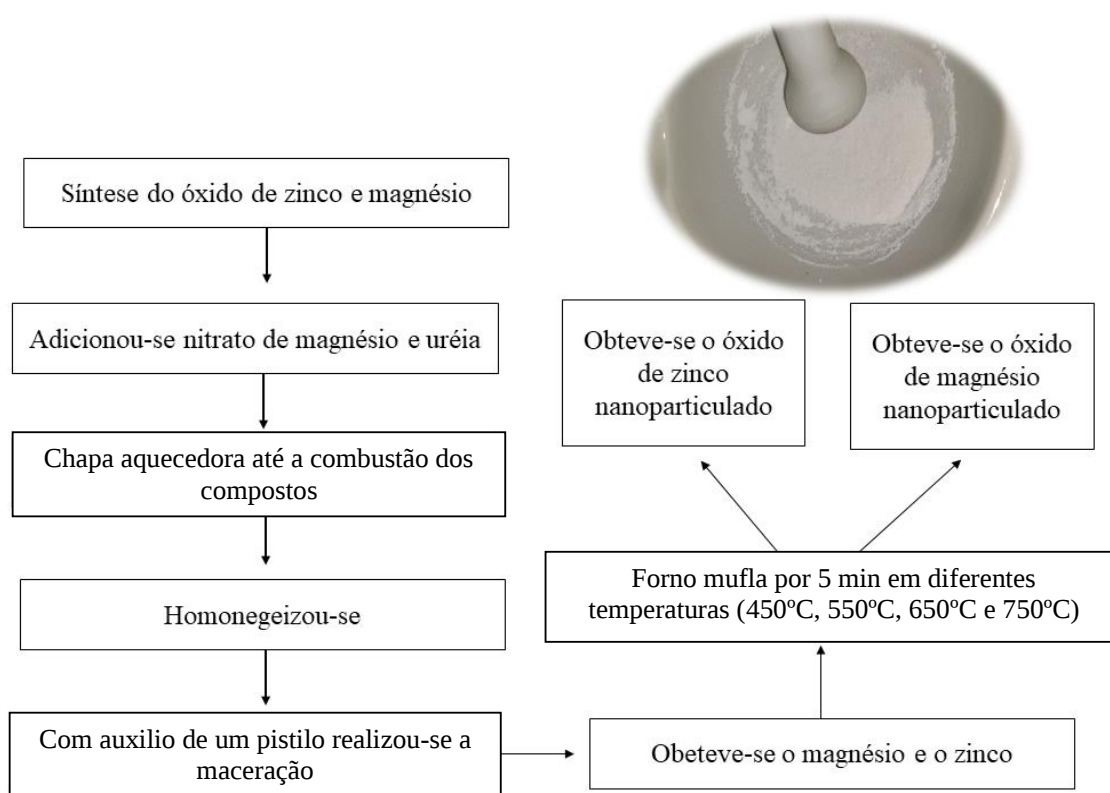
¹ Sólido "*bulk*" pode ser entendido como um conjunto de partículas sólidas grandes o suficiente para que a média estatística de suas propriedades seja independente do número de partículas.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Síntese das nanopartículas de ZnO e MgO

A síntese das nanopartículas de ZnO foi realizada com base no método de combustão no forno mufla, onde o nitrato de Zinco ($[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$) agiu como precursor metálico e a uréia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) como combustível. Na figura 1 a seguir pode-se observar o fluxograma detalhado do processamento e obtenção das nanopartículas:

Figura 1. Fluxograma de obtenção do óxido de zinco e magnésio pelo método de combustão



Inicialmente foram pesados as quantidades dos oxidantes (precursores metálicos) e de combustível, apresentadas na Tabela 1 a seguir, para cada uma das duas nanopartículas, ambas misturadas com água destilada sob agitação constante no balão volumétrico de 100 mL, essa solução foi então transferida para cápsula de porcelana para respectivo aquecimento.

Tabela 1. Relação das quantidades dos materiais para síntese das nanopartículas de óxido de zinco e magnésio

Óxido de Zinco (ZnO)		Óxido de Magnésio (MgO)	
Nitrato de zinco	Uréia	Nitrato de magnésio	Uréia
3,0165g	5,0060g	3,0025	3,0013

A próxima etapa se trata do aquecimento, a solução foi submetida a dois tratamentos, primeiramente para formação das partículas de ZnO há o aquecimento em chapa aquecedora com a cápsula de porcelana revestida com folhas de alumínio.

Em seguida foi realizado um tratamento térmico da solução, para isso a solução aquosa contendo a uréia e o nitrato metálico foi aquecida em chapa aquecedora por 2 horas. Nos primeiros 20 minutos ocorreu a ebulição da água e também a formação de gases, por decomposição de nitratos e da ureia. Em seguida, praticamente toda a água evaporou-se restando um gel viscoso. Em torno de 40 minutos ocorreu-se a evaporação de líquido e formação de gases se estabilizou, formando então uma pasta esbranquiçada.

Após esse processo, a amostra foi colocada sobre uma superfície fria (25°C) para promover um choque térmico que resulta na formação de uma resina sólida. A resina sólida foi pulverizada em uma almofariz de porcelana e após tornou-se um pó branco que foi submetida ao tratamento térmico em forno mufla. O tratamento térmico foi realizado durante 5 minutos, onde foram testadas diferentes temperaturas: 450°C, 550°C, 650°C e 750°C. Após isso o pó fino transformou-se em flocos frágeis, os quais foram pulverizados em almofariz.

Para a síntese do MgO foi utilizada a mesma metodologia com processamento térmico durante 2 horas na chapa aquecedora, apenas com a substituição do nitrato. Em seguida realizou-se o procedimento de combustão e forno mufla com temperatura a partir de 550°C.

4.2 Preparo do solo aplicação de óxidos no solo do cerrado para desenvolvimento do milho

A próxima etapa consistiu no preparo do solo antes da aplicação dos óxidos (*bulk* e nanoparticulados) em latossolo. Para isso houve a coleta no subsolo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Anápolis, com uma técnica simples, porém cautelosa, retirou-se primeiramente a superfície do solo a fim de evitar contaminações, como galhos, pedras e outros resíduos. Coletou-se a amostra de aproximadamente 12 Kg de latossolo a cerca de 10 cm de profundidade utilizando uma pá e um balde.

Em seguida foi necessário peneirar a amostra de solo para desfazer e quebrar as aglomerações de terra, para isso foi utilizado um agitador elétrico de peneiras quadradas disponíveis no Laboratório de Engenharia do IFG - Anápolis como apresentado na figura 2. A amostra foi dividida e colocada sobre a malha de 4,0 mm por cerca de 5 minutos de agitação até a homogeneização completa.

Figura 2. Preparo do solo no agitador elétrico



Na última etapa de preparo do solo antes da inserção das nanopartículas, realizou-se a secagem, um processo necessário onde toda a umidade foi evaporada. Inicialmente separou-se em seis bandeijas e colocou-se na estufa com ar controlado a 90 °C por 7 dias. É importante ressaltar que essa umidade foi favorecida pelas condições climáticas do período de coleta, no qual se tratava de dias chuvosos.

4.3 Adição das nanopartículas de óxidos de zinco e magnésio na amostra de solo

Primeiramente pesou-se as amostras de diferentes concentrações de nanopartículas de óxidos de zinco e magnésio, nos quais obteve-se o controle (dose zero) e as concentrações de 0,05mg, 0,1 mg, 0,5mg, 1mg e 2mg.

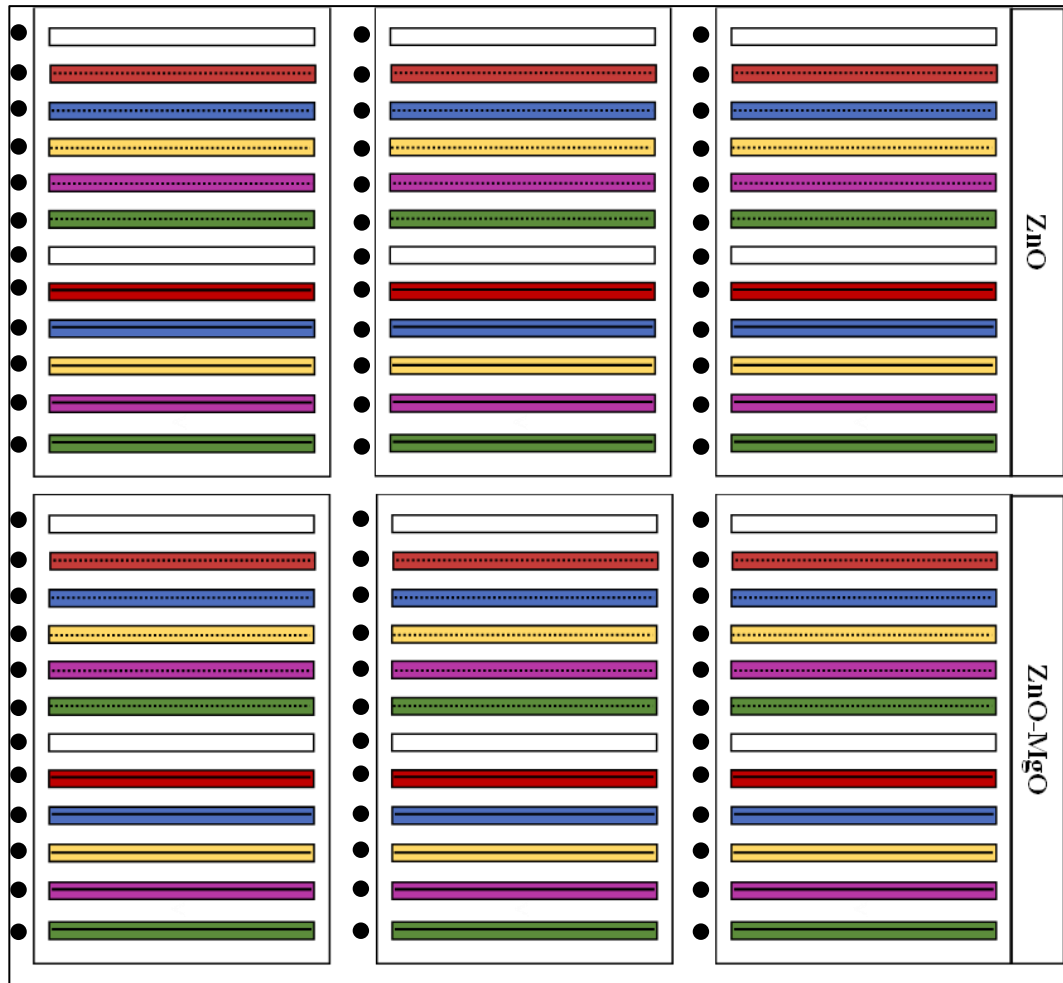
Após o preparo das amostras de óxidos realizou-se a coleta, preparação e secagem do solo. Inicialmente pesou-se 2Kg de solo e acondicionou-se em seis sacos plásticos, que posteriormente foram introduzidos na mesma proporção de solo em 15 vasos (5 vasos em triplicata). Por fim, adicionou-se as 5 concentrações de nanopartículas de óxidos de zinco e magnésio nos vasos contendo o solo, homogeneizou-se as amostras por tombamento em 20 vezes. Portanto, a amostragem foi 15 vezes maior que o proposto a fim de garantir a exatidão das massas.

Além da incorporação das nanopartículas sintetizadas é importante ressaltar que a pesquisa também contemplou a aplicação das partículas de ZnO e MgO em sua forma *bulk*, a fim de estudar as diferenças dos efeitos de um mesmo material em escala de tamanho diferentes.

4.4 Cultivo e colheita

Para redução de plantas competidoras, estas foram divididas em 360 copos plásticos descartáveis de 250 mL utilizados como vasos, as concentrações foram organizadas para cada material como apresentado na figura 3. Para cada dosagem foram 15 experimentos em triplicata resultando em 75 vasos de cada material, incluindo a dose zero e 360 vasos em todo o experimento.

Figura 3. Esquema da organização dos vasos



- Controle
- 0,05 mg
- 0,5 mg
- 0,1 mg
- 1 mg
- 2 mg

Nano
Bulk ———

Utilizando o milho como planta modelo, os vasos semeados foram irrigados diariamente até a saturação máxima do solo. Inicialmente, após a semeadura, a espécie foi avaliada a cada dois dias durante 90 dias. Após 90 dias de plantio realizou-se a avaliação da altura das plantas e também a fertilidade do solo, levando em consideração as diferentes doses das nanopartículas.

A análise estatística dos dados obtidos de altura das plantas e da fertilidade do solo em

diferentes dosagens de NPs foram calculados utilizando regressão múltipla, observando o coeficiente de regressão ao nível de significância de (95%) e comparação de variâncias entre os valores nas dosagens relacionando as doses da nanopartícula.

Após saturação máxima houve um deliniamento qualitativo do peso das raízes e folhas de cada planta. Primeiramente houve a separação das raízes e folhas e em seguida as raízes foram higienizadas. Logo após realizou-se a secagem das plantas em estufa e acompanhamento durante 48 horas, com posterior pesagem. O processo da pesagem ocorreu em 4 dias e os valores foram tabulados.

4.5 Caracterização das amostras

As nanopartículas foram caracterizadas por análise de difração de raios X (DRX) para caracterização estrutural, por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) para análise dos modos de absorção típicos da ligação Zn-O e também para avaliação da melhor temperatura para tratamento térmico.

4.6 Difração de Raio X

Nesse trabalho as análises estruturais das nanopartículas foram realizadas por Difração de raios X (DRX) num difratômetro Shimadzu (modelo XRD-6000: Tóquio, Japão) na Central Analítica do Instituto de Química da UFG. As amostras foram submetidas à radiação ($\text{Cu K}\alpha$ 1,5418 Å). As varreduras foram realizadas com taxa de 0,02 graus por segundo e com intervalo de ângulo de $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ para MgO e $20^\circ \leq 2\theta \leq 100^\circ$ para ZnO utilizando-se espectroscopia de absorção atômica.

4.7 Espectroscopia na região do infravermelho

As análises de espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier foram realizadas em um espectrofotômetro Perkin Elmer (modelo Spectrum 400) no laboratório do Centro de Análises, Inovação e Tecnologia da UEG (CAiTec UEG). Todas amostras foram dispersas em janela óptica de KBr (aproximadamente 1% em massa) para posterior fabricação de pastilhas e submissão das análises.

4.8 Caracterização da Biomassa da Planta

Inicialmente para a caracterização da biomassa realizou-se a separação das raízes e folhas de cada planta, em seguida estas foram lavadas com água potável e secadas em estufa para posterior pesagem e tabulação dos dados.

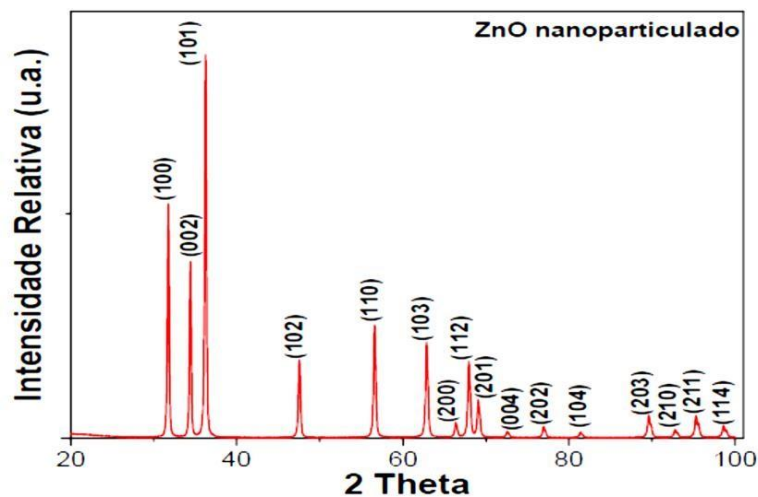
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das nanopartículas

5.1.1 Difração de Raio X das amostras de ZnO e MgO

Para caracterização estrutural foi realizada a difração de raios X para a amostra de ZnO e MgO, para o ZnO foi observado o padrão típico para a estrutura tipo hexagonal compacto conhecida como wurtzita que corresponde à referência JCPDS PDF #36-1451, como apresentado na figura 4 a seguir.

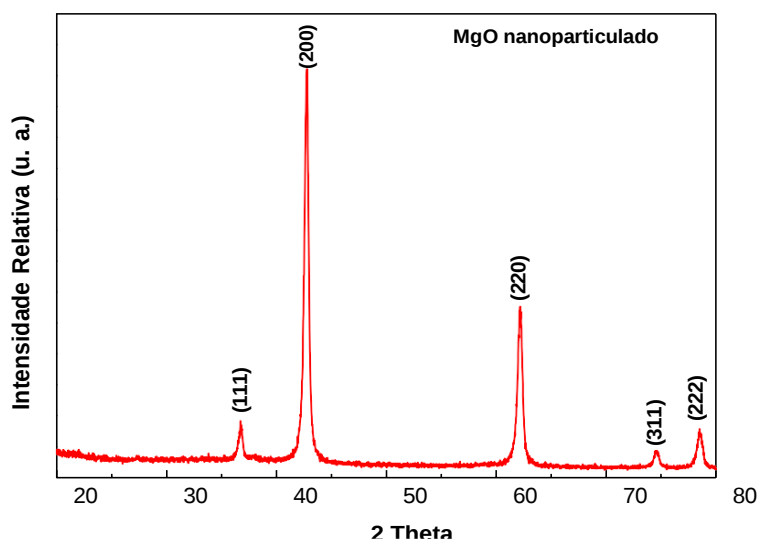
Figura 4. Digratograma para amostra de ZnO nanoparticulado preparado pelo método de combustão



Na figura 5, pode-se observar que a amostra MgO obteve uma fase obtida para a estrutura cúbica que corresponde à referência JCPDS² 45-0946.

² JCPDS: Esta sigla se remete ao termo da língua inglesa “*Joint committee on powder diffraction standards*” que são o comitê de normas sobre difração de pós.

Figura 5. Digratograma para amostra de MgO nanoparticulado preparada pelo método da combustão

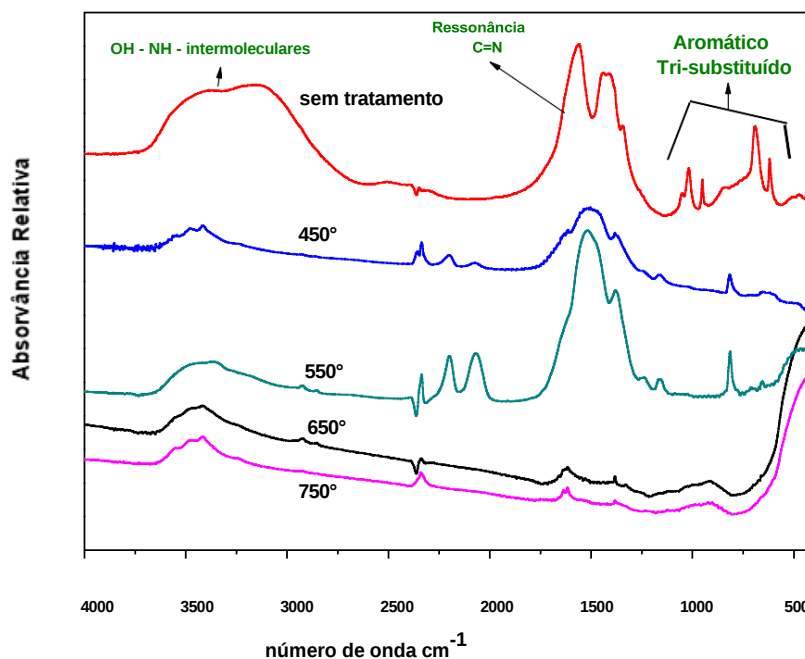


Os diâmetros médios dos cristalitos foram calculados a partir dos dados dos difretogramas utilizando a equação de Scherrer. Para as amostras ZnO e MgO foram encontradas 39nm e 28 nm, respectivamente.

5.1.2 Espectroscopia no Infravermelho do ZnO e MgO

As análises de FTIR foram realizadas para interpretar melhor a síntese e investigar a melhor temperatura para formação do ZnO contudo sem influenciar no crescimento das nanopartículas. Desta forma, as amostras foram tratadas em diferentes temperaturas por 5 minutos conforme a figura 6 a seguir.

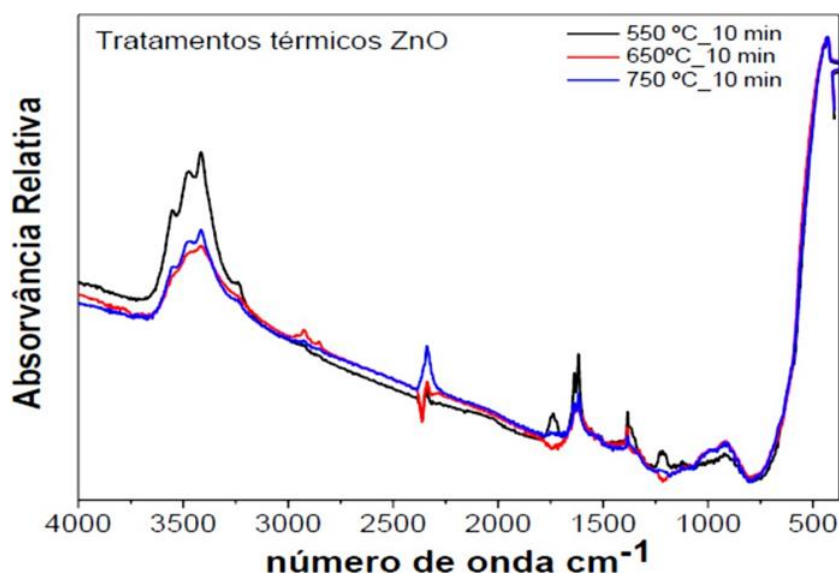
Figura 6. Espectros do ZnO antes e após o tratamento térmico sob diferentes temperaturas



Com base nas análises foi possível observar a presença de resíduos da reação de combustão conforme descritos na revisão bibliográfica. Além disso, foi possível evidenciar a formação da ligação Zn-O a partir do surgimento da banda na região de 500 cm^{-1} o que ocorre somente nas amostras submetidas ao tratamento térmico a partir de 550°C.

Foram realizadas análises FTIR para as amostras tratadas acima de 550 °C por 10 minutos. A partir do gráfico normalizado é possível concluir que as amostras não apresentam fases secundárias e que possuem a banda típica atribuída aos modos vibracionais da ligação do Zn-O em estrutura hexagonal em torno de 550 cm^{-1} , conforme a figura 7 a seguir. Levando em consideração esses resultados todas as amostras, incluindo as de MgO foram sintetizadas e em seguida tratadas termicamente sob temperatura de 550°C.

Figura 7. Espectros do ZnO sob tratamento térmico em várias temperaturas



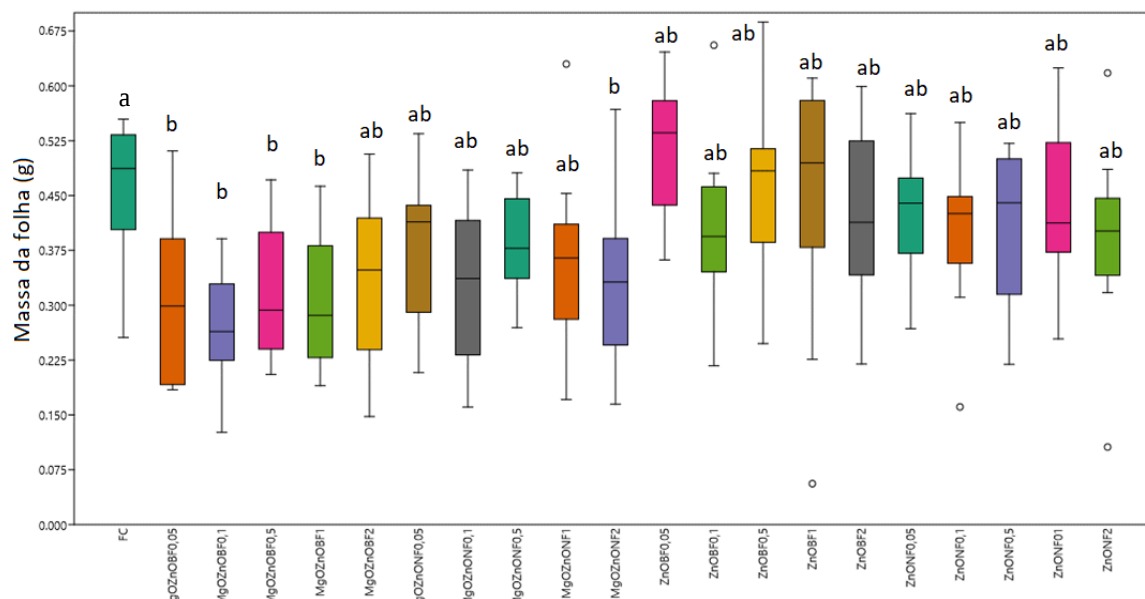
5.2 Análise da biomassa

5.2.1 Box plot das biomassas

As massas, tanto das folhas quanto das raízes das plantas em todas as suas variações de concentração foram coletadas e com esses dados os gráficos *box plot* foram plotados, como pode-se observar nas figuras 8 e 9, utilizou-se as amostras de raízes e folhas para obtenção de dados estatísticos de comparação do desenvolvimento das biomassas. A primeira evidência que foi válido destacar é que as folhas e raízes quando tratadas com as partículas de MgO-ZnO *bulk*, exceto na concentração de 2mg, suas biomassas se diferem em comparação com a amostra controle.

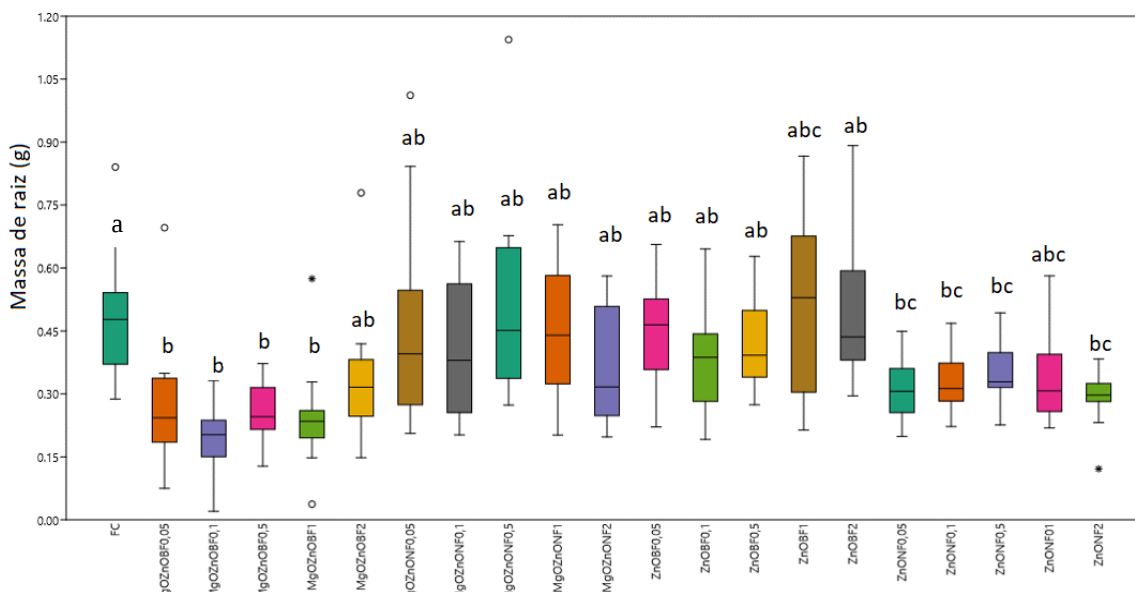
Analisando a figura 8 individualmente, pode-se observar que os valores obtidos das biomassas das folhas em comparação com o controle, as amostras tratadas com MgO-ZnO-NP nano na concentração de 2 mg se diferem de todas as outras amostras, com uma variação bem elevada. No entanto, as demais concentrações não diferem entre si e nem com os materiais ZnO nano e *bulk*.

Figura 8. Box plot das folhas



Observa-se na figura 9, que na biomassa das raízes que contém MgO e ZnO *bulk* tem uma semelhança estatística dos seus valores com a biomassa das folhas, incluindo a diferenciação na concentração 2mg. Em sequência, os materiais MgO-ZnO-NP não diferem significativamente da amostra controle, o que se distinguem do ZnO, que em forma *bulk* possui uma variação que se difere em 2 mg, mas na forma nano possui valores expressivos que mantem um padrão entre si mas não com os outros, sendo valores diferente e menores.

Figura 9. *Box plot* das raízes



5.2.2 Gráficos de regressão e significância

Quanto aos gráficos de regressão linear que possibilitam analisar na biomassa os efeitos entre as concentrações que foram aplicadas, foi possível evidenciar os resultados referentes a biomassa e doses (ALÍQUOTA) das folhas e raízes em cada material MgOZnO e ZnO tanto nanoparticulados quanto *bulk* e relacionar com o valor-p na Tabela 2, que estatisticamente quando abaixo de 0,05 indica diferença significativa no tratamento.

Analisando a Figura 10, pode-se observar que a inclinação da linha de regressão dos materiais não expressa variações significativas a ponto de ser expressado no valor-p, portanto nenhum dos materiais interferiu no crescimento da biomassa das folhas o que pode ser útil dependendo da função desses materiais, como por exemplo fungicidas ou inibidores de pragas que não interfiram nas folhas.

Figura 10. Gráficos de regressão das folhas (a) MgOZnO bulk (b) MgOZnO nano (c) ZnO nano (d)

ZnO bulk

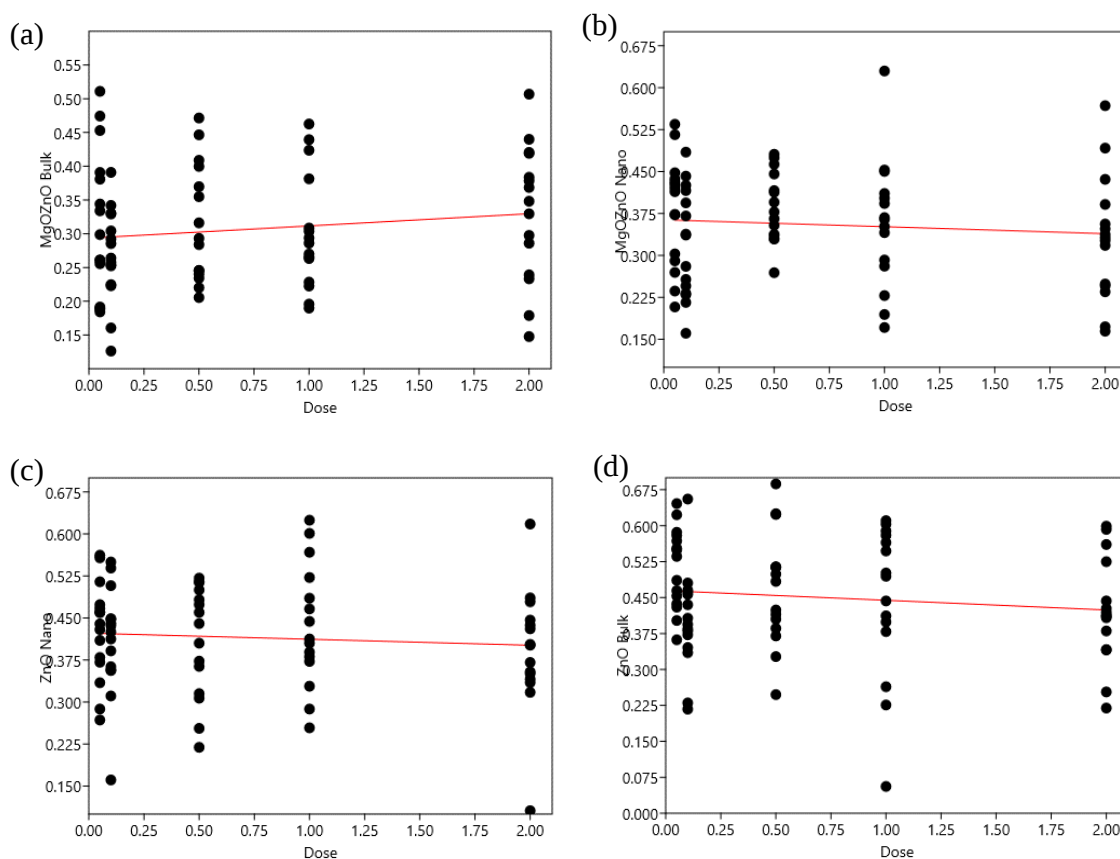


Tabela 2. Relação dos tratamentos em dados estatísticos da biomassa das folhas

Variable	Slope	Error	Intercept	Error	r	p
MgOZnO <i>bulk</i>	0,018089	0,014644	0,29351	0,015023	0,14309	0,2207
MgOZnO nano	-0,01243	0,015961	0,36375	0,016374	-0,09078	0,4386
ZnO <i>bulk</i>	-0,02016	0,019524	0,46455	0,02003	-0,11997	0,30527
ZnO nano	-0,01079	0,016026	0,42283	0,016441	-0,07853	0,50306

A Figura 11 apresenta a regressão dos valores de massa das raízes. Os gráficos (a) e (b) é em relação aos materiais MgO e ZnO, analisando primeiramente o *bulk* (a) o aumento da

concentrações das doses é proporcional ao aumento da biomassa das folhas e o valor-p confirma a significância desse dado, o que não acontece para os demais em relação a folha.

Figura 11. Gráficos de regressão das raízes (a) MgOZnO *bulk* (b) MgOZnO nano (c) ZnO *bulk* (d) ZnO nano

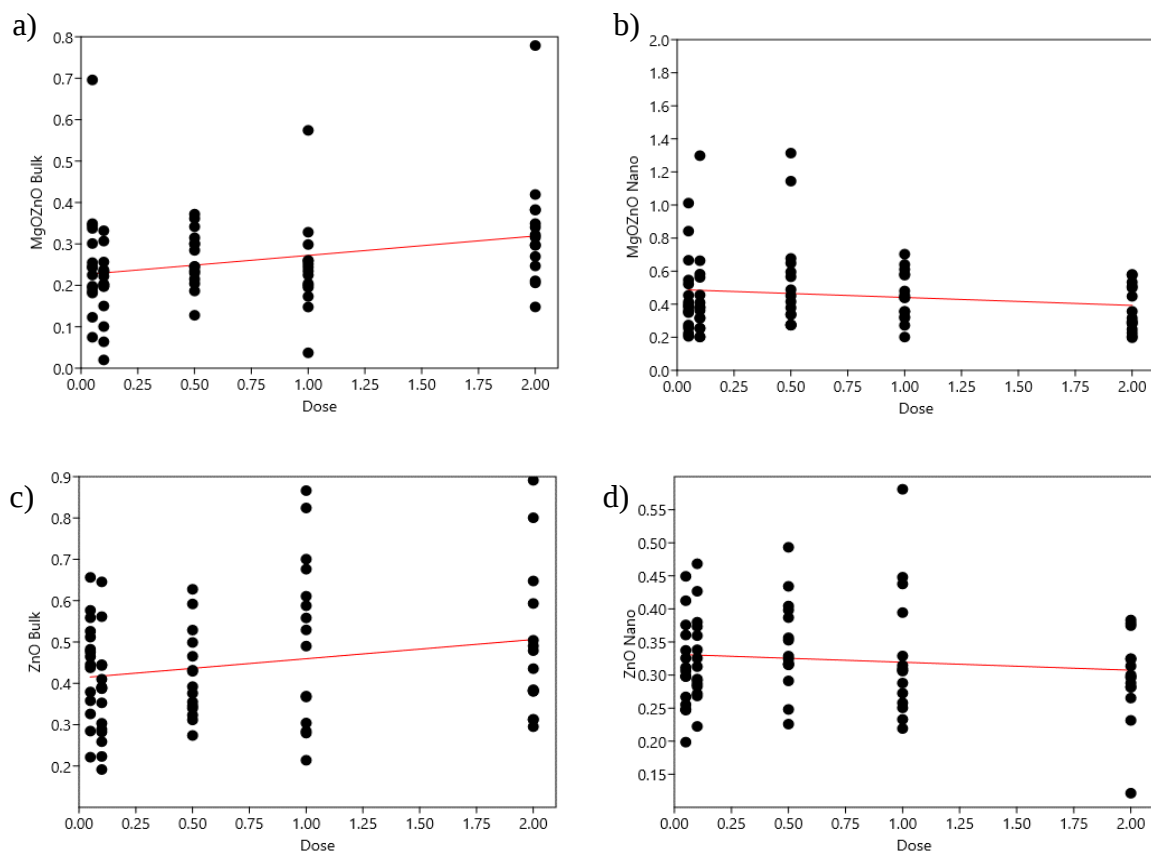


Tabela 3. Relação dos tratamentos em dados estatísticos da biomassa das raízes

Variáveis	Slope	Error	Intercept	Error	r	p
MgOZnO <i>bulk</i>	0,046898	0,018579	0,22538	0,01906	0,28334	0,013767
MgOZnO nano	-0,04795	0,036752	0,48889	0,037704	0,15096	0,19607
ZnO <i>bulk</i>	0,046518	0,024294	0,413	0,024924	0,21868	0,059439
ZnO nano	-0,01205	0,011805	0,33145	0,012111	0,11864	0,3107

A partir das análises dos dados das biomassas obtidas para as diferentes concentrações de óxidos no solo é possível afirmar que a diferença para a biomassa das folhas não sofrem variação significativa com a aplicação de nenhuma das amostras analisadas. Quando são observados os dados para a biomassa das raízes a tendência da aplicação dos óxidos não afetar a sua variação também é observada, com exceção da amostra ZnOMgO *bulk*. Para esse último caso existe uma variação de aumento da biomassa das raízes em relação ao aumento da concentração das aplicações.

Para as folhas não foram observadas variações significativas enquanto que para as raízes variações significativas ocorreram, o que pode estar relacionado ao mecanismo de absorção, quais sejam, dos óxidos aplicados ou da interação desses óxidos com o solo influenciando na absorção de água e/ou de nutrientes. Esses mecanismos de absorção são em geral diferentes para folhas e raízes.

Nas raízes a amostra ZnOMgO *bulk* apresentou variação significativa conforme descrito anteriormente, se for observada e a amostra ZnO *bulk* é possível notar que nesse caso a biomassa das raízes apresentou o limite da significância estatística, o valor de $p = 0,059$. É possível inferir que a dimensão *bulk* dos óxidos é um fator importante para afetar a biomassa das raízes diferente dos óxidos nanoparticulados. Para melhor refinamento desses efeitos análises de teor de Zinco e Magnésio no solo, na folha e nas raízes poderão ser realizadas para uma justificativa do mecanismo de absorção dos óxidos e/ou a influência na dinâmica de absorção de nutriente do solo.

Vale ressaltar que conforme apresentado na revisão bibliográfica desse trabalho o ZnO e o MgO nanoparticulados possuem atividades aumentadas para aditivos antifúngicos e antimicrobianos. Uma vez observado que a aplicação prévia das nanopartículas no solo não influencia negativamente nos primeiros 30 dias o desenvolvimento da planta e o uso para este tipo de controle pode ser viável.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho, foi estudado a obtenção de nanopartículas de ZnO e MgO por meio da reação de combustão, evidenciando através da espectroscopia na região do infravermelho para o ZnO que a formação da banda típica da ligação Zn-O ocorre a partir de 550°C, sendo essa caracterização a base para a temperatura utilizada na síntese de MgO.

Foram realizadas as análises para caracterização estrutural de difração de raio-x em ambas as nanopartículas, sendo observada para o ZnO padrão típico hexagonal compacto conhecido como wuertzita e para MgO a típica estrutura cúbica que correspondem a referência.

O milho utilizado como planta modelo foi cultivado no latossolo do cerrado com diferentes concentrações de ZnO, MgO nanoparticulados e *bulk*, os resultados estatísticos referentes a biomassa mostraram que as amostras de MgOZnO *bulk* influenciaram de maneira significativa na folha e na raiz, ambas ficando abaixo do controle e no caso da raiz seu crescimento foi proporcional a concentração aplicada.

Quanto ao ZnO-NP nano as folhas não apresentam diferença significativa em relação a dose zero, a raiz tem sua biomassa reduzida apesar disso o valor-p não confirma essa significância, ou seja, se não afeta negativamente em nenhuma concentração isso pode ser útil baseado nas suas capacidades fungicidas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, T. E. P. A. **Síntese, Caracterização e Estudo das Propriedades Magnéticas e Ópticas de Óxidos Nanoparticulados: $\text{CoFe}_2\text{-XYxO}_4$ produzido por reação de combustão e ZnO produzido por meio do método poliol**, 2018. Tese (doutorado) apresentada ao Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás, Campus Goiânia. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bistream/tede/8894/5/Tese%20%20Thiago%20Eduardo%20Pereira%20alves%20-%202018.pdf>. Acesso em: 28 de Maio de 2022.
- ARANTES, A. E.; FERREIRA, L. G.; COE, M. T. The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: Past, present, and future influences of land cover and land use. **ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing**, v. 117, p. 66-78, 2016.
- ARAÚJO, JÔNATA MATIAS DE. **Estudo da rota de síntese na obtenção de Fe_3O_4 nanoestruturada para uso em biossensores**, 2019. Monografia (graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.
- CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Geoderna effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, v. 195, p. 234-242, 2013.
- CHILITI et al. SÍNTESE DE ÓXIDO DE ZINCO PELO MÉTODO DOS PRECURSORES POLIMÉRICOS E AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE SÍNTESE NO CONTROLE DE FORMAÇÃO DE FASE. IX Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio. São Carlos, 2017.
- CUNHA, A. S. **Avaliação da sustentabilidade da agricultura nos Cerrados**. Relatório de Pesquisa, Brasília, IPEA, 1994).
- EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; DE FÁTIMA GUIMARÃES, M. Influence of soil texture and mineralogy on phosphorus retention in cerrado oxisols under pasture. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, v. 3, p. 1009-1016, 2008.
- ERDÓCIA, F. A. B. **Difração de Raios X em Minerais de Bauxita e Análise Através de Refinamento pelo Método de Rietveld**, 2011. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Pará. Disponível em: http://www.ppgf.ufpa.br/download/Dissertacoes/38_F%C3%A9lix_Erd%C3%B3cia.pdf Acesso em 14 de Junho de 2022.
- FRANCO, A. F.; ALVES, T. E. P. **Room temperature ferromagnetism in combustion reaction prepared iron doped zinc oxide nanoparticles**. Materials Science in Semiconductor Processing, 16, 2013. 1804–1807
- GARCÍA-LARA, S.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Chapter 1 - **Corn History and Culture**. In:

SERNA-SALDIVAR, S. O. (Ed.). Corn (Third Edition). Oxford: AACC International Press, 2019. p.1-18.

GHIDAN, A. Y., & AL ANTARY, T. M. (2019). **Applications of Nanotechnology in Agriculture. In Applications of Nanobiotechnology.** IntechOpen.

GLAUCEA, WARMELING DUARTE. **Obtenção de nanopartículas de mgo revestidas com carbono: avaliação dos parâmetros de síntese e tratamento térmico na morfologia das nanoestruturas obtidas, 2018. 110f. Tese (doutorado).** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

GOEDERT, W. J. Management of the Cerrado soils of Brazil: A review. **Journal of Soil Science**, v. 34, n. 3, p. 405-42, 1983.

GOTTSCHALK, F., T. SONDERER, R. W. SCHOLZ, AND B. NOWACK. 2009. **Modeled environmental concentrations of engineered nanomaterials (TiO₂, ZnO, Ag, CNT, Fullerenes) for different regions:** *Environmental Science & Technology*, v. 43, p. 9216-9222.

GUAGLIANONI, WALESKA CAMPOS. **Síntese de óxido de zinco nanoestruturado através do método de combustão em solução e sua caracterização microestrutural, 2012. Monografia (graduação).** Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2012.

HUANG, H. et al. Promotional effect of HZSM-5 on the catalytic oxidation of toluene over MnO_x/HZSM-5 catalysts. **Catalysis Science & Technology**, v. 6, p. 4260-4270, 2016.

HWANG, C.C.; WU, T.Y. **Combustion synthesis of nanocrystalline ZnO powders using zinc nitrate and glycine as reactants - influence of reactant composition.** *Journal of Materials Science*, 39, 2004.

ITAS, Y. S. et al. Estudos DFT de propriedades estruturais, eletrônicas e ópticas de (5, 5) nanotubos de óxido de magnésio (MgONTs). **Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures**, p. 115657, 2023.

JAIN, S. R. et al. **A new approach to thermochemical caculations of condensed fuel-oxidizermixtures. combustion flame**, 40, 1981. 71-79.

JEPSON, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **Geographical Journal**, v. 171, n. 2, 2005.

KAH, M., KOOKANA, R.S., GOGOS, A., BUCHELI, T.D., 2018. **A critical evaluation of nanopesticidesand nanofertilizers against their conventional analogues.** *Nat. Nanotechnol.* 13, 677–684.

KLEINSCHMITT, E. **Desenvolvimento e produtividade da cultura do milho (Zea mays) em resposta à inoculação de Azospirillum brasilense e ao uso de fertilizantes bioindutores.** Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias,

Graduação em Agronomia, Florianópolis, 2018.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

LIU, W., ZEB, A., LIAN, J., WU, J., XIONG, H., TANG, J., et al., 2020. **Interactions of metalbased nanoparticles (MBNPs) and metal-oxide nanoparticles (MONPs) with crop plants: a critical review of research progress and prospects**. *Environ. Rev.* 28, 294–310.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under “Cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, n. 4, p. 742-747, 1977.

LOPES, A. S. Soils under Cerrado: A success story in soil management. **Better Crops International**, v. 10, n. 2, p. 9-15, 1996.

LOPES, A. S. Solos sob “Cerrado: Características, propriedades e manejo. **Associação brasileira de pesquisa da potassa e do fosfato**, p. 162, 1984.

MARTINS, M. A; TRINDADE, T. **Os Nanomateriais E A Descoberta De Novos Mundos Na Bancada Do Químico**, 2012.

Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol35No7_1434_25-RV11788.pdf>. Acesso em 17 de junho de 2022.

NEL, A. E., L. MÄDLER, D. VELEGOL, T. XIA, E. M. V. HOEK, P. SOMASUNDARAN, F. KLAESSIG, V. CASTRANOVA, AND M. THOMPSON, 2009, Understanding biophysicochemical interactions at the nano-bio interface: *Nature Materials*, v. 8, p. 543.

OBERDORSTER, G; MAYNARD, A; DONALDSON, K. 2005. Principles for Characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Particle and Fibre Toxicology* 2: 8.

PADOVINI, DAVID SANTOS SOUZA. **Síntese e caracterização de nanopartículas de ZrO₂ por rota hidrotérmica**, 2013. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências , Bauru, 2013.

PANWAR, J.; JAIN, N.; BHARGAYA, A.; AKHTAR, M. S; YUN, Y. S. **Efeito positivo de nanopartículas de óxido de zinco em plantas de tomate: um passo para o desenvolvimento de “nanofertilizantes”**. In Proceedings of the 3rd International Conference on Environmental Research and Technology (ICERT 2012), Energy & Environment-Sustainable Technologies for a Greener Future, Parkroyal Hotel Penang, Penang, Malásia, 30 de maio a 1 de junho de 2012; págs. 348–352.

RAJPUT, V., MINKINA, T., BEHAL, A., SUSHKOVA, S., MANDZHIEVA, S., SINGH, R., et al., 2018. REZENDE, G. C. Ocupação agrícola e estrutura agrária no Cerrado: O papel do preço da terra, dos recursos naturais e da tecnologia. Embrapa (acesso em: 08/02/2023) <http://www22.sede.embrapa.br/unidades/uc/sge/ocupacao_agraria.pdf>.

Effects of zinc-oxide nanoparticles on soil, plants, animals and soil organisms: a review. Environ. **Nanotechnol.** Monit. Manag. 9, 76–84.

OLIVEIRA, JAIRO PINTO. **Estudo da síntese de nanopartículas de ouro e bioconjugação com proteínas para desenvolvimento de nanosensores**, 2016. 169f. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (RENORBIO). Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

SANTOS, N.S. **Efeitos das nanopartículas de óxido de zinco (nps zno) em alguns aspectos d a sobrevivência, reprodução e desenvolvimento de biomphalaria glabrata (say, 1818) (gastropoda: pulmonata)**. Tese (Mestrado) - Instituto Oswaldo Cruz, Pós Graduação em Biodiversidade e Saúde. Rio de Janeiro, 2020.

SCHAEFER, C. E. G. R., FABRIS, J. D., KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian latosols (Oxisols): A review. **Clay Minerals**, v. 43, n. 1, p. 137-154, 2008.

SERAFIM et al. Propriedades físico-químicas e biológicas do solo em áreas de soja em plantio direto no Cerrado brasileiro. **Science of the Total Environment**, v. 862, p. 160674, 2023.

SILVA et al. Ecological intensification of cropping systems enhances soil functions, mitigates soil erosion, and promotes crop resilience to dry spells in the Brazilian Cerrado. **International soil and water conservation Research**, v. 9, n. 4, p. 591-604, 2021.

SOUTO FILHO, S. N. (2016). **Nanopartículas, morfologia da nanoestrutura e espectrometria de massa como indicadores da recuperação de um latossolo vermelho**. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP - Campus de Ilha Solteira.

SOUZA, E. J. **Nanotecnologia aplicada a avaliação física de um latossolo de Cerrado sob sistemas de sucessão de culturas em plantio direto**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2018.

STAMPOULIS, D., SINHA, S. K.; WHITE, J. C. (2009). Fitotoxicidade dependente de ensaio de nanopartículas para plantas. *Ambiente. Sci. Technol.* 43, 9473-9479. doi: 10.1021/es901695c.

TORRES, WILLIAM GLEIDSON ALVES TORRES. Saturação de bases em solo do cerrado para produção de mudas de pequi e baruzeiro. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

USMAN, M., FAROOQ, M., WAKEEL, A., NAWAZ, A., CHEEMA, S. A., UR REHMAN, H.; SANAULLAH, M. (2020). **Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities**. *Science of The Total Environment*, 137778.